

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

---

Departamento de Matemática Aplicada y  
Estadística



PROYECTO FINAL DE  
CARRERA



## HERRAMIENTA DE SOFTWARE NAVAL PARA EL CÁLCULO DE DIMENSIONES PRINCIPALES

---



Titulación: Ingeniero Naval y Oceánico

Alumno: Daniel Hernández Magdalena

Directores de Proyecto: Juan Carlos Trillo Moya

Juan Ruiz Álvarez



16 de febrero de 2015

# Agradecimientos

---

A mis directores Juan Carlos Trillo Moya y Juan Ruíz Álvarez por su ayuda, apoyo y guía durante la elaboración de este proyecto, así como por el empeño que han imprimido en mi aprendizaje.

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Naval y Oceánica los cuales me transmitieron sus conocimientos.

A mi novia, por su apoyo incondicional en los momentos complicados, sus consejos y ayudas, su confianza, sin la cual, llegar hasta aquí habría sido mucho más complicado.

A mi familia, en especial a mi madre Mayte, mi padre Jose Luis y mi hermana Marta que siempre confiaron en mí y me hicieron creer en mí mismo y mis posibilidades, me apoyaron e hicieron posible el que haya llegado donde estoy.

A todos ellos, muchas gracias por hacer esto posible.

16 de febrero de 2015

# Motivación

---

La realización de este proyecto me ha permitido aprender a programar pequeños paquetes de software mediante la herramienta Guide de Matlab. La versatilidad de dicha herramienta permite realizar un diseño adecuado de herramientas de software personalizado. La principal ventaja de Guide es que proporciona un entorno muy adecuado para la realización de interfaces gráficas, a través de las cuales se pueden introducir los datos de una forma muy conveniente y sencilla para su posterior tratamiento. Creo que la experiencia adquirida durante el desarrollo de este proyecto es y va a ser muy beneficiosa en el ámbito laboral del diseño naval en el que me encuentro.



# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>a) Objetivos .....</b>	<b>15</b>
<b>2. DIMENSIONES PRINCIPALES DEL BUQUE PROYECTO .....</b>	<b>18</b>
<b>a) Eslora .....</b>	<b>18</b>
• Eslora entre perpendiculares (Lpp) .....	19
• Eslora en la flotación (Lf) .....	20
• Eslora máxima .....	20
• Eslora total .....	20
<b>b) Manga .....</b>	<b>20</b>
• Manga máxima (B) .....	20
<b>c) Calado (T) .....</b>	<b>21</b>
• Calado Medio (Tm) .....	22
<b>d) Puntal (D) .....</b>	<b>22</b>
<b>e) Coeficiente de bloque (Cb) .....</b>	<b>22</b>
<b>f) Coeficiente de flotación (Cf) .....</b>	<b>24</b>
<b>g) Coeficiente de sección maestra (Cm) .....</b>	<b>25</b>
<b>h) Coeficiente prismático (Cp) .....</b>	<b>25</b>
<b>i) Toneladas por centímetro de inmersión .....</b>	<b>27</b>
<b>j) Desplazamiento (<math>\Delta</math>) .....</b>	<b>27</b>
<b>k) Velocidad .....</b>	<b>29</b>
<b>l) Número de Froude .....</b>	<b>29</b>
<b>m) Relaciones entre las dimensiones .....</b>	<b>30</b>
• Eslora .....	30
• Manga .....	30
• Calado .....	31
• Puntal .....	31

•	RELACIÓN L/B .....	32
•	RELACIÓN B/D .....	33
•	RELACIÓN T/D .....	33
•	RELACIÓN L/D.....	34
•	RELACIÓN B/T.....	34
•	RELACIÓN L/T .....	35
•	RELACIÓN DE LAS DIMENSIONES CON EL COSTE .....	35
<b>3.</b>	<b>PARÁMETROS DE DISEÑO.....</b>	<b>37</b>
a)	<b>Peso en Rosca (PR) .....</b>	<b>37</b>
b)	<b>Peso Muerto (PM) .....</b>	<b>37</b>
c)	<b>Gross Register Tonnage (GRT) .....</b>	<b>38</b>
<b>4.</b>	<b>MÉTODOS DE CÁLCULO .....</b>	<b>39</b>
a)	<b>Análisis de Regresión Lineal.....</b>	<b>39</b>
•	Definiciones.....	39
•	Proceso de ajuste .....	40
•	Introducción de filtros en el programa .....	42
b)	<b>Fórmulas Empíricas .....</b>	<b>44</b>
•	Buques sin cálculo empírico .....	44
•	Buques con Cálculo Empírico .....	46
•	Cálculo de desplazamientos y coeficientes .....	53
<b>5.</b>	<b>TUTORIAL.....</b>	<b>59</b>
a)	<b>Instalación del programa .....</b>	<b>59</b>
b)	<b>Ejecución del programa .....</b>	<b>59</b>
c)	<b>Pantallas del programa.....</b>	<b>61</b>
•	Pantalla de Inicio .....	61
•	Pantalla de Selección del Tipo de Buque.....	62
•	Pantallas para los diferentes tipos de buques .....	63
d)	<b>Introducción de datos.....</b>	<b>67</b>
•	Peso Muerto.....	67
•	Gross Tonnage.....	69
e)	<b>Obtención de resultados .....</b>	<b>70</b>

<b>6. CASOS PRÁCTICOS</b> .....	<b>71</b>
a) Caso práctico 1 .....	71
b) Caso Práctico 2 .....	76
c) Caso Práctico 3 .....	79
<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	<b>84</b>
<b>8. AYUDA</b> .....	<b>86</b>
a) <b>Introducción</b> .....	<b>86</b>
• Eslora .....	86
• Manga .....	87
• Calado (T) .....	87
• Puntal (D) .....	87
• Coeficiente de bloque (Cb).....	87
• Coeficiente de flotación (Cf).....	88
• Coeficiente de sección maestra (Cm).....	88
• Coeficiente prismático (Cp).....	88
• Desplazamiento ( $\Delta$ ) .....	89
• Velocidad.....	89
• Peso en Rosca (PR) .....	89
• Peso Muerto (PM) .....	90
• Gross Register Tonnage (GRT).....	90
b) <b>Preguntas frecuentes</b> .....	<b>90</b>
• Restricciones de Proyecto .....	90
• ¿Cómo actualizo la base de datos? .....	92
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>93</b>



# Índice de Tablas

## *Capítulo II*

<b>TABLA 1. VALORES DEL COEFICIENTE DE BLOQUE Y VELOCIDAD EN FUNCIÓN DEL TIPO DE BUQUE.....</b>	<b>24</b>
<b>TABLA 2. REPRESENTACIÓN DE LOS NÚMEROS DE FROUDE Y LA RELACIÓN L/B CON EL TIPO DE BUQUE .....</b>	<b>32</b>
<b>TABLA 3. RELACIÓN DE B/T EN FUNCIÓN DEL TIPO DE BUQUE.....</b>	<b>35</b>
<b>TABLA 4. RELACIÓN DE LAS DIMENSIONES CON EL COSTE.....</b>	<b>36</b>

## *Capítulo V*

<b>TABLA 5. CLASIFICACIÓN DE LOS BUQUES POR TAMAÑO .....</b>	<b>72</b>
<b>TABLA 6. BUQUE BASE PARA EJEMPLO PRÁCTICO .....</b>	<b>73</b>

## *Capítulo VI*

<b>TABLA 7. RELACIÓN DE LOS BUQUES CON SU COEFICIENTE DE BLOQUE Y VELOCIDAD.....</b>	<b>77</b>
<b>TABLA 8. RELACIÓN DE LOS BUQUES CON SU COEFICIENTE DE BLOQUE Y VELOCIDAD .....</b>	<b>80</b>
<b>TABLA 9. RELACIÓN DE LOS BUQUES CON SU TAMAÑO .....</b>	<b>81</b>
<b>TABLA 10. BUQUE BASE PARA EL EJEMPLO .....</b>	<b>81</b>

## *Capítulo VIII*

<b>TABLA 11. RELACIÓN DE LOS CANALES CON SUS LIMITACIONES.....</b>	<b>91</b>
<b>TABLA 12. CALADOS MÁXIMOS DE PUERTOS.....</b>	<b>91</b>
<b>TABLA 13. EJEMPLO DE BASE DE DATOS .....</b>	<b>92</b>

# Índice de Figuras

## *Capítulo II*

<b>FIGURA 1.</b>	<b>ESLORA DEL BUQUE.....</b>	<b>19</b>
<b>FIGURA 2.</b>	<b>REPRESENTACIÓN DE LOS TIPOS DE ESLORAS .....</b>	<b>19</b>
<b>FIGURA 3.</b>	<b>REPRESENTACIÓN DE LAS MANGAS.....</b>	<b>21</b>
<b>FIGURA 4.</b>	<b>REPRESENTACIÓN DEL FRANCOBORDO, PUNTAL Y CALADO EN UN VELERO .....</b>	<b>21</b>
<b>FIGURA 5.</b>	<b>REPRESENTACIÓN DEL FRANCOBORDO, PUNTAL Y CALADO EN UN BUQUE .....</b>	<b>22</b>
<b>FIGURA 6.</b>	<b>REPRESENTACIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL BUQUE.....</b>	<b>24</b>
<b>FIGURA 7.</b>	<b>IMAGEN DE FLOTACIÓN DE UN BUQUE .....</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 8.</b>	<b>FAST FERRY .....</b>	<b>29</b>

## *Capítulo III*

<b>FIGURA 9.</b>	<b>REPRESENTACIÓN DEL PESO EN ROSCA.....</b>	<b>37</b>
<b>FIGURA 10.</b>	<b>REPRESENTACIÓN DEL PESO MUERTO .....</b>	<b>38</b>

## *Capítulo IV*

<b>FIGURA 11.</b>	<b>REPRESENTACIÓN DE LA RECTA DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS .....</b>	<b>41</b>
<b>FIGURA 12.</b>	<b>BUQUE PORTACONTENEDORES .....</b>	<b>44</b>
<b>FIGURA 13.</b>	<b>BUQUE RORO.....</b>	<b>45</b>

<b>FIGURA 14.</b>	<b>BUQUE PETROLERO .....</b>	<b>46</b>
<b>FIGURA 15.</b>	<b>BUQUE DE CARGA GENERAL .....</b>	<b>49</b>
<b>FIGURA 16.</b>	<b>BUQUE BULK CARRIER.....</b>	<b>51</b>

*Capítulo V*

<b>FIGURA 17.</b>	<b>PANTALLA DE EJECUCIÓN DEL PROGRAMA .....</b>	<b>59</b>
<b>FIGURA 18.</b>	<b>PANTALLA DE EJECUCIÓN CON EL COMANDO "INICIO" .....</b>	<b>60</b>
<b>FIGURA 19.</b>	<b>PANTALLA DE INICIO DEL PROGRAMA .....</b>	<b>61</b>
<b>FIGURA 20.</b>	<b>PANTALLA DE SELECCIÓN DEL TIPO DE BUQUE.....</b>	<b>62</b>
<b>FIGURA 21.</b>	<b>SELECCIÓN DEL TIPO DE BUQUE.....</b>	<b>63</b>
<b>FIGURA 22.</b>	<b>PANTALLA PARA BUQUES PETROLEROS.....</b>	<b>64</b>
<b>FIGURA 23.</b>	<b>PANTALLA PARA BUQUES PORTACONTENEDORES .....</b>	<b>64</b>
<b>FIGURA 24.</b>	<b>PANTALLA PARA BUQUES RORO.....</b>	<b>65</b>
<b>FIGURA 25.</b>	<b>PANTALLA PARA BUQUES BULK CARRIER .....</b>	<b>65</b>
<b>FIGURA 26.</b>	<b>PANTALLA PARA BUQUE DE CARGA GENERAL.....</b>	<b>66</b>
<b>FIGURA 27.</b>	<b>PANTALLA PARA CREAR BASE DE DATOS PROPIA .....</b>	<b>66</b>
<b>FIGURA 28.</b>	<b>PANTALLA DE INICIO BUQUES PETROLEROS .....</b>	<b>67</b>
<b>FIGURA 29.</b>	<b>PANTALLA PARA ENTRADA DE DATOS.....</b>	<b>68</b>
<b>FIGURA 30.</b>	<b>PANTALLA PARA ENTRADA DE BUQUE BASE.....</b>	<b>68</b>
<b>FIGURA 31.</b>	<b>PANTALLA DE BUQUE BASE CON DATOS COLOCADOS.....</b>	<b>69</b>
<b>FIGURA 32.</b>	<b>PANTALLA INTRODUCCIÓN DE DATOS CON GROSS TONNAGE COMO PARÁMETRO DE DISEÑO.....</b>	<b>69</b>

**FIGURA 33. PANTALLA DE RESULTADOS..... 70**

*Capítulo VI*

**FIGURA 34. PANTALLA INICIAL PARA BUQUE DE CARGA GENERAL ..... 71**

**FIGURA 35. PANTALLA INTRODUCCIÓN DE DATOS EN BUQUE DE CARGA GENERAL ..... 72**

**FIGURA 36. EJEMPLO DE INTRODUCCIÓN DE DATOS PARA BUQUE BASE.. 74**

**FIGURA 37. PANTALLA DE RESULTADOS..... 74**

**FIGURA 38. PANTALLA DE INTRODUCCIÓN DE DATOS PARA BUQUE DE CARGA GENERAL..... 76**

**FIGURA 39. EJEMPLO DE INTRODUCCIÓN DE DATOS..... 78**

**FIGURA 40. PANTALLA DE RESULTADOS..... 78**

**FIGURA 41. PANTALLA DE INTRODUCCIÓN DE DATOS..... 79**

**FIGURA 42. EJEMPLO INTRODUCCIÓN DE DATOS ..... 81**

**FIGURA 43. EJEMPLO INTRODUCCIÓN DE DATOS ..... 82**

**FIGURA 44. PANTALLA DE RESULTADOS..... 82**



# 1. Introducción

En el presente proyecto se ha creado una herramienta informática para la obtención de las dimensiones principales, así como los coeficientes óptimos de un buque, de una manera rápida y simple.

Las ventajas de este programa en cuanto al ahorro de tiempo a la hora de realizar los cálculos necesarios para cada método, es evidente. Esto es posible gracias a una interfaz intuitiva y versátil. Dicha interfaz permite una rápida introducción de los datos necesarios. Estas características permiten obtener resultados en un corto espacio de tiempo. La herramienta desarrollada está basada en el software Matlab (ver [1], [4], [6]) el cual, a través de la aplicación Guide (ver [3]) nos da la posibilidad de generar una interfaz rápida en ejecución e intuitiva para la utilización del programa.

En la herramienta desarrollada, se han utilizado tres métodos de cálculo diferentes:

- Cálculo basado en una base de datos: El cálculo se realiza a través de la información contenida en una base de datos. Dicha información será utilizada para el cálculo de parámetros de un nuevo buque. Para ello haremos uso del método de regresión lineal (ver [2]).
- Mediante fórmulas empíricas:  
En el diseño naval es usual utilizar fórmulas empíricas obtenidas por los diseñadores a lo largo de los años. En esta parte del programa, los cálculos se realizarán a través de una serie de fórmulas (ver [5]) basadas en la experiencia para el cálculo de los diferentes parámetros.
- A través de un buque base: En este caso, la base para el cálculo de las dimensiones, será la de un único buque similar al deseado.

Como resultado de las operaciones realizadas, obtendremos las dimensiones del buque, así como coeficientes óptimos, a través de una tabla generada por el programa. En ella se puede comprobar la validez de los datos obtenidos, mediante la comparación entre los resultados proporcionados por los diferentes métodos.

## a) Objetivos

El objetivo del programa, es la optimización de las dimensiones del buque a la hora del pre-proyecto. El hecho de poder utilizar varios métodos nos proporcionará varias ventajas. En primer lugar, nos dará una idea de cuáles serán los parámetros de diseño más deseados dentro de nuestras restricciones. En segundo lugar, en el proceso de diseño siempre es necesario tener en cuenta la validez de los resultados obtenidos. Si uno de los métodos utilizados proporciona resultados erróneos, es necesario recurrir a un segundo método. Para realizar el cálculo de dimensiones mediante regresión lineal, es necesario partir de una base de datos de buques ya construidos y que se encuentran en el mundo laboral. La base de datos

16 de febrero de 2015

utilizada presenta los buques organizados en diferentes tipos. Podremos realizar los cálculos para cada uno de estos tipos de buque. Tal y como se ha mencionado en la introducción, los cálculos se realizarán mediante regresión lineal o mediante una serie de fórmulas empíricas basadas en la experiencia para las diferentes relaciones entre las dimensiones.

Uno de los objetivos principales de este proyecto es reducir el tiempo de diseño. En el diseño naval es habitual la obtención de los parámetros de diseño de forma manual. Gracias a la herramienta desarrollada, gran parte de este proceso de diseño queda automatizado. La introducción de datos a través de una interfaz intuitiva y de fácil manejo, permite optimizar el tiempo de diseño. Así mismo, la presentación de los resultados para los tres métodos de cálculo a través de una tabla, facilita la comprobación de los mismos.

Utilizando como base la herramienta presentada en este proyecto, podrían automatizarse otros parámetros de diseño del buque, aparte de los aquí presentados.

No quiero dar por finalizada esta introducción sin incluir unas breves líneas que sirvan para que se tenga una visión general de los objetivos que me he planteado a la hora de realizar mi proyecto. He comenzado con un apartado que he titulado "Dimensiones principales del buque proyecto" en el que he descrito las dimensiones principales y cómo influyen a la hora de proyectar un buque. A continuación, en el segundo apartado he definido los parámetros de diseño, una de las características más importantes del buque, sabiendo que las dimensiones antes mencionadas están en función de parámetro de diseño que se toma para cada tipo de embarcación. En el tercer apartado me he encargado del método de cálculo, diferenciando dos sistemas, uno a través de una base de datos mediante una regresión lineal, y otro, a través de unas fórmulas empíricas. En el capítulo quinto incluyo un tutorial sobre el funcionamiento del programa que he creado en este proyecto. Para completar mi trabajo y buscando una base real que vaya más allá de mi exposición teórica, en la sección siguiente he adjuntado tres casos prácticos que yo mismo he planteado para comprobar su fiabilidad. Por último, en el capítulo siete incluyo las conclusiones del proyecto y en el siguiente he adjuntado el documento de ayuda del programa.



## 2. DIMENSIONES PRINCIPALES DEL BUQUE PROYECTO

A continuación vamos a definir las dimensiones principales del buque (ver [5], [9], [10] y [11]).

En concreto, hablaremos de los siguientes conceptos:

- ESLORA
- MANGA
- PUNTAL
- COEFICIENTES DE FORMA
- CALADO
- DESPLAZAMIENTO
- VELOCIDAD

### a) Eslora

Es la medida de un buque tomada a su largo, desde la proa hasta la popa. (Ver Figura 1).

También la podemos definir como la distancia entre dos planos perpendiculares a la línea de crujía medida paralelamente a la línea de agua.

De estos planos, uno pasa por la parte más saliente a popa y el otro por la parte más saliente a proa de la embarcación, incluidas todas las partes estructurales e integrales, como son proas o popas de cualquier material.

Es frecuente medir la eslora en pies.

1 pie = 0, 3048 m ó 30 cm aproximadamente.

La eslora puede considerarse como la dimensión principal para el dimensionamiento puesto que una vez conocida pueden determinarse otras características principales del buque de forma sencilla.



Figura 1. *Eslora del buque*

- **Eslora entre perpendiculares ( $L_{pp}$ )**

Es la medida entre las perpendiculares de proa y popa (ver Figura 2). Entendemos por perpendicular de popa la medida generalmente tomada en línea al eje del timón y como perpendicular de proa a la intersección del casco con la línea de flotación a plena carga y con asiento nulo, es decir, que el calado de proa y el calado de popa son iguales.

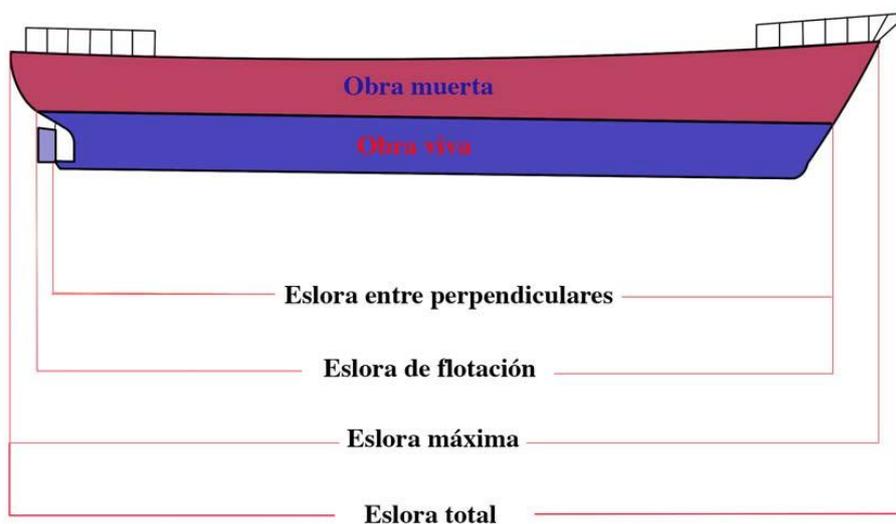


Figura 2. *Representación de los tipos de esloras*

- **Eslora en la flotación ( $L_f$ )**

Es la longitud del plano de flotación medida entre proa y popa y es distinta para cada superficie de flotación. (Ver Figura 2).

- **Eslora máxima**

Es la distancia entre dos planos perpendiculares a la línea de crujía entre la parte más saliente de popa y la más saliente de proa de la embarcación. Incluimos las partes estructurales del barco y no contamos partes no estructurales como puede ser el púlpito de proa o partes desmontables que no afecten a la estructura de la embarcación como tangones, baupreses, timones o motores fueraborda. (Ver Figura 2).

- **Eslora total**

Es la longitud total de barco medida entre sus extremos de proa y popa. Aquí contamos las partes no estructurales del barco como pueda ser el púlpito de proa. (Ver Figura 2).

## **b) Manga**

Es la longitud en dirección transversal al buque, y se consideran las siguientes:

- **Manga máxima ( $B$ )**

Como la manga no es constante a lo largo de todo el barco, llamaremos manga máxima a la parte más ancha del barco que normalmente suele coincidir con la cuaderna maestra.

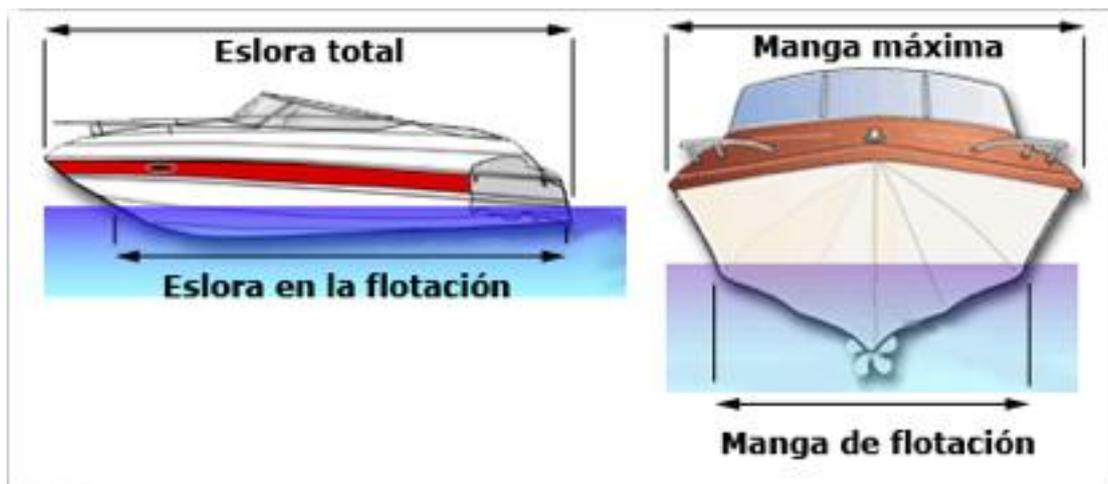


Figura 3. Representación de las mangas

### c) Calado (T)

El calado es la altura de la parte sumergida del casco, también lo podemos definir como la medida vertical tomada desde la quilla hasta la línea de flotación como se ve en Figura 4.

Tomando la medida en la perpendicular de popa, tendremos el calado de popa y si la medida la tomamos en la línea de la perpendicular de proa tendremos el calado de proa. La diferencia entre los calados en popa y en proa se llama asiento.

El **calado máximo** es el correspondiente al desplazamiento máximo.



Figura 4. Representación del Francobordo, Puntal y Calado en un velero

- **Calado Medio (Tm)**

El **calado en el medio** es la medida de la parte sumergida del casco tomada a la altura de la cuaderna maestra. Es la semisuma de los calados de proa y popa. Es decir el calado de proa más el calado de popa dividido entre dos.

**d) Puntal (D)**

Como vemos en la Figura 5, es la altura del buque o distancia vertical en metros medido desde la cara inferior del casco en su intersección con la quilla y la línea de cubierta principal o la cara superior del trancañil.

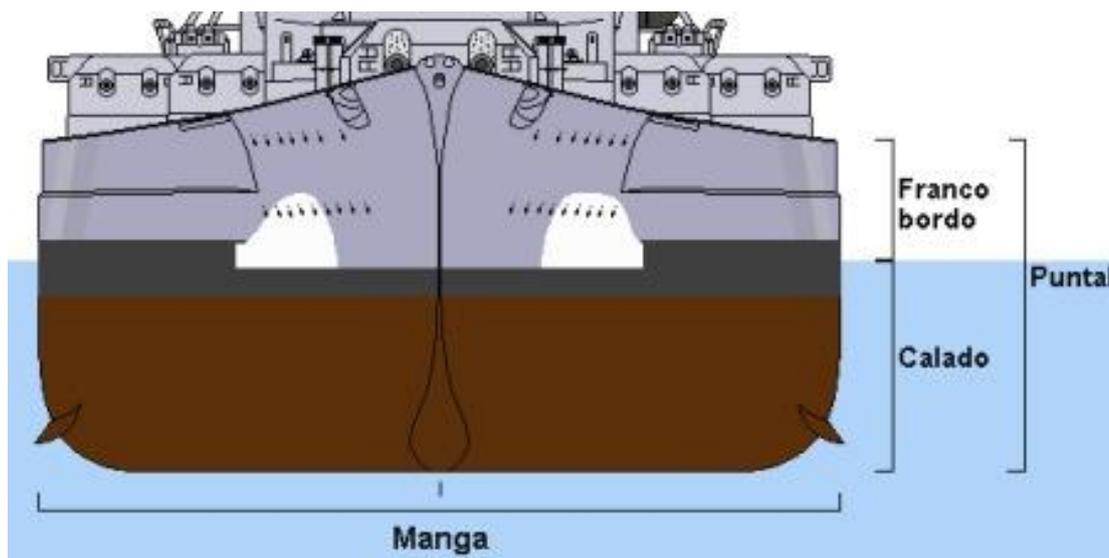


Figura 5. Representación del Francobordo, Puntal y Calado en un buque

**e) Coeficiente de bloque (Cb)**

Es la relación entre el volumen de la carena de un casco y el paralelepípedo que lo contiene (L=Eslora, M=Manga y H=Calado). (Figura superior).

$$Cb = \text{Vol. de carena} / \text{Vol. del paralelepípedo} = Vc / (L \times M \times H)$$

El coeficiente de bloque es básico para representar las formas del buque. Sólo en ciertos casos (buques rápidos, de guerra, etc...) su protagonismo lo ocupa el coeficiente prismático.

El coeficiente de bloque tiene gran incidencia en la resistencia al avance. Un coeficiente de bloque pequeño implica menor resistencia y, por lo tanto, la posibilidad de obtener mayores velocidades.

También se relaciona, aunque su efecto no es tan acusado, con la estabilidad, maniobrabilidad, etc...

Debe elegirse un coeficiente de bloque adecuado al número de Froude y comprobar posteriormente cómo afecta a otras características del proyecto, como la estabilidad, capacidad de carga, etc...

El coeficiente de bloque puede utilizarse como valor inicial de un proceso de optimización, en el que se varía sistemáticamente este coeficiente dentro de un rango y se determina su óptimo en función del valor de la cifra de mérito elegida.

El coeficiente de bloque tiene influencia sobre el peso de acero y la capacidad de carga. Una disminución de este coeficiente afecta al peso del acero de modo favorable, pero reduce la capacidad de carga.

Los valores típicos del coeficiente de bloque oscilan entre 0,35 y 0,85, aunque en ciertos casos pueden ser superiores.

En la Tabla 1 se muestran algunos ejemplos del coeficiente de bloque para diferentes tipos de buques. El coeficiente de bloque mayor corresponde a la velocidad más baja del rango, y viceversa.

BUQUE	CB	V (nudos)
Gabarra	0,90	5 - 10
Bulkcarrier	0,80 - 0,85	12 - 17
Petrolero	0,80 - 0,85	12 - 16
Carga general	0,55 - 0,75	13 - 22
Portacontenedores	0,50 - 0,70	14 - 26

Ferry	0,50 - 0,70	15 - 26
-------	-------------	---------

Tabla 1. *Valores del Coeficiente de bloque y Velocidad en función del tipo de buque*

## f) Coeficiente de flotación (Cf)

Se define como coeficiente de flotación (Cf) a la relación entre el área del plano de flotación (ver Figura 6) y el área del rectángulo que la circunscribe.

$$Cf = \text{Área de flotación} / \text{Área del rectángulo} = Af / (L \times M)$$

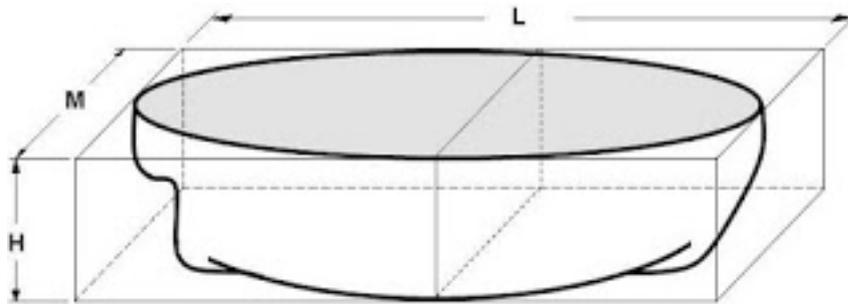


Figura 6. *Representación de las dimensiones del buque*

El coeficiente de la flotación tiene gran influencia sobre la estabilidad y alguna influencia sobre la resistencia hidrodinámica. Valores pequeños del coeficiente de bloque inducen valores menores de CB/CF.

Los valores típicos de este coeficiente varían entre 0,67 y 0,87.

Este coeficiente puede variar dependiendo de las formas en U o V de las secciones transversales de la carena.

Por lo general se cumple:

Buques con formas acusadas en U:  $0,90 < CB/CF < 0,95$

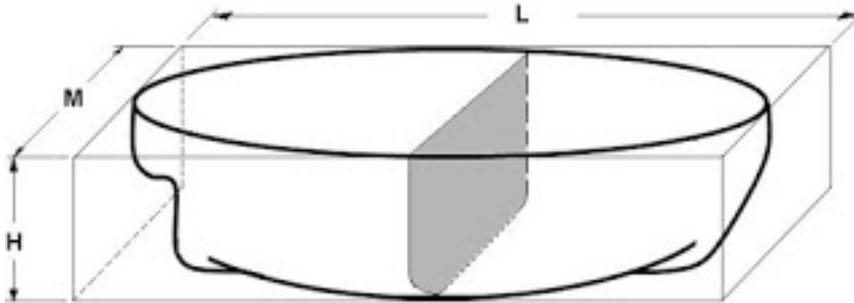
Buques intermedios:  $0,85 < CB/CF < 0,90$

Buques con formas acusadas en V:  $0,80 < CF/CF < 0,85$

### g) Coeficiente de sección maestra (Cm)

Se define como coeficiente de sección maestra Cm a la relación entre el área de la sección maestra y el rectángulo que la circunscribe.

$$C_m = \text{Área de sección maestra} / \text{Área rectángulo} = A_m / (M \times H)$$



Este coeficiente está relacionado con la resistencia al avance. Una disminución del CB implicará que también deba reducirse el coeficiente de la sección media. En caso de no realizarse esta modificación, se puede producir efectos no deseables sobre las formas (shoulders) con tendencia a ocasionar desprendimientos de flujo y, consecuentemente, aumentos de la resistencia al avance.

Tiene además relación directa con la extensión de la zona curva del casco en el pantoque.

Existen diversas formas para su cálculo. Estas fórmulas relacionan el coeficiente de la sección media con el coeficiente de bloque o con el número de Froude.

Los valores típicos de la sección media oscilan entre 0,75 y 0,98, aunque pueden llegar a 0,67 y 0,99.

### h) Coeficiente prismático (Cp)

Se define como coeficiente prismático C<sub>p</sub> a la relación entre el volumen de la carena y el volumen de un cilindro cuya base tiene igual área que la sección maestra.

$$C_p = \text{Volumen de carena} / \text{Volumen cilindro} = V_c / (A_m \times L)$$

El coeficiente prismático da una idea de la distribución, en sentido longitudinal, del desplazamiento del buque. Valores bajos de CP indican que el volumen de obra viva se

concentra alrededor de la perpendicular media y sus extremos son afinados, mientras que un valor alto de CP indica una variación pequeña del área de cada sección respecto de la maestra.

Como ejemplo, para dos buques de igual eslora y desplazamiento, el menor coeficiente prismático es resultado de una mayor área en la sección media, es decir, su desplazamiento está concentrado alrededor de esta sección. El de mayor coeficiente prismático tendrá una cuaderna maestra menor y por lo tanto, para dar el mismo desplazamiento, necesita tener secciones de mayor área hacia los extremos.

A veces es útil definir los coeficientes prismáticos de los cuerpos de proa y popa, que añaden un dato adicional a la distribución longitudinal del desplazamiento, señalando si la mayor parte de ese desplazamiento está hacia proa o hacia popa. Permitirá como consecuencia conocer dónde se encuentra el centro de carena del buque.

El coeficiente prismático está relacionado con la resistencia al avance del buque. Un aumento del coeficiente prismático supone llenar las formas del barco, y por lo tanto aumentar la resistencia viscosa.

En cuanto a la resistencia por formación de olas, a igualdad de desplazamiento, un aumento del coeficiente prismático significa reducir desplazamiento en la zona central y llevarlo a los extremos, lo que implica que a velocidades moderadas y bajas se produce un aumento de la resistencia por formación de olas.

A velocidades altas (alto  $F_n$ ), las tendencias son inversas, debido a que la cresta de la ola se produce más a popa, y la componente normal que se opone al avance es de menor intensidad.

El coeficiente prismático puede calcularse fácilmente una vez calculados los coeficientes de bloque y de la maestra. Sin embargo, en algunos tipos de buques –en especial buques rápidos–, el coeficiente prismático sustituye al coeficiente de bloque como coeficiente principal de dimensionamiento, lo que obliga a calcularlo como variable independiente. Este hecho se debe a la gran importancia que tiene este coeficiente para calcular la resistencia al avance del buque. En ese caso, el coeficiente de bloque pasa a calcularse como una variable dependiente del coeficiente prismático.

Como se ha mencionado, en buques ro-ro y portacontenedores se tiende a aumentar CP, disminuyendo CM a igualdad de CB, para conseguir un cuerpo cilíndrico que favorece la estiba de la carga sin penalizar la resistencia al avance.

Los valores típicos del CP oscilan entre 0,55 y 0,85.

## i) Toneladas por centímetro de inmersión

Se denomina toneladas por centímetro de inmersión ó TPC a la masa en toneladas que debe agregarse a una embarcación, aplicado éste en el centro de gravedad de un buque, para lograr un incremento de un centímetro en el calado medio.

El nuevo plano de flotación se mantiene paralelo al inicial.

Dado que la carena de un buque no es un paralelogramo, el valor del coeficiente TPC varía en función del calado medio considerado. Esta variación de calado es igual al peso de la rebanada de carena cuya base es el área de flotación,  $A_f$  inicial y su altura de un centímetro (volumen de la rebanada) por el peso específico del agua en que se encuentra flotando la embarcación.

Para el caso de agua de mar con un peso específico de  $1,025 \text{ t/m}^3$  tendríamos

$$TPC = A_f \text{ m}^2 \times 0,01 \text{ cm/m} \times 1,025 \text{ ton/m}^3$$

Donde  $A_f$  es el área de flotación.

El coeficiente TPC es proporcional al área de flotación, por lo que a mayor tamaño de buque mayor será el valor TPC. Es muy usual encontrarse, para buques construidos en países sajones, con el concepto toneladas por pulgada. El concepto es el mismo, pero debe tenerse en cuenta que se refiere a toneladas inglesas y no a toneladas métricas. Una tonelada inglesa o tonelada corta equivale a 907,18474 kg.

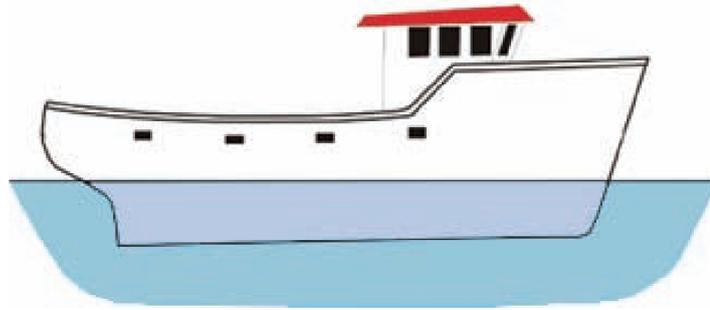
Conocer este valor permite calcular con relativa facilidad la cantidad de carga a alijar para zafar una varadura que requiera una disminución de calado en una cantidad determinada de centímetros.

## j) Desplazamiento ( $\Delta$ )

Se trata de la masa total del barco. Es también igual al peso del agua desalojada por él, por lo tanto el desplazamiento es también el peso del buque. Para hallar el desplazamiento o peso del buque multiplicaremos el volumen sumergido expresado en metros cúbicos por la densidad del agua en la que flota.

Principio de Arquímedes: Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical hacia arriba igual al peso del fluido desalojado.

Para que un buque flote libremente en el agua, el peso de éste debe ser igual al peso del volumen de agua que desplaza, (ver Figura 7).



*Figura 7. Imagen de flotación de un buque*

El agua dulce tiene densidad 1

El agua de mar tiene una densidad media de 1,025.

El mar mediterráneo tiene una densidad de 1,026.

Desplazamiento = Volumen sumergido x densidad del agua

#### **Desplazamiento en rosca**

Es el peso del buque tal como sale del astillero, es decir, sin carga, pertrechos, ni combustible.

#### **Desplazamiento en lastre**

Es el desplazamiento en rosca más el combustible, víveres, agua potable pero sin carga.

#### **Desplazamiento en carga**

Es el desplazamiento en rosca, más combustible, víveres, agua potable y carga.

### Desplazamiento máximo

Es el que corresponde al buque con el cargamento máximo permitido.

## k) Velocidad

No se trata de una dimensión pero es un parámetro que se utiliza para el diseño.

La velocidad es usualmente uno de los parámetros más críticos del proyecto del buque. Normalmente queda definida dentro de la especificación y no alcanzar la velocidad de pruebas suele ser motivo de penalizaciones para el astillero.

Para cierto tipo de buques, la velocidad es un aspecto fundamental como es el ejemplo del buque de la Figura 8. Para estos buques, las formas están condicionadas por la necesidad de alcanzar una velocidad. Según el resto de los requerimientos del armador sería posible diseñar un buque con el mismo desplazamiento y espacio de carga, pero con menor eslora (por lo tanto, más económico de construcción), pero el condicionante de alcanzar una determinada velocidad supone la necesidad de aumentar la eslora para alcanzar dicha velocidad. El resultado es la existencia de un volumen extra, innecesario en principio, al que habrá de buscársele utilidad.

Por otro lado, la velocidad estará condicionada a un determinado mar, por lo que también se cuidarán las características de comportamiento en la mar del buque.



Figura 8. *Fast ferry*

## l) Número de Froude

El número de Froude  $(\text{Velocidad})^2 / \text{gravedad} \times \text{longitud}$ , multiplicando y dividiendo por la densidad por el Área, da la relación de la fuerza dinámica (o fuerza de inercia) al peso. En los movimientos con superficie libre de líquido, la naturaleza del movimiento (rápido o

tranquilo) depende de si el número de Froude es mayor o menor que la unidad. Es útil en los cálculos del resalto hidráulico, en el diseño de estructuras hidráulicas y en el diseño de barcos.

El número de Froude es un parámetro importante, siempre que la gravedad sea un factor de influencia en el movimiento de un fluido.

### **m) Relaciones entre las dimensiones**

Según se ha indicado, la eslora es generalmente la dimensión principal más importante.

A partir de regresiones estadísticas pueden obtenerse el resto de dimensiones principales. Se podrán relacionar según las funciones:

$$B=f(L), T=f(D), D=f(B), T=f(L), D=f(L), T=f(B)$$

A la hora de utilizar una u otra relación, se huirá de regresiones que tengan una incertidumbre excesiva. Se considera recomendable utilizar regresiones cuyo coeficiente de correlación sea, al menos, 0,6.

También habrá que considerar los efectos de la variación de las dimensiones principales:

- **Eslora**

Su variación produce un incremento del mismo signo del peso estructural. Es la dimensión estructuralmente más cara.

Su aumento provoca también un aumento de la resistencia viscosa, pero sin embargo disminuye la resistencia por formación de olas, reduciéndose por lo general la resistencia total.

El límite superior de variación de la eslora se presenta por problemas de peso y rigidez, que se detecta por valores altos de L/D y el límite inferior por problemas de gobernabilidad del buque, valores bajos de L/B.

- **Manga**

Existe discusión sobre el efecto de la manga sobre el peso estructural. Aunque para algunos autores su aumento tiende a disminuir el peso estructural, para otros supone un cierto incremento, aunque siempre mucho menos significativo que el incremento que provoca el aumento de eslora.

16 de febrero de 2015

Por otro lado, dentro del rango útil, a mayor manga mayor superficie mojada, lo que aumenta la resistencia por fricción.

Un aumento de la eslora provoca también un aumento de la resistencia de presión de origen viscoso, con riesgo incluso de desprendimiento de flujo.

Como al aumentar la manga también aumenta la resistencia por formación de olas, el aumento de la manga siempre producirá un aumento de la resistencia.

El límite superior de la manga aparece por problemas de gobernabilidad, al bajar  $L/B$ . El inferior, por razones de estabilidad inicial, al bajar  $B/D$ .

- **Calado**

Su aumento tiende a disminuir el peso estructural.

En cuanto a la resistencia, a igualdad del resto de las dimensiones, un aumento del calado provoca un aumento de la resistencia por fricción, al aumentar la superficie mojada y el desplazamiento.

Sin embargo, un aumento de calado puede provocar tanto un aumento como una disminución de la resistencia de presión de origen viscoso.

Por otro lado, un aumento del calado provoca un aumento de la resistencia por formación de olas.

Como conclusión, a igualdad del resto de las dimensiones, la variación de calado produce una variación incierta de la resistencia total.

El límite superior del calado puede venir impuesto por el francobordo.

El inferior vendrá impuesto por razones estructurales o de comportamiento en la mar.

- **Puntal**

Su aumento tiende a disminuir el peso del casco. Estructuralmente es la dimensión más barata. El límite superior se alcanza por problemas de estabilidad, al bajar  $B/D$ . Por su parte, el límite inferior aparece por problemas de rigidez al aumentar  $L/D$  o por francobordo.

• **RELACIÓN L/B**

La relación L/B está directamente relacionada con la resistencia al avance y la potencia propulsora. La relación L/B influye de la misma forma que la eslora en la resistencia al avance, es decir, a mayor L/B mayor resistencia por fricción, menor resistencia de presión de origen viscoso y menor resistencia por formación de olas.

Reducir L/B supone una mayor resistencia al avance y por lo tanto será necesario instalar una planta propulsora de mayor capacidad, con el consiguiente incremento de gasto de combustible. Sin embargo, esa reducción de L/B supone para el astillero un menor peso de acero, con el consiguiente ahorro en coste de construcción. Por lo tanto, el astillero buscará esta reducción mientras que el criterio del armador será el opuesto.

Debe tenerse también en consideración que, a igualdad de eslora y de volumen de carga, también será equivalente el volumen de tanques de combustible. Por lo tanto, si el consumo de combustible aumenta por reducir la relación L/B, también se reduce la autonomía del buque.

Al estar relacionada L/B con la resistencia al avance, también puede considerarse relacionada con el número de Froude. Para determinar un L/B adecuado se debe tener en consideración el número de Froude al que va a navegar el buque:

- Fn alto La resistencia por formación de olas será alta y, en comparación, la resistencia viscosa será pequeña. Será necesario por tanto un alto L/B. Es el caso de los barcos rápidos.

- Fn bajo La resistencia por formación de olas es baja, mientras que la resistencia viscosa es comparativamente alta. Se buscarán relaciones L/B moderadamente bajas, buscando el mínimo de la resistencia viscosa. En la Tabla 2 podemos ver a modo orientativo estos valores:

	Fn	L/B
Buques grandes y lentos	<0,15	5,0 – 6,0
Buques medios y lentos	0,18 < Fn < 0,22	5,5 – 6,5
Buques medios y rápidos	0,22 < Fn < 0,27	6,0 – 7,0
Buques pequeños y rápidos (excepto pesqueros)	> 0,3	>7,0
Pesqueros	> 0,3	4,0 – 5,0

Tabla 2. *Representación de los números de Froude y la relación L/B con el tipo de buque*

Por otro lado, un valor demasiado bajo de L/B aumenta la vibración excitada por el propulsor, al empeorar las características del flujo y el campo de estela.

De igual forma, al reducir L/B se empeora la maniobrabilidad el buque. Esta pérdida de maniobrabilidad obliga a instalar timones sobredimensionados y otros apéndices que afectan negativamente a la resistencia al avance.

## • RELACIÓN B/D

La relación entre puntal y manga está vinculada con la estabilidad, puesto que KG depende del puntal y KM es función de la manga.

Cuando la estabilidad sea un condicionante de diseño, la elección de esta relación para el cálculo estadístico permitirá controlar los valores necesarios, y en caso necesario establecer limitaciones.

Se recomienda el aumento de la relación B/D para:

- Requisitos de estabilidad exigentes.
- Pesos en cubierta.
- Configuraciones especiales de la manga (buques de doble casco).
- Reducción del peso de la maquinaria propulsora y del casco.

Se puede reducir la relación B/D en caso de:

- Ausencia de cargas en cubierta.
- Gran capacidad de lastre en dobles fondos.
- Superestructuras reducidas y ausencia de maquinaria en cubierta.
- Formas con valores altos de KM. Como referencia se puede tomar

$B/D = 1,5$  para buques "poco estables" y  $B/D=1,8$  para buques con buena estabilidad, es decir:  $1,5 < B/D < 1,8$

## • RELACIÓN T/D

La relación entre el calado y puntal está vinculada al francobordo del buque, y por tanto es una medida de las imposiciones del convenio sobre líneas de agua.

Un aumento del calado obliga a un incremento también del puntal para mantener el francobordo exigido.

- **RELACIÓN L/D**

La relación entre puntal y eslora tiene influencia en la resistencia longitudinal del buque. Considerando éste como una viga, el aumento de la relación L/D disminuye el alma, y por tanto aumenta las tensiones producidas por los momentos flectores.

Las Sociedades de Clasificación establecen un valor límite de alrededor de 15 ó 16, y la utilización de aceros de alta resistencia aconseja utilizar valores más reducidos para limitar la deflexión de la viga-buque al utilizar escantillones reducidos.

- **RELACIÓN B/T**

La relación B/T tiene influencia en la estabilidad inicial y en la resistencia al avance.

El aumento de B/T mejora, en general, la estabilidad de formas.

Una disminución conlleva por regla general un incremento de la distancia relativa entre el centro de gravedad y el centro de carena, y por lo tanto mejora la estabilidad de peso.

En cuanto a la resistencia al avance, en general, aumenta conforme aumenta B/T. A modo orientativo, se muestran a continuación, en la Tabla 3, intervalos de esta relación para diferentes tipos de buques.

	B/T
Petroleros, bulkcarriers, carga general	2,3 – 2,8

Portacontenedores, ferrys, ro-ros	3,0 - 4,0
Pesqueros	2,2 - 2,5

Tabla 3. *Relación de B/T en función del tipo de buque*

- **RELACIÓN L/T**

Una relación eslora/calado elevada reduce la posibilidad de que el buque sufra pantocazos.

- **RELACIÓN DE LAS DIMENSIONES CON EL COSTE**

No hay que olvidar la influencia en el coste que supone la variación de cada una de las dimensiones principales.

A continuación en la Tabla 4, se muestra cómo se relacionan esas dimensiones con el coste:

16 de febrero de 2015

	Coste Construcción		Coste Operativo
	Casco	Maquinaria	
Incremento L	Se incrementa el peso de la estructura y por lo tanto el coste de construcción de manera muy importante.	Se reduce la potencia necesaria y los costes asociados, al menos para $F_n$ reducidos.	Se reduce el coste y el consumo de combustible.
Incremento B	Se incrementa el coste de construcción (pero de manera menos importante que con L).	Se incrementa la potencia y los costes asociados.	Se incrementa.
Incremento D y T	Se reduce el coste de construcción.	Se reduce la potencia y los costes asociados, si va asociado a una reducción de L.	Se reduce.
Incremento $C_B$	Forma más económica para incrementar el desplazamiento y el peso muerto.	Se aumenta la potencia. Por encima de cierta relación entre $F_n$ y $C_B$ se produce un muy importante aumento de la potencia necesaria. Existe una combinación de $C_B$ y $C_M$ de resistencia mínima.	Se incrementa.
Incremento $C_p$	No tiene una influencia significativa.	Se aumenta la potencia. Se considera el parámetro más definitorio de la resistencia al avance.	Se incrementa.

Tabla 4. Relación de las dimensiones con el coste

### 3. PARÁMETROS DE DISEÑO

- Peso en Rosca (PR) y Peso Muerto (PM)
- Gross Register tonnage (GRT)

#### a) Peso en Rosca (PR)

El peso en rosca es el peso real de un buque cuando está terminado y listo para servicio, pero se encuentra vacío (ver Figura 9).

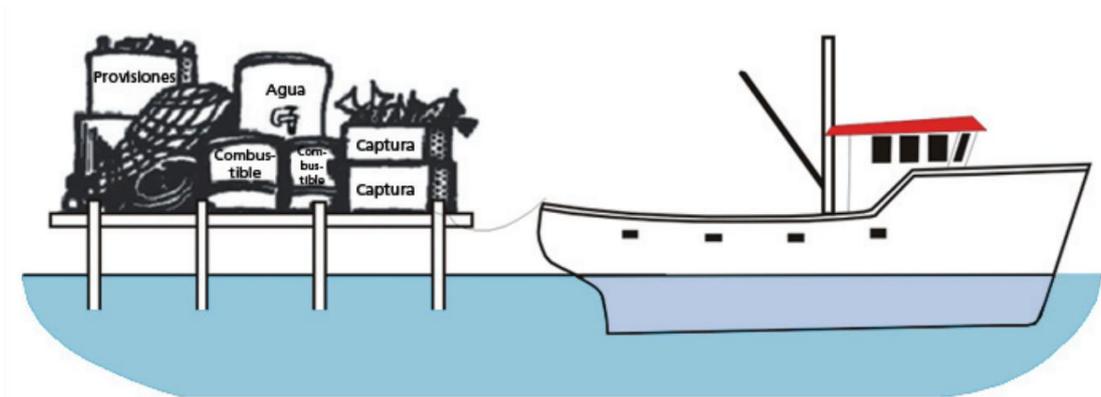
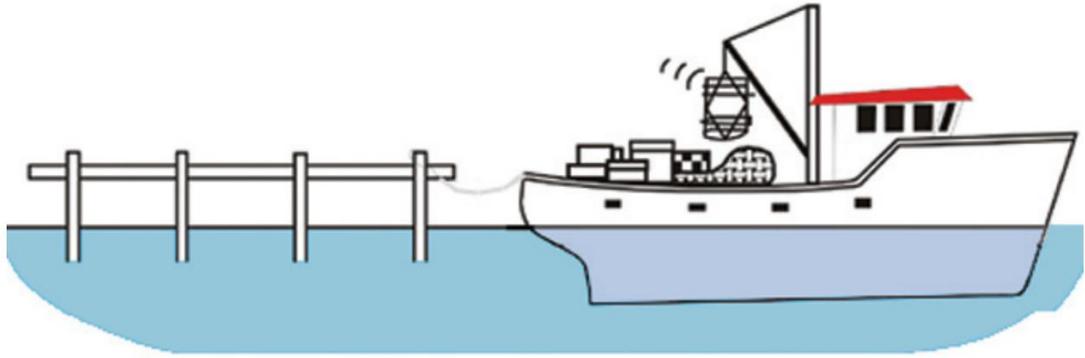


Figura 9. Representación del Peso en Rosca

#### b) Peso Muerto (PM)

Es el peso real en toneladas que un buque puede transportar cuando está cargado hasta el calado máximo admisible (incluyendo combustible, agua dulce, suministros, captura y tripulación).(Ver Figura 10).



*Figura 10. Representación del Peso Muerto*

### **c) Gross Register Tonnage (GRT)**

Tonelaje de Registro indica la capacidad en "toneladas" Moorsón de los espacios del casco bajo o sobre la cubierta utilizables para carga, pasaje, tripulación, etc. Es consiguientemente una unidad de volumen, equivalente a 100 pies cúbicos (2,83 m<sup>3</sup>).

Tonelaje de Registro Bruto (TRB o en inglés, Gross Register Tonnage, GRT) representa la capacidad de los espacios del casco bajo o sobre cubierta capaces de recibir carga, pertrechos, dotación, pasaje, consumos, etc. (Ver [8]).

Tonelaje de Registro Neto (TRN, o en inglés, Net Register Tonnage, NRT) es la capacidad deducida del TRB los espacios sin utilidad comercial (máquinas, tripulación, etc).

## 4. Métodos de Cálculo

### a) Análisis de Regresión Lineal

El análisis mediante regresión es un proceso estadístico para la estimación de relaciones entre variables. Incluye muchas técnicas para el modelado y análisis de diversas variables, cuando la atención se centra en la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes.

Más específicamente, el análisis de regresión ayuda a entender cómo el valor típico de la variable dependiente cambia cuando cualquiera de las variables independientes es variada, mientras que se mantienen las otras variables independientes fijas.

Más comúnmente, el análisis de regresión estima la esperanza condicional de la variable dependiente dadas las variables independientes - es decir, el valor promedio de la variable dependiente cuando se fijan las variables independientes. Con menor frecuencia, la atención se centra en un cuantil, u otro parámetro de localización de la distribución condicional de la variable dependiente dadas las variables independientes.

En todos los casos, el objetivo es la estimación de una función de las variables independientes llamada la función de regresión. El análisis de regresión, también es de interés para caracterizar la variación de la variable dependiente en torno a la función de regresión, que puede ser descrita por una distribución de probabilidad.

El análisis de regresión es ampliamente utilizado para la predicción y previsión. El análisis de regresión se utiliza también para comprender qué variables independientes están relacionadas con la variable dependiente, y explorar las formas de estas relaciones.

- **Definiciones**

En la aplicación desarrollada, realizaremos el cálculo de diversas magnitudes a través de una regresión de tipo lineal. Para ello, suponemos que partimos de una base de datos de parámetros relacionados con dos variables.

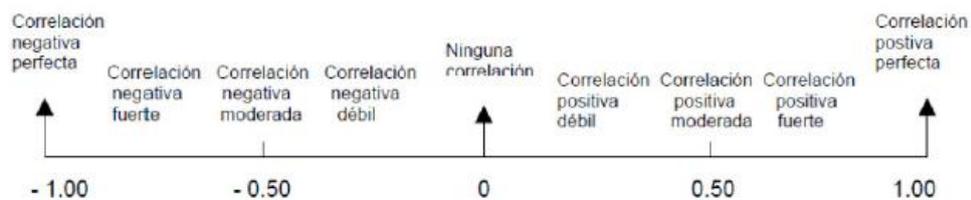
Todos los datos pertenecientes a la base de datos se pueden introducir en una gráfica de dispersión, donde tendremos una imagen de la representación de todos estos datos en función de esas dos variables.

Visualizando esta imagen, podremos determinar que se puede realizar una aproximación mediante una expresión de tipo lineal de una manera ajustada pero no exacta.

La calidad del ajuste se puede cuantificar mediante el coeficiente de correlación lineal de Pearson "r". Este parámetro, toma unos valores que se mueven entre "1" y "-1", y se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$-1 \leq r = \frac{Cov(X, Y)}{s_X s_Y} = \frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}) \times (Y_t - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2} \times \sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}} \leq +1$$

- Si  $r = 1$ , existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada *relación directa*: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.
- Si  $0 < r < 1$ , existe una correlación positiva.
- Si  $r = 0$ , no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes: pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.
- Si  $-1 < r < 0$ , existe una correlación negativa.
- Si  $r = -1$ , existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada *relación inversa*: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.



## • Proceso de ajuste

Para la determinación del valor de las variables de diseño, se procedió al análisis de la base de datos correspondiente a cada tipo de buque, al ajuste de los datos correspondientes mediante una recta y posteriormente a la aplicación de unos requisitos de ajuste.

El procedimiento comienza con la búsqueda de la recta para el ajuste de los datos, para ello debemos tener en cuenta:

De entre todas las rectas con las que se puede tratar de aproximar la relación entre las variables, parece lógico buscar aquella que mejor se ajuste a la nube de puntos.

Aunque existen diferentes procedimientos para ajustar una función simple, la elección tradicional es la recta de mínimos cuadrados.

La recta de mínimos centra su objetivo en que pase lo más cerca posible de todos los puntos, es decir que diste poco de todos y cada uno de ellos significa que hemos de adoptar un criterio particular que en general se conoce como MÍNIMOS CUADRADOS. Este criterio significa que la suma de los cuadrados de las distancias verticales de los puntos a la recta debe ser lo más pequeña posible. En la Figura 11 se muestra una representación de una recta por mínimos cuadrados.

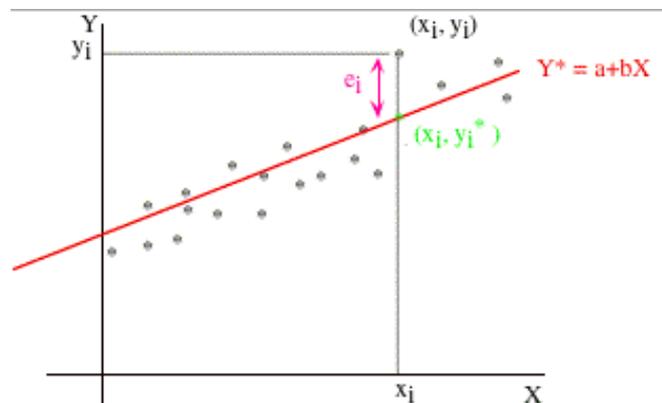


Figura 11. Representación de la recta de los mínimos cuadrados

Si las dispersiones son pequeñas, la recta será un buen representante de la nube de puntos, o lo que es lo mismo, la *bondad de ajuste del modelo será alta*. Si la dispersión es grande, la bondad de ajuste será baja.

Una forma de medir dicha bondad de ajuste es precisamente evaluando la suma de los cuadrados de los errores. Por tanto, llamaremos *Varianza residual* a la expresión:

$$S_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2}{n}$$

Si la varianza residual es grande, el modelo será malo, es decir, la recta no explicará el comportamiento general de la nube.

La fórmula práctica para el cálculo de la varianza residual, si el procedimiento de ajuste es el de los mínimos cuadrados es la siguiente:

16 de febrero de 2015

$$S_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2 - a \sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n}$$

Ahora, ya es fácil obtener una media que nos indique el porcentaje de variaciones controladas o explicadas mediante el modelo, que se conoce como **Coefficiente de Determinación**, que denotaremos con  $R^2$ . Su expresión en tanto por 1, será:

$$R^2 = 1 - \frac{S_e^2}{s_y^2}$$

Como puede observarse, a partir de la expresión anterior:  $0 < R^2 < 1$ . Por tanto:

Si  $R^2=1$ , entonces no hay residuos, habrá una dependencia funcional. Cuanto más se acerque dicho valor a la unidad, mayor **poder explicativo** tendrá el modelo de regresión.

Si  $R^2=0$ , X no explica en absoluto ninguna de las variaciones de la variable Y, de modo que o bien el modelo es inadecuado, o bien las variables son independientes. Cuanto más cercano a 0 esté dicho valor, menor poder explicativo.

Para nuestro método de cálculo hemos introducido dos filtros:

- El primero consiste en la colocación de un rango superior e inferior, que delimitan la cantidad de datos introducidos.
- El segundo a través de que el valor de " $R^2$ " sea mayor que 0,8, mediante la eliminación de casos particulares.

## • Introducción de filtros en el programa

La introducción de dichos filtros se realizó de la siguiente manera:

### **Rangos de parámetro de diseño**

ind1=find(PM>PMi & PM<PMs);

Donde el parámetro de diseño es el Peso Muerto del Buque, a través de la introducción de un parámetro superior e inferior, el programa solo muestra los buques que se encuentran dentro de ese rango, esto se realiza de ésta manera para la limitación de los datos. Esto se debe a que al eliminar datos fuera de ese rango, estamos reduciendo los cálculos necesarios producidos por el programa y simplificando la obtención de resultados.

### **Búsqueda de un valor para $R^2$ superior a 0,8**

En este caso este filtro, es introducido en la programación en forma de bucle, de manera que el programa eliminara los casos particulares más alejados de la media, hasta que

se logre el objetivo de  $R_2 \geq 0,8$  o aparezca un mensaje de advertencia en el que se indica la necesidad de ampliar la base de datos.

La forma de introducción en el lenguaje Matlab es la siguiente:

```

while R<0.8 && n>=10

    errores=abs(Lajuste-Lppb);

    [eM,ind_aux]=max(errores);

    ind_aux=ind_aux(1);

    PM=[PM(1:ind_aux-1);PM(ind_aux+1:n)];

    Lppb=[Lppb(1:ind_aux-1);Lppb(ind_aux+1:n)];

    n=n-1;

    % Cálculo de los parametros de regresión lineal

    p=polyfit(PM,Lppb,1);

    r2=corrcoef(Lppb,PM);

    R=r2(2,1)*r2(2,1);

    m=p(1); b=p(2);

    Lajuste=polyval(p,PM);

    LPMp=polyval(p,PMp);

end

if n<10

    % mensaje de advertencia

    msgbox('Se recomienda ampliar base de datos','Ajuste poco exacto

    R<0.8','error','modal');

end
    
```

Este mismo procedimiento de ajuste es llevado a cabo para todas las dimensiones del buque proyecto y en todas las pantallas de cálculo existentes en el programa “MAIN DIMENSIONS”.

## b) Fórmulas Empíricas

Es el método de cálculo más tradicional, es decir, este método utiliza las diferentes fórmulas obtenidas a lo largo del tiempo mediante la experiencia en el mundo naval. Estas fórmulas se basan en la relación entre los diferentes parámetros que determinan las dimensiones del buque.

Para una descripción detallada de todas las fórmulas utilizadas en el programa, vamos a definir las una a una. También comentaremos para qué parámetros son utilizadas dentro de la programación de nuestro software "Main Dimensions". Además, también mencionaremos para qué tipo de buque ha sido utilizadas dichas expresiones.

En primer lugar es necesario comentar los tipos de buque para los que el cálculo empírico no es válido y por qué.

- **Buques sin cálculo empírico**

Dentro de este punto vamos a encontrar dos tipos de buques:

- Portacontenedores
- Roro

### ***Portacontenedores***

El portacontenedores es un buque destinado al transporte de carga de una manera estandarizada, esto se traduce en el transporte de la carga en contenedores de un tamaño determinado (ver Figura 12).



Figura 12. Buque portacontenedores

Dentro de los buques portacontenedores podemos encontrar dos tipos de contenedores en cuanto al tamaño:

16 de febrero de 2015

- TEU: Es el contenedor más utilizado dentro del mundo naval y que posee una dimensión de 20 pies.

Las dimensiones exteriores del contenedor normalizado de 20 pies (6,1 m) son: 20 pies (6,1 m) de largo por 8 pies (2,4 m) de ancho por 8,5 pies (2,6 m) de altura. Su volumen exterior es de 1.360 pies cúbicos equivalentes a 38,51 metros cúbicos. Su capacidad es de 1165,4 pies cúbicos equivalentes a 33 metros cúbicos. El peso máximo del contenedor es 24.000 kg aproximadamente, pero restando la tara o peso en vacío, la carga en su interior puede llegar a pesar 21.600 kg.

- FEU: Es un contenedor con un tamaño el doble del anterior nombrado, es decir, de 40 pies y a la hora del transporte se tiene en cuenta como dos TEU.

Esta forma de carga, determina que el tamaño del buque está relacionado con la cantidad de contenedores que debe transportar, por lo que no tenemos fórmulas empíricas para la selección de las dimensiones del buque, estas vendrían relacionadas con los contenedores a transportar.

### **RORO**

Los buques RoRo, poseen un problema similar a la hora de realizar el cálculo que los Buques Portacontenedores y es que ambos vienen determinados por las dimensiones de la carga que deben transportar.

Los buques Roro al transportar carga rodada tal cómo coches, camiones, ect. Están limitados a la hora de la selección de sus dimensiones en la cantidad de vehículos que deben transportar (ver Figura 13).



Figura 13. Buque RoRo

Normalmente las dimensiones se obtienen en función de los metros lineales, teniendo en cuenta unas medidas estándar en función del tipo de vehículo.

- **Buques con Cálculo Empírico**

En este punto vamos a estudiar los siguientes tipos de buques:

- Petrolero
- Buques de Carga
- Bulk Carrier

***Petrolero***

En este tipo de buques, el parámetro de diseño es el Peso Muerto (ver [7]), por lo que partiendo de este dato, vamos a comenzar el cálculo de las diferentes dimensiones del buque (ver Figura 14).



*Figura 14. Buque Petrolero*

- Eslora entre perpendiculares:

Se obtiene a través de la fórmula de MAGLIONI

$$L_{pp} = a\sqrt[4]{PM}$$

Dónde a=14.2 tomado como valor medio

- Manga

Se obtiene a través de la fórmula de WATSON

$$B = \frac{L_{pp}}{7,5} + 2$$

Esta fórmula permite la obtención de la manga a través de la eslora. De esta relación es importante saber que:

Su aumento, asociado a una disminución de eslora y manga, tiende a disminuir sensiblemente el peso estructural.

Su aumento da lugar, en general, a una disminución de la superficie mojada y de la resistencia viscosa y, a veces, también de la resistencia por formación de olas. Ello puede dar lugar a una disminución de la resistencia total en su rango completo de variación, o a un mínimo relativo.

El límite superior de aumento puede venir impuesto por el francobordo, por requerimientos de estabilidad o por limitaciones dimensionales absolutas; el inferior por razones estructurales o de comportamiento en la mar.

La relación L/B está directamente relacionada con la resistencia al avance y la potencia propulsora. La relación L/B influye de la misma forma que la eslora en la resistencia al avance, es decir, a mayor L/B mayor resistencia por fricción, menor resistencia de presión de origen viscoso y menor resistencia por formación de olas.

Debe tenerse también en consideración que, a igualdad de eslora y de volumen de carga, también será equivalente el volumen de tanques de combustible. Por lo tanto, si el consumo de combustible aumenta por reducir la relación L/B, también se reduce la autonomía del buque.

Al estar relacionada L/B con la resistencia al avance, también puede considerarse relacionada con el número de Froude (Fn). Para determinar un L/B adecuado se debe tener en consideración el número de Froude al que va a navegar el buque.

- Calado

Se obtiene a través de la relación entre el calado y la manga mediante la siguiente fórmula

$$\frac{B}{T} = 2,4$$

La relación B/T tiene influencia en la estabilidad inicial y en la resistencia al avance. El aumento de B/T mejora, en general, la estabilidad de formas.

16 de febrero de 2015

Una disminución conlleva por regla general un incremento de la distancia relativa entre el centro de gravedad y el centro de carena, y por lo tanto mejora la estabilidad de peso.

- Puntal

Se obtiene a través de la relación del puntal con la manga, debido a que el KM es función de la manga y el KG es función del puntal.

Como referencia se puede tomar  $B/D = 1,5$  para buques "poco estables" y  $B/D=1,8$  para buques con buena estabilidad, es decir:

$$1,5 < B/D < 1,8$$

La fórmula para su obtención sería la siguiente, tomando en cuenta que es un buque de gran estabilidad

$$\frac{B}{D} = 1,8$$

### ***Buque de Carga General***

Las dimensiones de estos buques, también vienen determinadas por el Peso Muerto que precisa el buque, es por ello que éste es el parámetro de diseño y a partir de éste, obtendremos el resto de variables (ver Figura 15).



Figura 15. *Buque de Carga General*

- Eslora entre perpendiculares

Al igual que en el caso anterior, vamos a calcular esta dimensión a través de la fórmula de MAGLIONI

$$L_{pp} = a \sqrt[4]{PM}$$

Dónde a es 14,2 tomando un valor medio.

- Manga

Se obtendrá a través de las fórmulas generales, relacionando la Manga con la eslora del buque, a través de Meizoso:

$$L/B = 6,5 \quad \text{para } L > 130m$$

$$L/B = 4 \quad \text{para } L < 130m$$

- Calado

Se obtendrá a través de la relación con la Manga del buque, a través de la siguiente fórmula, para buques con una sola hélice

16 de febrero de 2015

$$\frac{B}{T} = 2,4$$

- Puntal

Para el cálculo del puntal, volvemos a relacionarlo con la Manga del buque, en este caso nos encontramos ante un buque con buena estabilidad pero en el que deben de tenerse en cuenta los posibles corrimientos de cargas, por ello, debemos realizar una estimación de la siguiente manera.

$$\frac{B}{D} = 1,7$$

***Bulk Carrier***

En este tipo de Buques se presenta una Carga sólida a granel, por lo que se sigue utilizando como parámetro de diseño el Peso Muerto (ver Figura 16).



Figura 16. Buque Bulk Carrier

- Eslora entre perpendiculares

Como en los casos anteriores, vamos a realizar el cálculo a través de la relación entre la eslora y el Peso Muerto, este será obtenido a través de la fórmula de MAGLIONI

$$L_{pp} = a\sqrt[4]{PM}$$

Dónde a es 14,2 tomando un valor medio.

- Manga

El cálculo de la manga será obtenido a través de la relación de esta con la eslora, esto lo realizaremos mediante la fórmula de WATSON

$$B = \frac{L_{pp}}{9} + 4,27$$

16 de febrero de 2015

- Calado

Obtendremos la misma relación que para el caso anterior, ya que se trata de buques muy similares en cuanto a comportamiento

$$\frac{B}{T} = 2,4$$

- Puntal

Al igual que se produce con el Calado, obtendremos un valor similar al caso anterior, utilizando la siguiente expresión

$$\frac{B}{D} = 1,7$$

## • Cálculo de desplazamientos y coeficientes

En este apartado vamos a estudiar el cálculo del Desplazamiento del buque, así como de los diferentes coeficientes para éste. Para ello vamos a diferenciar las diferentes variables a estudiar, las cuales son:

- Desplazamiento
- Coeficiente de Bloque
- Coeficiente Prismático
- Coeficiente de la Maestra
- Coeficiente de la Flotación

### *Desplazamiento*

El desplazamiento de un buque, es el peso del mismo para una condición de Carga determinada, en nuestro programa estamos estimando el desplazamiento para el buque a máxima carga.

Para realizar el cálculo de este parámetro, hemos utilizado la fórmula de Ayre, que relaciona el desplazamiento del buque con la eslora y velocidad de este, siempre y cuando no fueran conocidos los Coeficientes.

Para el cálculo hemos utilizado la siguiente expresión

$$\frac{L_{PP}}{\nabla^{1/3}} = 3.33 + 1.67 \frac{V}{\sqrt{L_{PP}}}$$

En el caso de ser conocidos los Coeficientes (si éste es el caso, los checkbox correspondientes estarían marcados en los datos de entrada del programa), primero realizaríamos un cálculo de todos ellos y a continuación el programa obtendría el valor del desplazamiento mediante la relación de éste con el Coeficiente de Bloque y el resto de dimensiones del buque.

Esto se realizaría mediante la siguiente expresión:

$$Cb = \text{Vol. de carena} / \text{Vol. del paralelepípedo} = Vc / (L \times B \times T)$$

Desde el punto de vista de la teoría del buque se distinguen:

**Desplazamiento en rosca,  $\Delta_r$ :** es el peso del buque tal como lo entrega el astillero; esto es, sin combustible, pertrechos, víveres ni tripulantes.

**Desplazamiento en estándar, Desplazamiento Liviano,  $\Delta_e$ :** Es el peso del buque completo, además de equipos (botes, instrumentos de navegación, etc.) más tripulación con su equipaje, líquidos en circulación, víveres, munición (en los buques de guerra), agua dulce y aceite lubricante. Quedarían excluidos el combustible y el agua de reserva para las calderas.

**Desplazamiento en lastre,  $\Delta_l$ :** es el peso del buque en rosca más todo lo necesario para que pueda navegar (combustible, agua potable, provisiones y pertrechos), pero sin carga.

**Desplazamiento máximo,  $\Delta_m$ :** es el peso que alcanza cuando está sumergido hasta la línea de máxima carga.

El desplazamiento máximo del buque viene determinado por la suma del Desplazamiento en rosca junto con el Peso Muerto.

### ***Coefficiente de Bloque***

Su aumento asociado a una disminución de la relación L/B supone una disminución de los costes de construcción y un aumento de la resistencia al avance, y por tanto, de los costes de explotación.

Valores del coeficiente de bloque demasiado altos conducen a buques de flujo en la zona de popa insatisfactorio desde el punto de vista propulsivo y en la aparición de vibraciones producidas por la hélice.

Para el Cálculo del Coeficiente de Bloque una vez conocido el Desplazamiento del buque, lo único que deberemos aplicar será la expresión antes mencionada que relaciona ambas variables con el resto de dimensiones del buque, de la siguiente manera:

$$C_b = \text{Vol. de carena} / \text{Vol. del paralelepípedo} = V_c / (L \times B \times T)$$

En el caso de que sea conocido alguno de los coeficientes y no el desplazamiento, la obtención de éste se realizará mediante la relación del Coeficiente de Bloque con el Coeficiente prismático, a través de la siguiente expresión:

$$C_p = 0.96 C_b + 0.04$$

### ***Coefficiente Prismático***

Para el cálculo del Coeficiente Prismático, vamos a diferenciar también dos situaciones, una en la que es conocido el coeficiente de bloque con anterioridad y otra en la que lo que conocemos es el Coeficiente de la Flotación.

16 de febrero de 2015

Para el primer caso, en caso de conocer cualquiera de los datos que no sea el Coeficiente de la Flotación, tendremos acceso a conocer el Coeficiente de Bloque y con éste, mediante la relación mencionada anteriormente podremos conocer su valor:

$$C_P = 0.96 C_B + 0.04$$

Para el segundo caso, en el que el dato conocido es el Coeficiente de la Flotación, calcularemos el Coeficiente Prismático mediante la siguiente expresión que relaciona ambos términos:

$$C_F = 1 - 0.3 ( 1 - C_P )$$

### ***Coeficiente de la Maestra***

Para el cálculo del Coeficiente de la Maestra, dependeremos de la relación de ésta con el Coeficiente de Bloque.

No se necesita otra relación porque con cualquiera de los datos obtenidos anteriormente, llegaremos antes a la obtención del Coeficiente de Bloque.

Esta relación viene determinada por la siguiente expresión:

$$C_M = 0.947 + 0.057 C_B$$

### ***Coeficiente de la Flotación***

Para el cálculo del Coeficiente de la Flotación, dependeremos de la relación de ésta con el Coeficiente Prismático.

No se necesita otra relación porque con cualquiera de los datos obtenidos anteriormente, llegaremos antes a la obtención del Coeficiente Prismático.

Esta relación viene determinada por la siguiente expresión:

$$C_F = 1 - 0.3 ( 1 - C_P )$$

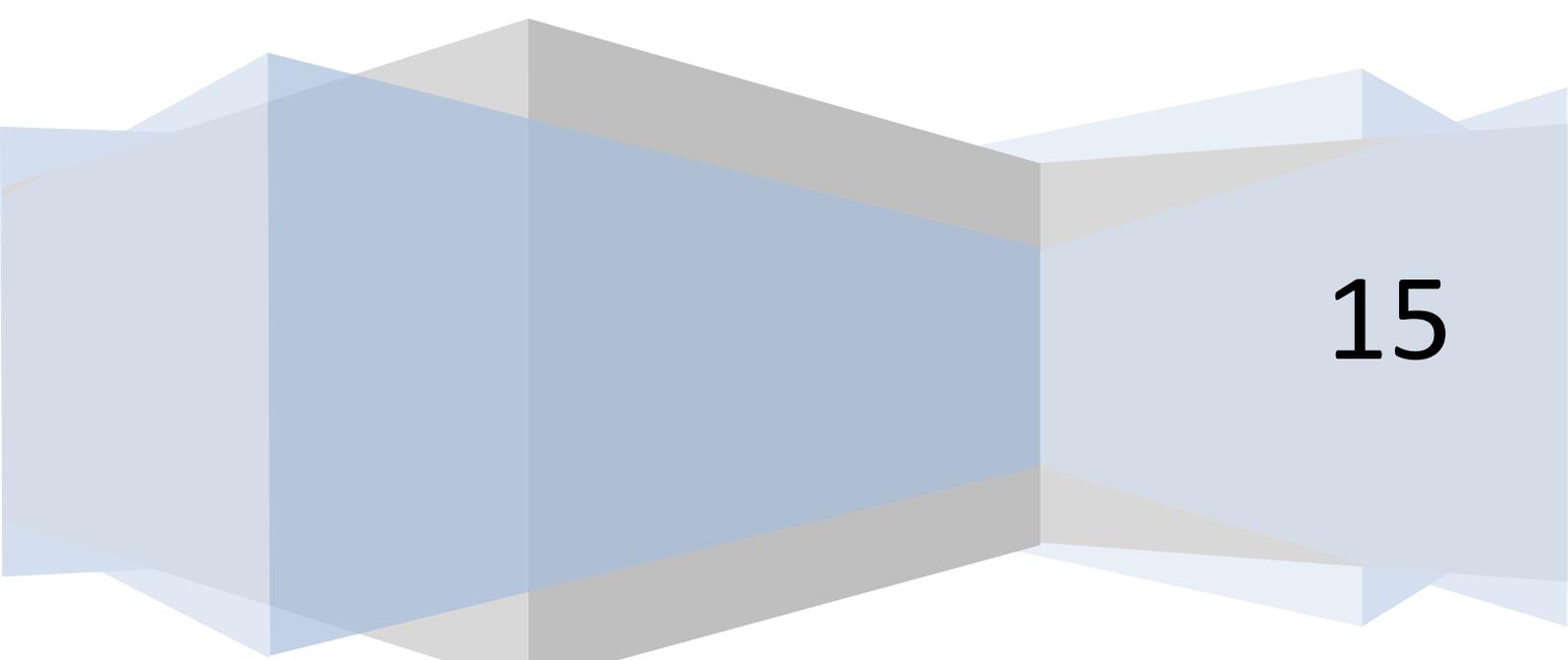


# TUTORIAL

# “MAIN DIMENSIONS”

Basado en Matlab

Daniel Hernández Magdalena



15

16 de febrero de 2015

**Instalación del programa**

**Ejecución del programa**

**Pantallas del programa**

Pantalla de Inicio

Pantalla de Selección del Tipo de Buque

Pantallas para los diferentes tipos de buques

**Introducción de datos**

Peso Muerto

Base de datos

Buque base

Gross Tonnage

**Obtención de resultados**

## 5. Tutorial

### a) Instalación del programa

Para la instalación del programa lo primero que se ha de realizar es la instalación de Matlab en nuestro ordenador, una vez realizado esto se procederá a la copia de la carpeta dentro del disco duro de nuestro ordenador y con ésto el proceso de instalación estará finalizado.

Para la ejecución de nuestro programa, se recomienda la utilización de la versión de Matlab R2014a.

### b) Ejecución del programa

Para ejecutar nuestro programa, lo primero que debemos realizar es ejecutar Matlab. Una vez abierto éste, debemos dirigirnos hacia la barra para abrir la carpeta de “Interfaz gráfica”, que es en la que se sitúa el programa para su ejecución.

En la Figura 17 se observa cómo debe aparecer la pantalla de la siguiente manera:

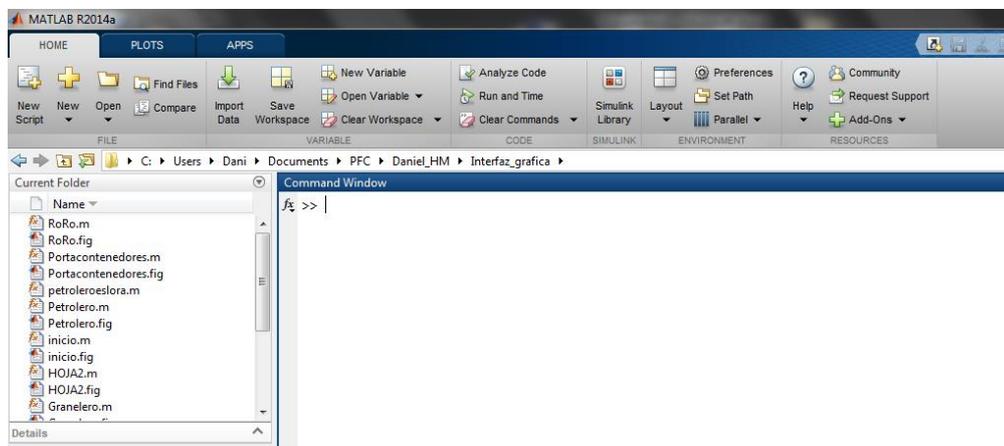


Figura 17. Pantalla de ejecución del programa

Una vez colocado de esa manera en la ventana de Comandos, deberemos ejecutar el orden “inicio”, lo que procederá al inicio de “Main Dimensions”.

16 de febrero de 2015

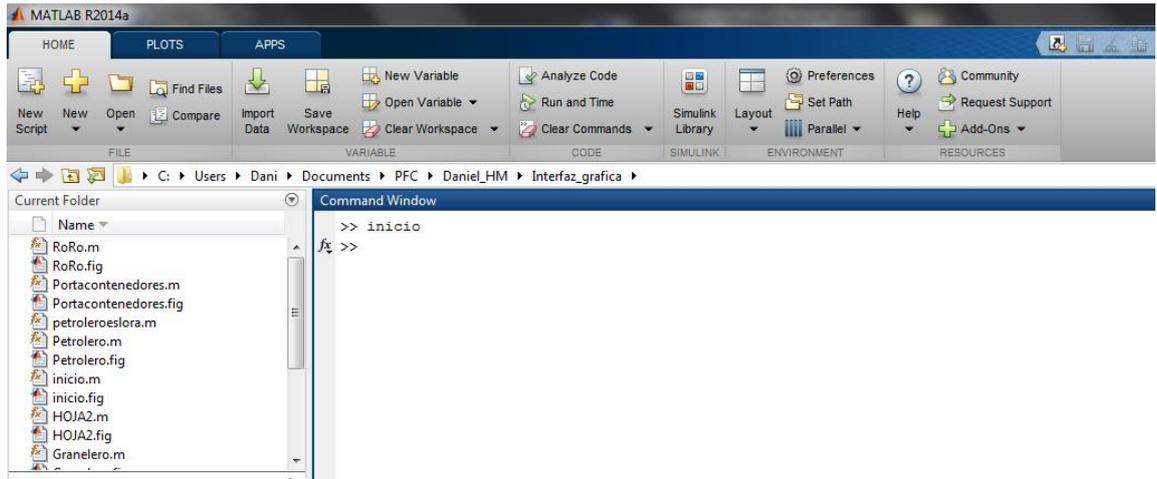


Figura 18. Pantalla de ejecución con el comando “inicio”

Una vez realizado esto, se ejecutará la pantalla de inicio del programa (ver Figura 18).

## c) Pantallas del programa

- **Pantalla de Inicio**

Una vez ejecutado el comando Inicio en Matlab, nos aparecerá la siguiente pantalla para comenzar con el programa:

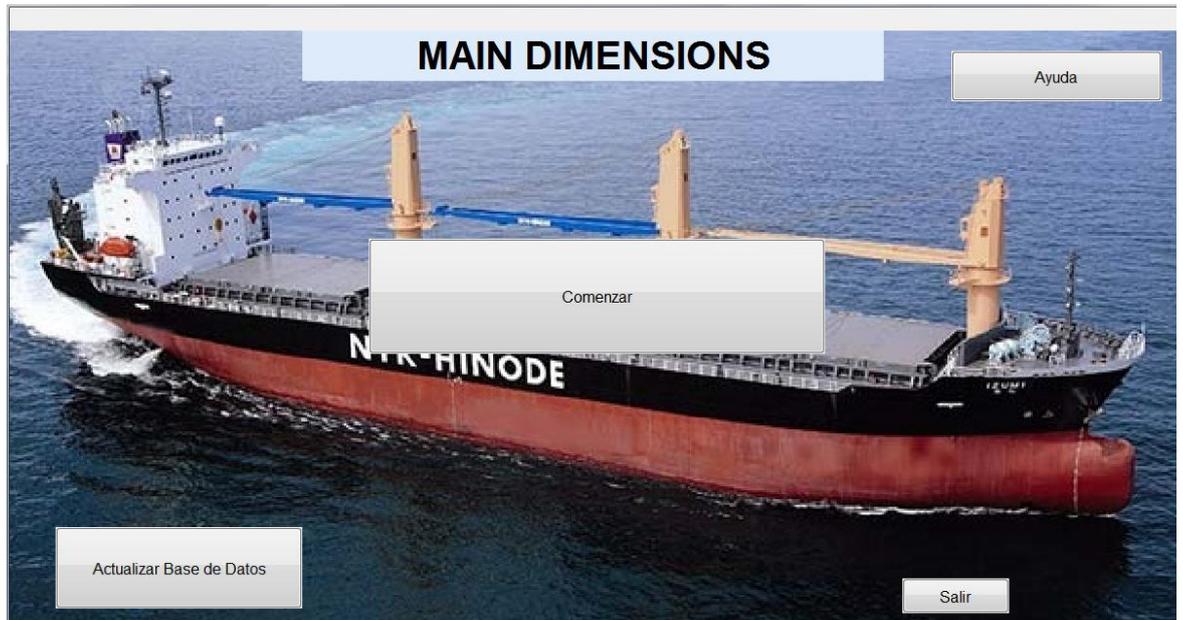


Figura 19. Pantalla de Inicio del Programa

En la ventana de la Figura 19 encontramos las siguientes opciones:

- Comenzar
- Ayuda
- Actualizar base de datos
- Salir

**COMENZAR:** Haciendo click sobre el botón de comenzar, accederemos a la siguiente ventana del programa, donde podremos seleccionar el tipo de buque, e introducir el valor de los parámetros de cálculo correspondientes.

**AYUDA:** Si hacemos clic sobre este botón, accederemos a un fichero PDF en el cual se proporciona ayuda respecto a los parámetros de cálculo, posibles dudas sobre el procedimiento de introducción de datos o preguntas frecuentes que se puedan dar a la hora de la utilización del programa por primera vez.

**ACTUALIZAR BASE DE DATOS:** Haciendo click sobre este botón, accederemos a la apertura del fichero de Excel, en el cual se encuentra la base de datos sobre la que funciona el

programa. Accediendo a ella se puede modificar o añadir datos de nuevos buques. Esto es importante en el caso de que el ajuste por mínimos cuadrados resulte un ajuste no sea satisfactorio. En este caso sería necesario introducir nuevos buques en la base de datos o cambiar los parámetros de diseño. Para realizar esta tarea de una manera adecuada se recomienda seguir los pasos de la Ayuda del programa.

SALIR: Por último al hacer click sobre el botón de salida, se cerrará el programa, con la consecuente pérdida de los datos introducidos.

- **Pantalla de Selección del Tipo de Buque**

Una vez hemos hecho click sobre el botón comenzar, como vemos en la Figura 20, accederemos a esta ventana:

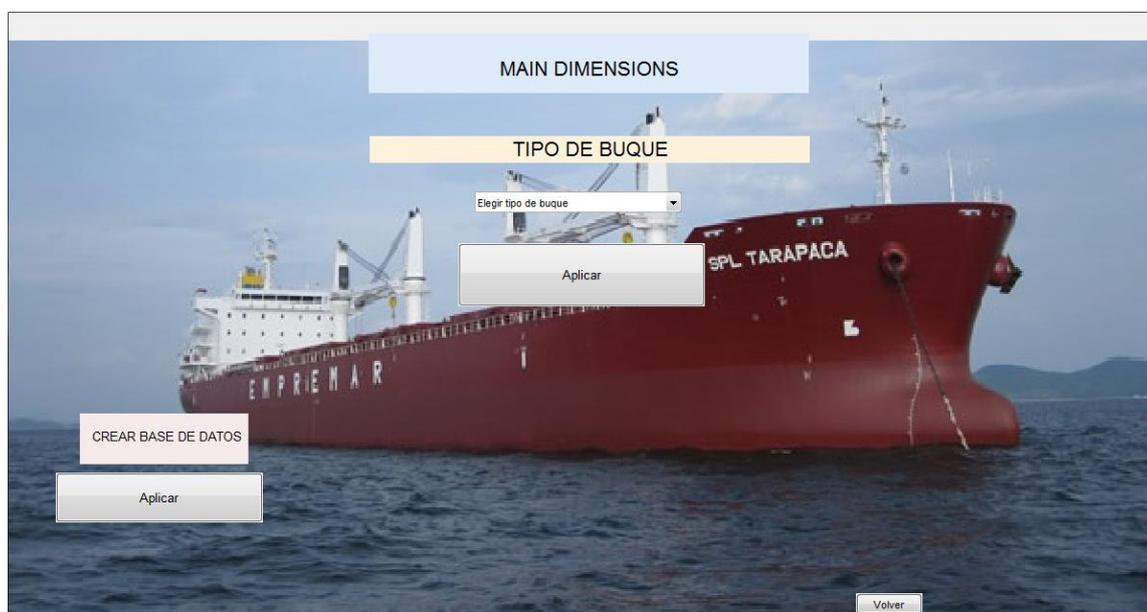


Figura 20. Pantalla de selección del tipo de buque

En la ventana de la Figura 20 encontraremos las siguientes opciones:

- Elegir tipo de buque
- Crear Base de Datos
- Volver

ELEGIR TIPO DE BUQUE: Al hacer click sobre la pestaña de Elegir Tipo de Buque se nos desplegará el siguiente menú para la selección del mismo (ver Figura 21):

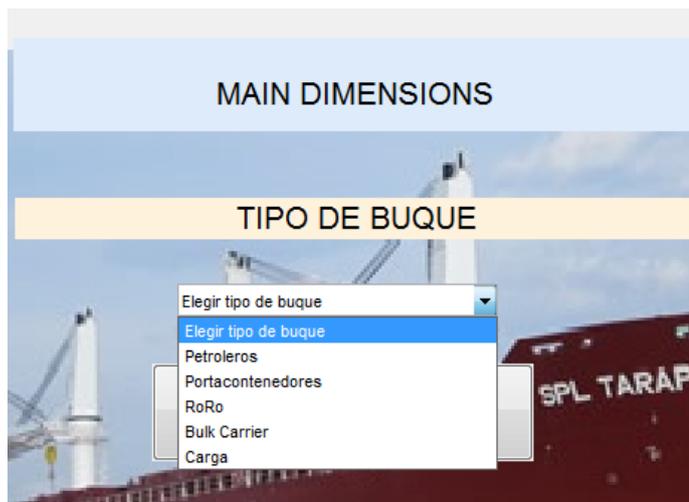


Figura 21. *Selección del tipo de buque*

Una vez seleccionado el tipo de buque, haciendo click sobre el botón inferior de Aplicar, accederemos a la ventana para dicho tipo de buque con el fin de poder introducir los datos necesarios para realizar el cálculo.

CREAR BASE DE DATOS: En el caso de que el buque del que se pretenden obtener las dimensiones sea poco común o bien muy específico, el usuario pulsará el botón aplicar que se encuentra en la zona baja de la pantalla (botón correspondiente a la opción de crear mi propia base de datos).

Al seleccionar esta opción, el programa me redirige a una pantalla de cálculo en la cual se me permitirá introducir mi propia base de datos tal y como se mostrará más adelante en este tutorial.

VOLVER: Haciendo click sobre este botón haremos que el programa nos envíe de nuevo a la ventana anterior del programa.

- **Pantallas para los diferentes tipos de buques**

En este punto, lo que vamos a realizar es una pequeña muestra de todas las diferentes pantallas para el cálculo de cada buque y posteriormente definiremos como se introducen los datos:

- PETROLEROS (Figura 22)

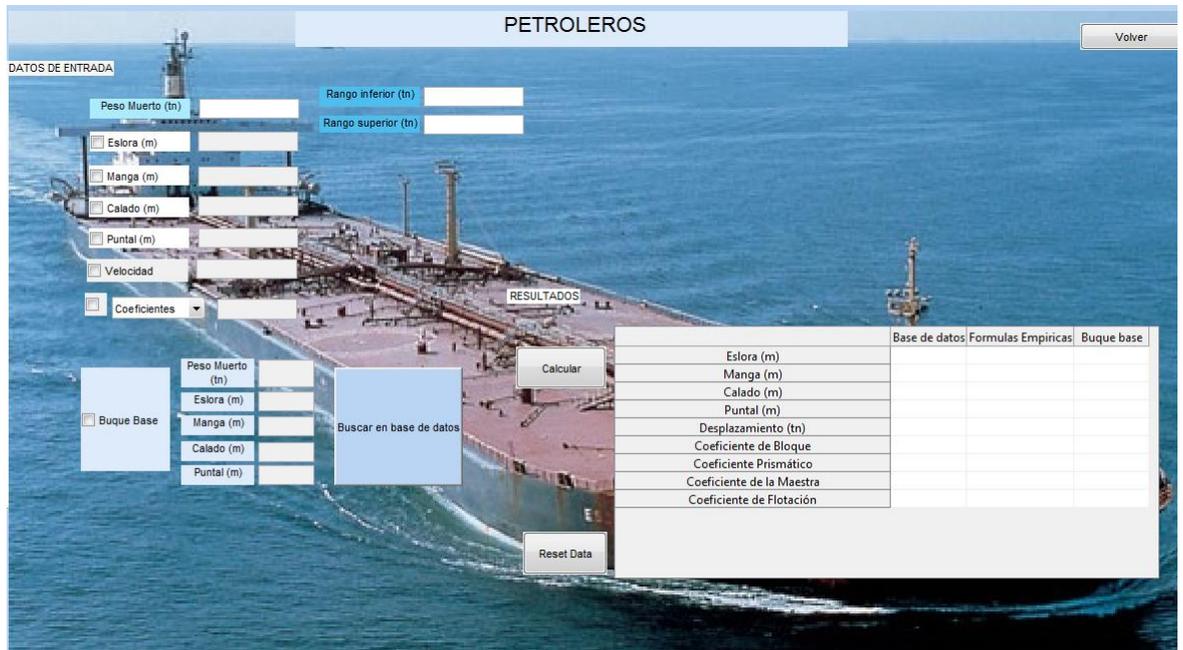


Figura 22. Pantalla para buques Petroleros

- PORTACONTENEDORES (Figura 23)

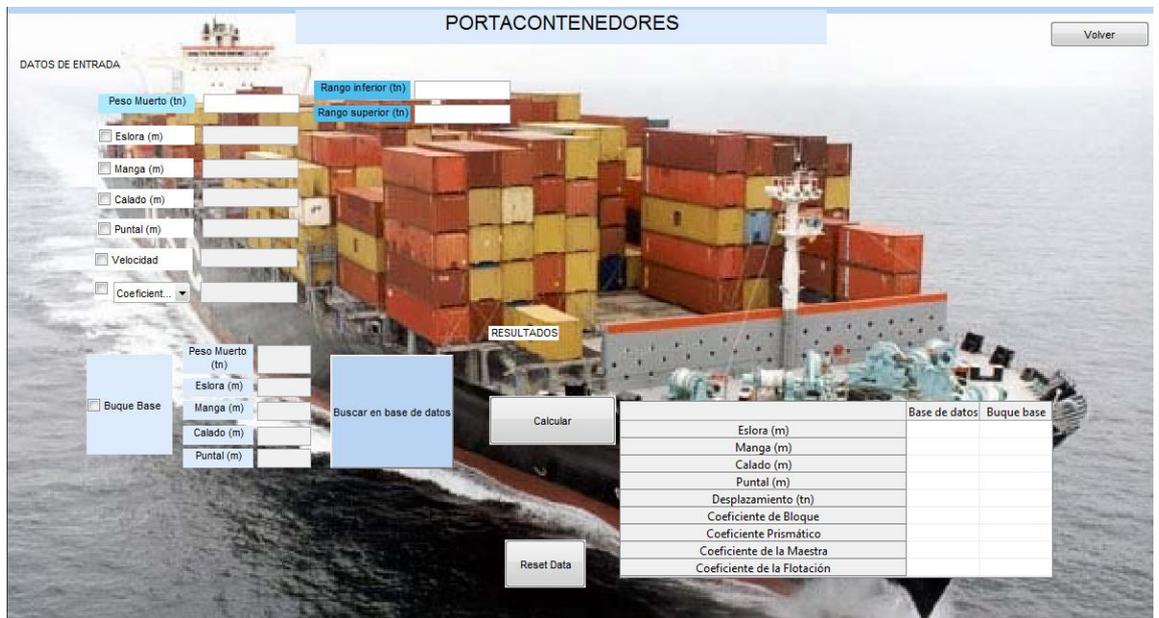


Figura 23. Pantalla para buques Portacontenedores

- RORO (Figura 24)

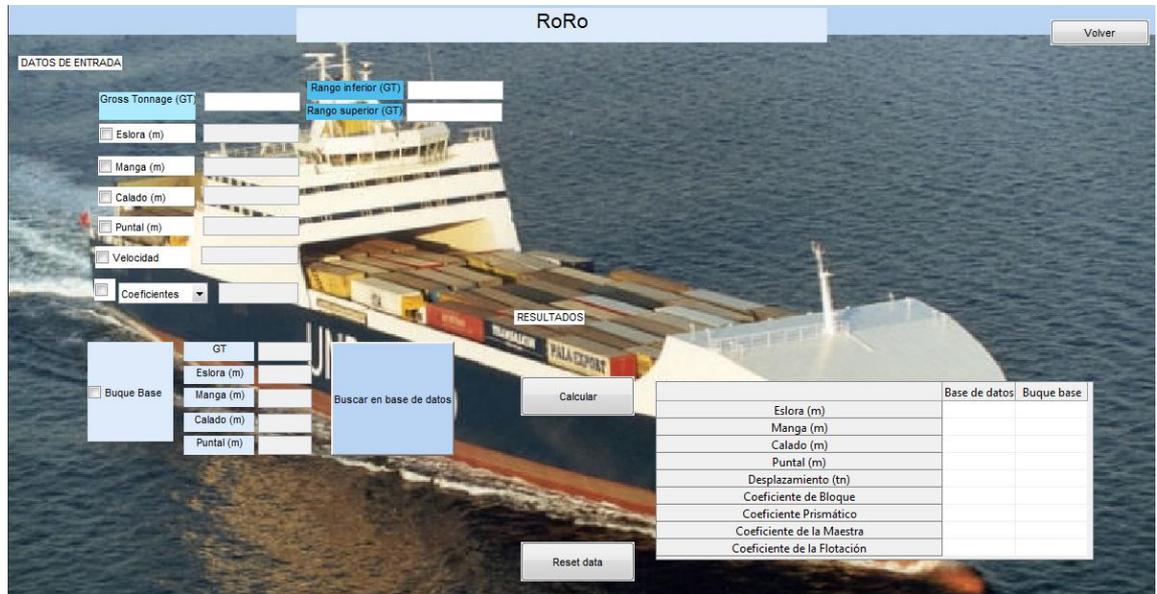


Figura 24. *Pantalla para buques RoRo*

- BULK CARRIER (Figura 25)

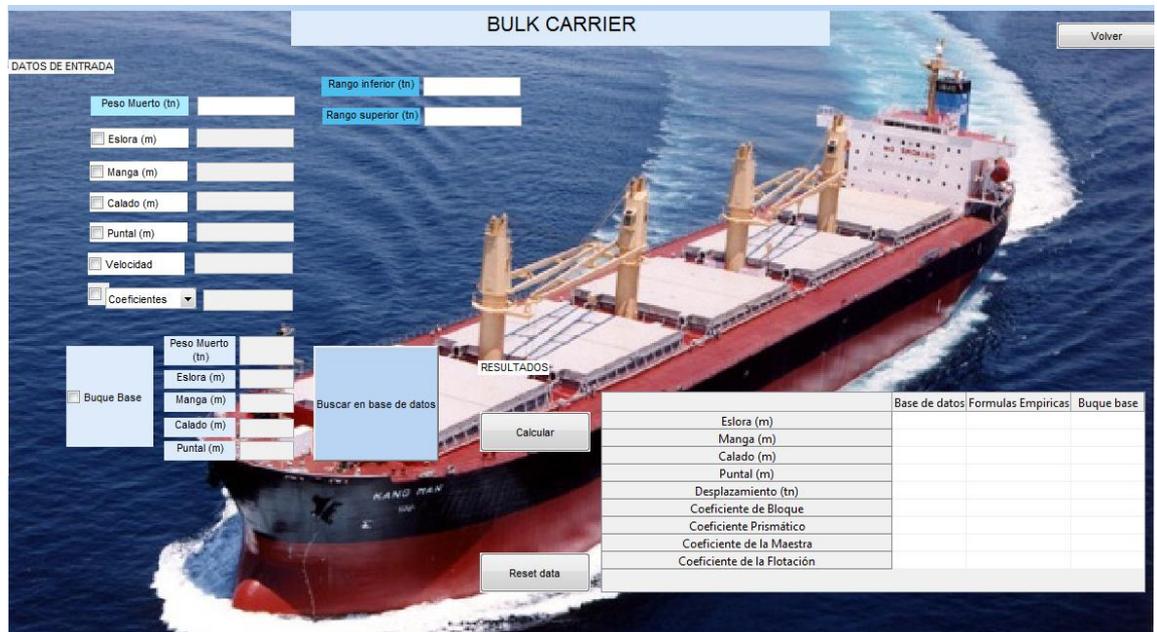


Figura 25. *Pantalla para buques Bulk Carrier*

- CARGA GENERAL (Figura 26)

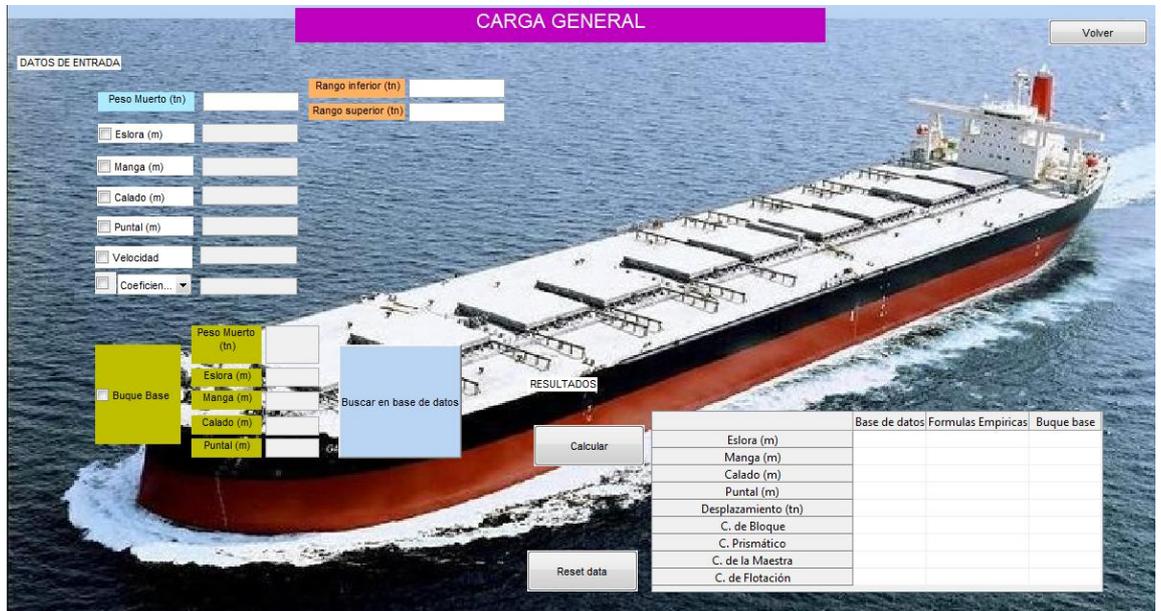


Figura 26. Pantalla para buque de carga General

- CREAR PROPIA (Figura 27)



Figura 27. Pantalla para crear Base de Datos Propia

## d) Introducción de datos

Una vez definidas las diferentes ventanas para los diferentes tipos de buques, comenzaremos con la explicación de donde colocar los diferentes parámetros y de qué manera ha de realizarse. En primer lugar, debemos diferenciar aquellos buques que utilizan como parámetro de diseño el Peso Muerto (PM) de los que utilizan el Gross Tonnage (GT).

- **Peso Muerto**

Para los buques calculados a través del Peso Muerto (PM), la ventana utilizará los datos según la Figura 28:

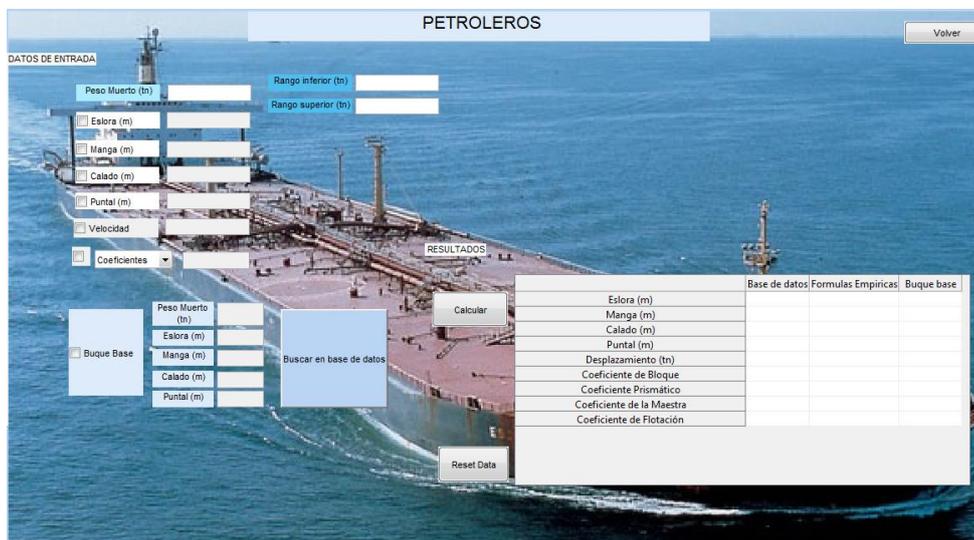


Figura 28. Pantalla de inicio buques petroleros

### **Base de datos**

Dónde observamos que los parámetros de diseño a introducir para el cálculo a través de nuestra base de datos, son los que se muestran en la Figura 29:

16 de febrero de 2015

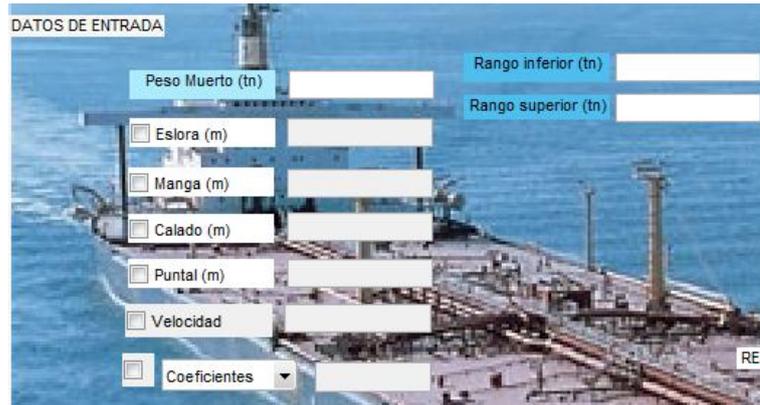


Figura 29. Pantalla para entrada de datos

- **Parámetro de diseño:** Lo primero, sería introducir el parámetro de diseño, en este caso el peso muerto, así como los Rangos Superior e Inferior, que delimitarán los datos utilizados en la Base de Datos, para optimizar el cálculo.
- **Dimensiones, Coeficientes y Velocidad:** A continuación, debemos introducir los valores de dimensión (Eslora, Manga, Puntal, Calado), velocidad o Coeficientes (Bloque, Prismático, Maestra, Flotación), en caso de queramos que éstos sean fijos. En caso contrarios, se calcularán a partir de la base de datos.

### ***Buque base***

Para la obtención de resultados a través de un buque base introducido (a mano) o a través de un buque de la base de datos, debemos marcar la casilla de buque base en la siguiente ventana (ver Figura 30):

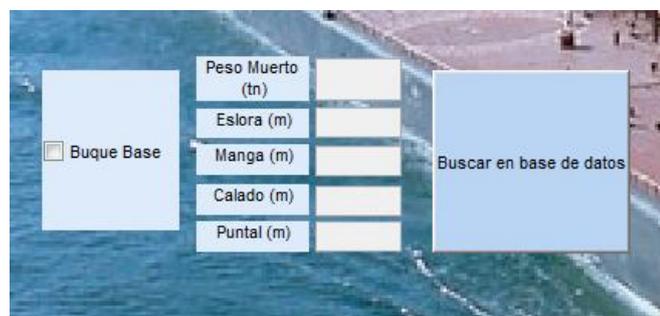


Figura 30. Pantalla para entrada de buque base

Y una vez marcada esta casilla, procederemos a rellenar los datos del buque de comparación o seleccionaremos uno de la base de datos.

Los datos a rellenar son:

- El parámetro de diseño: en este caso el peso muerto.
- Las dimensiones del buque (Eslora, Manga, Puntal y calado).

Como se muestra en la Figura 31:

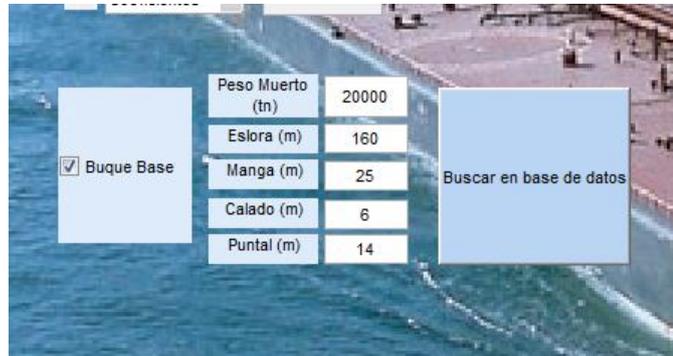


Figura 31. Pantalla de buque base con datos colocados

## • Gross Tonnage

Para estos buques la introducción de datos se produce de la misma manera, con la diferencia de la utilización del Gross Tonnage en lugar del Peso muerto, tal cual se muestra en la Figura 32:

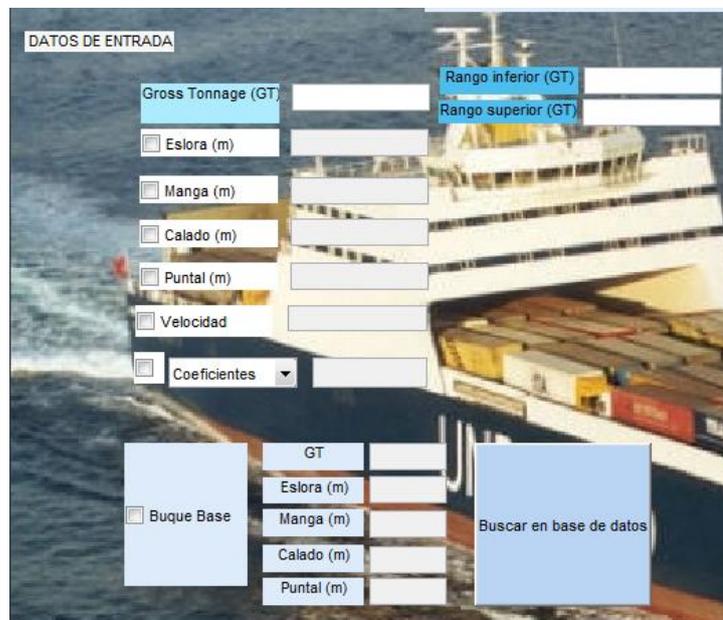


Figura 32. Pantalla introducción de datos con Gross Tonnage como parámetro de diseño

Una vez realizada la introducción de datos solo debemos presionar sobre el botón de calcular y el programa se pondrá en funcionamiento para la obtención de resultados.

## e) Obtención de resultados

Una vez realizado todo el proceso anterior y rellenado de una manera correcta toda la introducción de datos, al presionar sobre el botón "calcular" el programa procede a la obtención de resultados. Los resultados se muestran de la siguiente manera (ver Figura 33):

	Base de datos	Formulas Empiricas	Buque base
Eslora (m)	157.7491	168.8674	160
Manga (m)	24.3874	24.5157	25
Calado (m)	6.0492	10.2149	6
Puntal (m)	13.4356	13.6198	14
Desplazamiento (tn)	3.6525e-05	2.0100e-05	3.5417e-05
Coefficiente de Bloque	0.8500	0.8500	0.8500
Coefficiente Prismático	0.8560	0.8560	0.8560
Coefficiente de la Maestra	0.9955	0.9955	0.9955
Coefficiente de Flotación	0.9568	0.9568	0.9568

Figura 33. *Pantalla de Resultados*

En caso de no introducir datos para el buque base, todos los resultados serían de "0" para esos datos.

En esta ventana encontramos los siguientes datos:

- Eslora
- Manga
- Calado
- Puntal
- Desplazamiento
- Coeficiente de Bloque
- Coeficiente Prismático
- Coeficiente de la Maestra
- Coeficiente de Flotación

Y todos ellos en función de los diferentes métodos de cálculo:

- Base de datos
- Formulas Empíricas
- Buque base

De esta forma se dispone de las dimensiones principales de un buque proyecto de tres formas de calculadas, lo cual nos permite comparar y establecer si la estimación es válida y ofrece resultados lógicos o si por el contrario los resultados obtenidos distan mucho unos de otros. Esto pondrá en entredicho la validez de los resultados obtenidos.

## 6. Casos prácticos

En este apartado vamos a pasar a mostrar cómo se realizaría el cálculo con una serie de ejemplos. Realizando los pasos uno a uno hasta conseguir los resultados.

### a) Caso práctico 1

El primer caso que vamos a estudiar va a ser el de un buque de Carga General, para ello debemos navegar de forma secuencial por las ventanas del programa hasta llegar a la ventana de Buque de Carga General, donde obtendremos la pantalla que aparece en la Figura 34:

Figura 34. Pantalla inicial para buque de Carga General

Para nuestro caso, vamos a estudiar un Buque de carga General de 20000 toneladas de Peso Muerto.

Además, para demostrar la optimización de este programa, en este caso práctico no vamos a colocar restricciones para el diseño, suponiendo que el astillero no disponga de requisitos para la construcción.

#### PRIMER PASO:

Lo primero que vamos a realizar es la introducción de los datos iniciales. En ellos debemos introducir:

16 de febrero de 2015

- Peso Muerto: el cual ha sido fijado en unas 20000 toneladas
- Rango Superior e Inferior:

Para fijar estos rangos, vamos a introducirnos en la siguiente tabla (ver Tabla 5), que nos da unos rangos para cada tipo de dimensionamiento de buque:

TAMAÑO DWT	CLASIFICACION	TAMAÑO DWT
10,000–24,999	Product tanker	10,000–60,000
25,000–44,999	Panamax	60,000–80,000
45,000–79,999	Aframax	80,000–120,000
80,000–159,999	Suezmax	120,000–200,000
160,000–319,999	VLCC	200,000–320,000
320,000–549,999	Ultra Large Crude Carrier	320,000–550,000

Tabla 5. *Clasificación de los buques por tamaño*

En nuestro caso, los rangos quedan determinados entre 10000 y 60000 toneladas de Peso Muerto.

Con estos datos, procedemos a rellenar los requisitos del programa de la manera mostrada en la Figura 35, para los datos iniciales:



Figura 35. *Pantalla introducción de datos en buque de Carga General*

Una vez colocados estos datos, ya nos encontraríamos en posición de iniciar los cálculos para los distintos métodos de cálculo propuestos: a través de la base de datos o a través de las fórmulas empíricas.

Al no estar marcada la casilla de Buque Base, el programa devolvería unos resultados para esos cálculos de valor a cero para todos los casos.

SEGUNDO PASO:

Con el fin de mostrar las posibilidades del programa, vamos a realizar una muestra de cómo se utilizaría éste, para el cálculo simultaneo de los resultados a través de un Buque Base.

Para ello, en primer lugar debemos marcar la casilla de Buque Base, lo que nos dará acceso a la introducción de los datos de dicho buque.

Los datos necesarios son:

- Peso Muerto
- Eslora
- Manga
- Puntal
- Calado

En nuestro caso, vamos a utilizar como Buque Base, uno de los buques que podemos encontrar dentro de la base de datos.

El buque seleccionado, posee los siguientes datos (ver Tabla 6):

Nombre del buque	L (m)	B (m)	T (m)	D (m)	PM (Tn)	Velocidad
VINASHIP STAR	158,5	25,8	9,417	13,3	23948	15.20

Tabla 6. *Buque base para ejemplo práctico*

Ahora debemos pasar a introducir los datos del buque base en su casilla correspondiente tal cual se muestra en la Figura 36:

16 de febrero de 2015

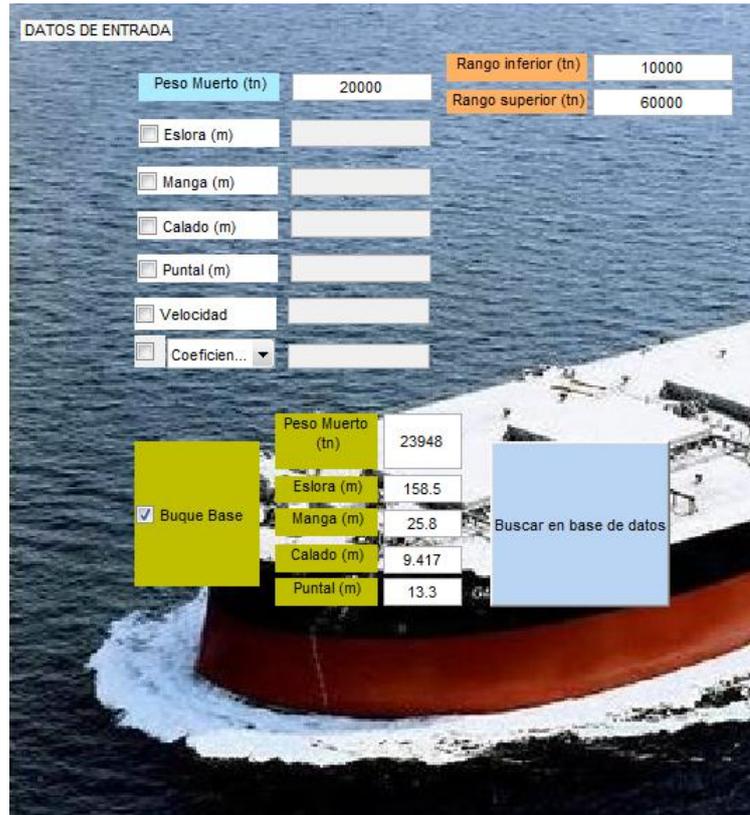


Figura 36. Ejemplo de introducción de datos para buque base

Una vez tenemos todos los datos introducidos, lo único que nos queda hacer es pulsar sobre calcular y comprobar los resultados obtenidos.

TERCER PASO:

Comprobación de los resultados: En este apartado, el programa generará una tabla en la cual podremos comprobar los resultados de la siguiente manera (ver Tabla 37):



Figura 37. Pantalla de Resultados

Podemos observar que las dimensiones obtenidas son similares, exceptuando la eslora obtenida a través de fórmulas empíricas. Esta diferencia de eslora es la que produce que los

16 de febrero de 2015

coeficientes tengan también un valor diferente al de los otros métodos de cálculo. Por ello deberemos fijarnos en los valores de la base de datos y del buque base, para obtener unas dimensiones fiables.

El poder realizar el cálculo de estas tres maneras, nos da esta posibilidad de comprobación para saber con qué grado de exactitud estamos obteniendo los resultados.

## b) Caso Práctico 2

En este caso, vamos a proceder a una modificación, una vez obtenidos los resultados, para ello vamos a partir de los datos obtenidos en el caso práctico anterior:

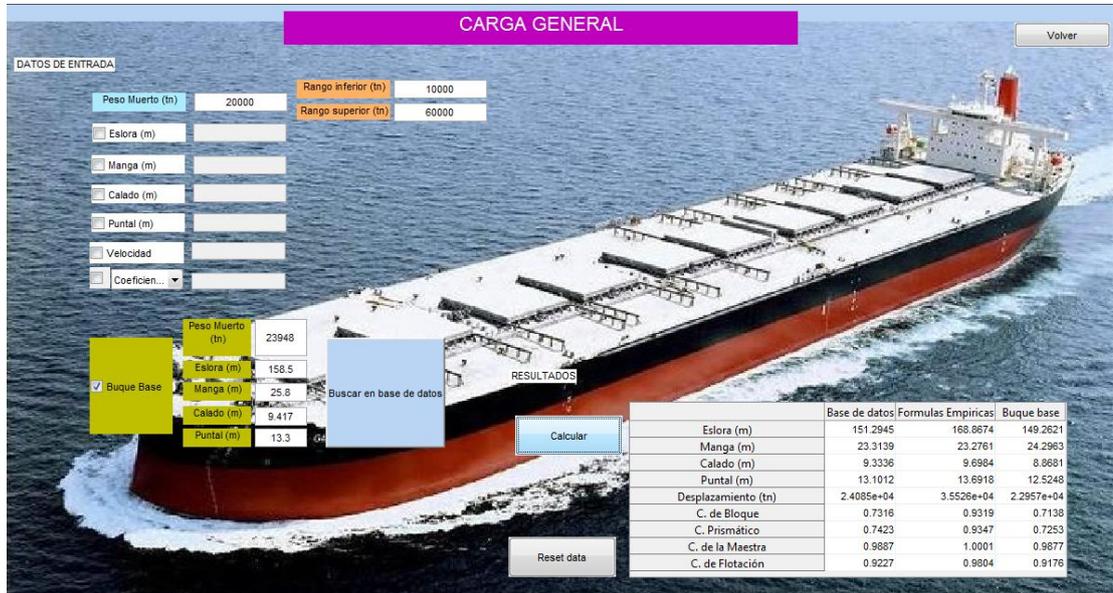


Figura 38. *Pantalla de introducción de datos para buque de Carga General*

En la imagen que se muestra en la Figura 38 podemos observar los datos introducidos con los correspondientes resultados obtenidos.

Una aplicación de estas modificaciones que vamos a explicar en este caso es la siguiente: como podemos observar, en el caso anterior un parámetro quedaba alejado del obtenido mediante los otro dos métodos (Eslora).

Al querer eliminar esta diferencia en el cálculo de esloras, para afinar más nuestro cálculo, vamos a proceder a establecer una eslora para nuestro buque de 150 metros.

Además, fijándonos en la Tabla 7, vamos a fijar también un parámetro de Coeficiente de Bloque deseado para nuestros cálculos:

BUQUE	CB	V (nudos)
Gabarra	0,90	5 - 10
Bulkcarrier	0,80 - 0,85	12 - 17
Petrolero	0,80 - 0,85	12 - 16
Carga general	0,55 - 0,75	13 - 22
Portacontenedores	0,50 - 0,70	14 - 26
Ferry	0,50 - 0,70	15 - 26

Tabla 7. Relación de los buques con su Coeficiente de Bloque y Velocidad

Como podemos observar para un buque de Carga General, los parámetros de Coeficiente de Bloque deben situarse entre 0,5 - 0,7

Por esto vamos a estimar un valor de Coeficiente de Bloque con valor de 0,6 quedándonos unos datos de entrada de la siguiente manera (ver Figura 39):

16 de febrero de 2015

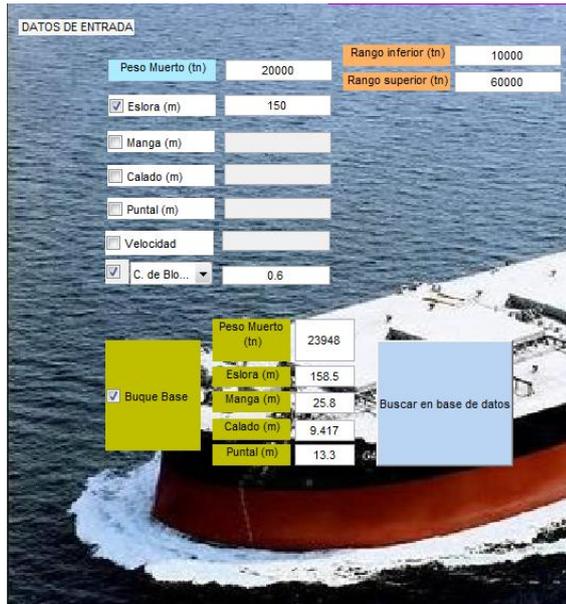


Figura 39. *Ejemplo de introducción de datos*

Una vez tenemos todos los datos introducidos, vamos a volver a dar al botón de calcular y podremos comprobar la variación en los resultados, siendo los nuevos resultados los siguientes:

	Base de datos	Formulas Empiricas	Buque base
Eslora (m)	150	150	150
Manga (m)	23.3139	23.0769	24.2963
Calado (m)	9.3336	9.6154	8.8681
Puntal (m)	13.1012	13.5747	12.5248
Desplazamiento (tn)	1.9584e+04	1.9970e+04	1.9392e+04
C. de Bloque	0.6000	0.6000	0.6000
C. Prismático	0.6160	0.6160	0.6160
C. de la Maestra	0.9812	0.9812	0.9812
C. de Flotación	0.8848	0.8848	0.8848

Figura 40. *Pantalla de Resultados*

Podemos observar en los resultados que se muestran en la Figura 40, que se ha producido un afinamiento en todos los resultados obtenidos, por lo que los nuevos datos son más fiables.

Por lo que nos damos cuenta que cuanto mayor sea el número de requerimientos que introduzcamos, mas se afinarán los resultados.

### c) Caso Práctico 3

En este tercer y último caso, vamos a estudiar la introducción de datos para un Buque Petrolero con una serie de restricciones iniciales.

PRIMER PASO:

Como siempre, lo primero a realizar es abrir la ventana correspondiente al tipo de Buque deseado. En este ejemplo accederíamos a la ventana que aparece en la Figura 41:

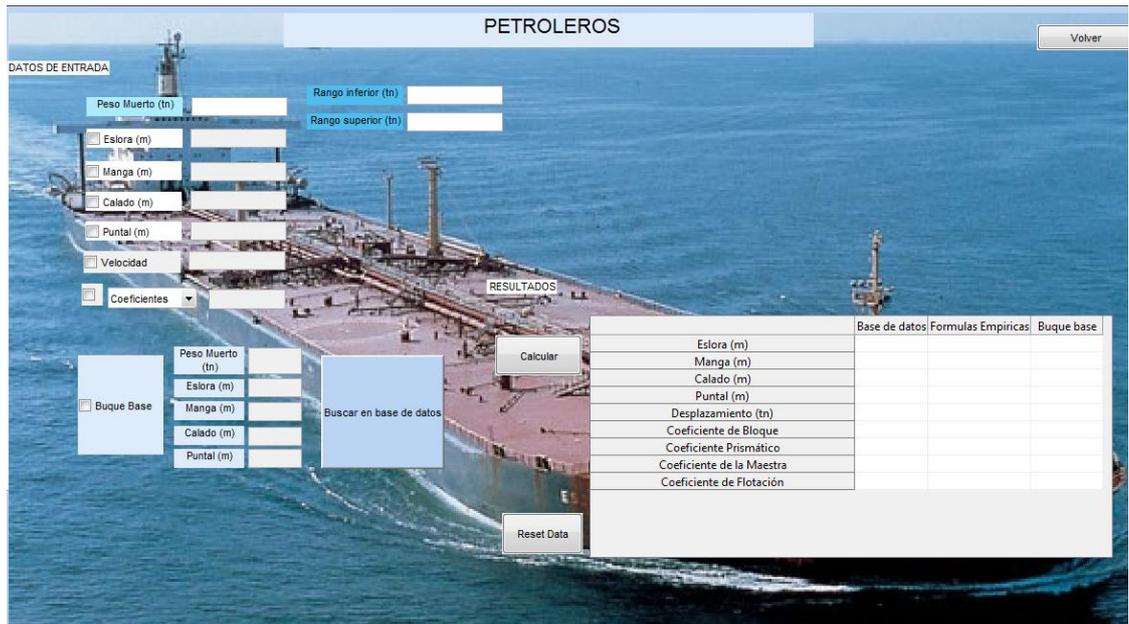


Figura 41. *Pantalla de introducción de datos*

SEGUNDO PASO:

Una vez en esta ventana, deberemos introducir los datos y las restricciones que poseamos para nuestro caso.

Vamos a estudiar un buque petrolero de 100000 toneladas de Peso Muerto y que además posee las siguientes restricciones:

- Eslora: El astillero tiene un requisito de 245 metros como máximo para la construcción del buque.
- Manga: Las restricciones que poseemos de manga en el dique del astillero son de 32 metros como máximo, que además permiten al buque cruzar por el Canal de Panamá.
- Coeficiente de bloque: Fijándonos en la Tabla 8, vamos a establecer que el coeficiente de Bloque de nuestro buque debe estar entre los 0,80 y 0,85 por lo que vamos a estimar un coeficiente de bloque de 0,83.

BUQUE	CB	V (nudos)
Gabarra	0,90	5 - 10
Bulkcarrier	0,80 - 0,85	12 - 17
Petrolero	0,80 - 0,85	12 - 16
Carga general	0,55 - 0,75	13 - 22
Portacontenedores	0,50 - 0,70	14 - 26
Ferry	0,50 - 0,70	15 - 26

Tabla 8. Relación de los buques con su Coeficiente de Bloque y Velocidad

- Velocidad: Como podemos observar en la Tabla 8, la velocidad de requisito de nuestro buque va a estar entre los 12 y 16 nudos de velocidad, para nuestro caso vamos a estimar unos 15 nudos de velocidad.
- Rangos: Finalmente tendremos que seleccionar un rango de Peso Muerto superior e inferior para nuestro buque. Para ello, fijándonos en la Tabla 9, podemos estimar los valores que debemos colocar en nuestro buque, siendo en este caso 80000 tn. – 160000 tn.

CLASIFICACION DE PETROLEROS POR TAMAÑO						
CLASE	TAMAÑO DWT	CLASIFICACION	TAMAÑO DWT	PRECIO NUEVO	PRECIO USADO	
General Purpose tanker	10,000–24,999	Product tanker	10,000–60,000	\$43M	\$42.5M	
Medium tanker	25,000–44,999	Panamax	60,000–80,000			
LR1 (Large Range1)	45,000–79,999	Aframax	80,000–120,000	\$58M	\$60.7M	
LR2 (Large Range2)	80,000–159,999	Suezmax	120,000–200,000			
VLCC (Very Large Crude Carrier)	160,000–319,999	VLCC	200,000–320,000	\$120M	\$116M	
ULCC (Ultra Large Crude Carrier)	320,000–549,999	Ultra Large Crude Carrier	320,000–550,000			

Tabla 9. *Relación de los buques con su tamaño*

Una vez hemos obtenido todas estas restricciones, pasamos a colocarlas en los respectivos lugares, quedándonos los datos de entrada de la siguiente manera (ver Figura 42):

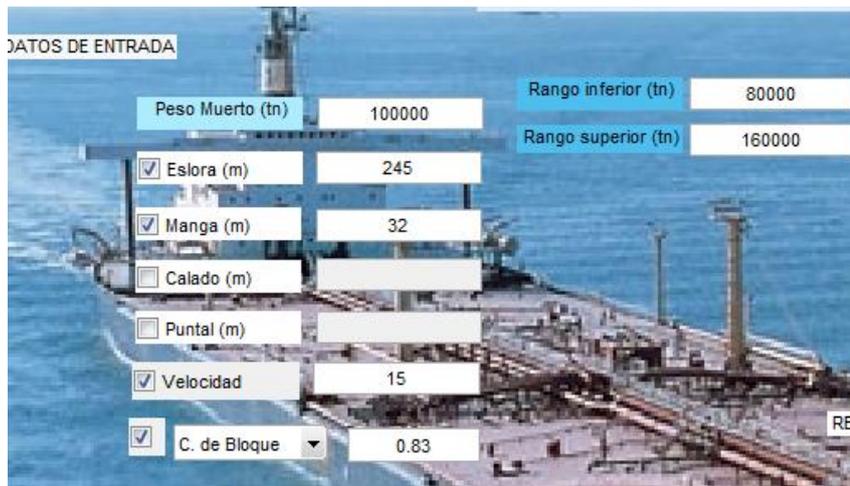


Figura 42. *Ejemplo introducción de datos*

TERCER PASO:

Como queremos comprobar al máximo la capacidad del programa, vamos a incluir un buque base para comprobar también los cálculos realizados a través de este.

Para ello debemos marcar la casilla de buque base y una vez desbloqueadas las casillas debemos rellenar los datos del buque.

Para nuestro caso, vamos a utilizar el buque de la Tabla 10 como buque base:

Nombre del buque	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	PM (t)
IMPROS	244,3	39,4	21,3	14,669	101605

Tabla 10. *Buque base para el ejemplo*

16 de febrero de 2015

Por lo que rellenamos todos los datos, quedándonos todos los datos de entrada finales como se muestra en la Figura 43:

**DATOS DE ENTRADA**

Peso Muerto (tn) 100000 Rango inferior (tn) 80000  
 Rango superior (tn) 160000

Eslora (m) 245  
 Manga (m) 32  
 Calado (m)  
 Puntal (m)  
 Velocidad 15  
 C. de Bloque 0.83

Buque Base

Peso Muerto (tn)	101605
Eslora (m)	244.3
Manga (m)	39.4
Calado (m)	14.7
Puntal (m)	21.3

Buscar en base de datos

Figura 43. *Ejemplo introducción de datos*

CUARTO PASO:

Una vez terminados los pasos anteriores, pasamos a dar al botón de “Calcular” y procederemos a comprobar los resultados obtenidos.

Al presionar sobre dicho botón, podemos comprobaren la tabla de la Figura 44, devuelta por el programa:

	Base de datos	Formulas Empiricas	Buque base
Eslora (m)	245	245	245
Manga (m)	32	32	32
Calado (m)	14.4259	13.3333	14.6222
Puntal (m)	20.8591	17.7778	21.1872
Desplazamiento (tn)	9.3872e+04	8.6763e+04	9.5149e+04
Coefficiente de Bloque	0.8300	0.8300	0.8300
Coefficiente Prismático	0.8368	0.8368	0.8368
Coefficiente de la Maestra	0.9943	0.9943	0.9943
Coefficiente de Flotación	0.9510	0.9510	0.9510

Figura 44. *Pantalla de Resultados*

16 de febrero de 2015

Podemos comprobar que los resultados son muy similares, por lo que podríamos darlos como buenos.

De nuevo volvemos a comprobar que al poner mayor número de restricciones, los resultados se igualan y se afinan cada vez más.

## 7. Conclusiones

Una vez realizado el proyecto y utilizado el programa para una serie de casos prácticos, hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- La herramienta Matlab, pese a su complejidad en sus primeras tomas de contacto, rápidamente se convierte en un programa muy útil a la hora de realizar cálculos complejos, así como la creación de pequeños paquetes de Software basados en la herramienta Guide, propia de este programa.
- Lo primero que se debe determinar en un buque es el parámetro de diseño, ya que es éste el que condiciona el resto de dimensiones del buque, por lo que debe tenerse claro en primera instancia su valor.
- Como conclusiones sobre el funcionamiento del programa podemos destacar que en ocasiones los resultados nos muestran unas grandes diferencias entre los resultados obtenidos por cada método. Esto puede darnos una idea de que en esos casos los resultados no son fiables.
- Por el contrario, en ocasiones aparecen unos resultados muy similares para los tres métodos. Esto nos viene a identificar un caso en el que los resultados obtenidos, son bastante fiables para tenerlos en cuenta.
- Además hemos podido comprobar que mediante la introducción de más requisitos, es decir, mediante la fijación de diferentes parámetros de diseño, podemos llegar de una manera más rápida a la obtención de resultados similares para los métodos propuestos. Esto conduce a resultados más fiables.

# AYUDA DEL PROGRAMA

## "MAIN DIMENSIONS"

---

## 8. Ayuda

### a) Introducción

A continuación se adjunta documentación necesaria para facilitar la comprensión del programa anteriormente descrito llamado 'Main Dimensions'.

Consiste en la obtención de las dimensiones óptimas para un buque elegido por el usuario mediante la utilización de tres métodos de cálculo. Dicho programa cuenta también con la opción de fijar algunas de sus dimensiones.

Para ello se debe actualizar periódicamente la base de datos utilizada para la obtención de resultados.

- **Eslora**

Es la medida de un buque tomada a su largo, desde la proa hasta la popa.

También la podemos definir como la distancia entre dos planos perpendiculares a la línea de crujía medida paralelamente a la línea de agua.

De estos planos, uno pasa por la parte más saliente a popa y el otro por la parte más saliente a proa de la embarcación, incluidas todas las partes estructurales e integrales, como son proas o popas de cualquier material.

Es frecuente medir la eslora en pies.

1 pie = 0,3048 m ó 30 cm aproximadamente.

La eslora puede considerarse como la dimensión principal para el dimensionamiento, puesto que una vez conocida pueden determinarse otras características principales del buque de forma sencilla.

#### ***Eslora entre perpendiculares (L<sub>pp</sub>)***

Es la medida entre las perpendiculares de proa y popa. Entendemos perpendicular de popa la medida generalmente tomada en línea al eje del timón y como perpendicular de proa a la intersección del casco con la línea de flotación a plena carga y con asiento nulo, es decir, que el calado de proa y el calado de popa son iguales.

#### ***Eslora en la flotación (L<sub>f</sub>)***

Es la longitud del plano de flotación medida entre proa y popa y es distinta para cada superficie de flotación.

#### ***Eslora máxima***

Es la distancia entre dos planos perpendiculares a la línea de crujía entre la parte más saliente de popa y la más saliente de proa de la embarcación. Incluimos las partes

estructurales del barco y no contamos partes no estructurales como puede ser el púlpito de proa o partes desmontables que no afecten a la estructura de la embarcación como tangones, baupreses, timones o motores fueraborda.

### ***Eslora total***

Es la longitud total de barco medida entre sus extremos de proa y popa. Aquí contamos las partes no estructurales del barco como pueda ser el púlpito de proa.

- **Manga**

Es la longitud en dirección transversal buque, y se consideran las siguientes:

### ***Manga máxima (B)***

Como la manga no es constante a lo largo de todo el barco, llamaremos manga máxima a la parte más ancha del barco que normalmente suele coincidir con la cuaderna maestra.

- **Calado (T)**

El calado es la altura de la parte sumergida del casco, también lo podemos definir como la medida vertical tomada desde la quilla hasta la línea de flotación.

Tomando la medida en la perpendicular de popa, tendremos el calado de popa y si la medida la tomamos en la línea de la perpendicular de proa tendremos el calado de proa. La diferencia entre los calados en popa y en proa se llama asiento.

El **calado máximo** es el correspondiente al desplazamiento máximo.

### ***Calado Medio (Tm)***

El **calado en el medio** es la medida de la parte sumergida del casco tomada a la altura de la cuaderna maestra. Es la semisuma de los calados de proa y popa. Es decir el calado de proa más el calado de popa dividido entre dos.

- **Puntal (D)**

Es la altura del buque o distancia vertical en metros medido desde la cara inferior del casco en su intersección con la quilla y la línea de cubierta principal o la cara superior del trancañil.

- **Coeficiente de bloque (Cb)**

Es la relación entre el volumen de la carena de un casco y el paralelepípedo que lo contiene (L=Eslora, M=Manga y H=Calado). (Figura superior).

$$C_b = \text{Vol. de carena} / \text{Vol. del paralelepípedo} = V_c / (L \times M \times H)$$

El coeficiente de bloque es básico para representar las formas del buque. Sólo en ciertos casos (buques rápidos, de guerra, etc...) su protagonismo lo ocupa el coeficiente prismático.

Los valores típicos del coeficiente de bloque oscilan entre 0,35 y 0,85, aunque en ciertos casos pueden ser superiores.

- **Coeficiente de flotación (Cf)**

Se define como coeficiente de flotación (Cf) a la relación entre el área del plano de flotación y el área del rectángulo que la circunscribe.

$$C_f = \text{Área de flotación} / \text{Área del rectángulo} = A_f / (L \times M)$$

Los valores típicos de este coeficiente varían entre 0,67 y 0,87.

Buques con formas acusadas en U:  $0,90 < C_b/C_f < 0,95$

Buques intermedios:  $0,85 < C_b/C_f < 0,90$

Buques con formas acusadas en V:  $0,80 < C_b/C_f < 0,85$

- **Coeficiente de sección maestra (Cm)**

Se define como coeficiente de sección maestra Cm a la relación entre el área de la sección maestra y el rectángulo que la circunscribe.

$$C_m = \text{Área de sección maestra} / \text{Área rectángulo} = A_m / (M \times H)$$

Los valores típicos de la sección media oscilan entre 0,75 y 0,98, aunque pueden llegar a 0,67 y 0,99.

- **Coeficiente prismático (Cp)**

Se define como coeficiente prismático Cp a la relación entre el volumen de la carena y el volumen de un cilindro cuya base tiene igual área que la sección maestra.

$$C_p = \text{Volumen de carena} / \text{Volumen cilindro} = V_c / (A_m \times L)$$

El coeficiente prismático da una idea de la distribución, en sentido longitudinal, del desplazamiento del buque.

16 de febrero de 2015

Los valores típicos del CP oscilan entre 0,55 y 0,85.

- **Desplazamiento ( $\Delta$ )**

Se trata de la masa total del barco. Es también igual al peso del agua desalojada por él, por lo tanto el desplazamiento es también el peso del buque. Para hallar el desplazamiento o peso del buque multiplicaremos el volumen sumergido expresado en metros cúbicos por la densidad del agua en la que flota.

El agua dulce tiene densidad 1

El agua de mar tiene una densidad media de 1,025.

El mar mediterráneo tiene una densidad de 1,026.

Desplazamiento = Volumen sumergido x densidad del agua

***Desplazamiento en rosca***

Es el peso del buque tal como sale del astillero, es decir, sin carga, pertrechos, ni combustible.

***Desplazamiento en lastre***

Es el desplazamiento en rosca más el combustible, víveres, agua potable pero sin carga.

***Desplazamiento en carga***

Es el desplazamiento en rosca, más combustible, víveres, agua potable y carga.

***Desplazamiento máximo***

Es el que corresponde al buque con el cargamento máximo permitido.

- **Velocidad**

No se trata de una dimensión pero es un parámetro que se utiliza para el diseño.

La velocidad es usualmente uno de los parámetros más críticos del proyecto del buque. Normalmente queda definida dentro de la especificación y no alcanzar la velocidad de pruebas suele ser motivo de penalizaciones para el astillero.

- **Peso en Rosca (PR)**

El peso en rosca es el peso real de un buque cuando está terminado y listo para servicio, pero se encuentra vacío.

- **Peso Muerto (PM)**

Es el peso real en toneladas que un buque puede transportar cuando está cargado hasta el calado máximo admisible (incluyendo combustible, agua dulce, suministros, captura y tripulación).

- **Gross Register Tonnage (GRT)**

Tonelaje de Registro indica la capacidad en "toneladas" Moorson de los espacios del casco bajo o sobre la cubierta utilizables para carga, pasaje, tripulación, etc. Es consiguientemente una unidad de volumen, equivalente a 100 pies cúbicos (2,83 m<sup>3</sup>).

Tonelaje de Registro Bruto (TRB o en inglés, Gross Register Tonnage, GRT) representa la capacidad de los espacios del casco bajo o sobre cubierta capaces de recibir carga, pertrechos, dotación, pasaje, consumos, etc.

Tonelaje de Registro Neto (TRN, o en inglés, Net Register Tonnage, NRT) es la capacidad deducida del TRB los espacios sin utilidad comercial (máquinas, tripulación, etc).

## **b) Preguntas frecuentes**

- **Restricciones de Proyecto**

Existen ciertos casos en los que las dimensiones principales están sometidas a limitaciones. Esta restricción puede afectar a una única dimensión o a varias.

Estas limitaciones se pueden clasificar en:

Limitaciones del astillero constructor. Suelen acotar principalmente la eslora y la manga. Normalmente están originadas por las dimensiones de las gradas o diques de construcción. Limitaciones debidas al tráfico que realiza el buque. Afectan principalmente a la manga y al calado, aunque en ocasiones también afecta a la eslora (p.ej. limitación de eslora por longitud de puerto o por necesidad de maniobrar en un paso estrecho). Están motivadas por los canales de tránsito y los puertos de carga y descarga (ver Figura 11 y 12).

**LIMITACIONES DE LOS PRINCIPALES CANALES**

CANAL	CALADO	MANGA	ESLORA
Canal de Corinto	8,0	22,0	-
Canal de Kiel	9,5	32,5	235
Canal de Panamá	11,28	32,3	273
Canal de S.Lorenzo	7,92	23,1	222,5
Canal de Suez	17,07	47,85	-
Estrecho de Dover	23,0	-	-
Estrecho de Malaca	23,0	-	-

Tabla 11. *Relación de los Canales con sus limitaciones*

**CALADOS MÁXIMOS DE PUERTOS DE GRANELEROS**

PUERTO	Tmx	PUERTO	Tmx	PUERTO	Tmx	PUERTO	Tmx
Albany	11,50	Amberes	14,95	Amsterdam	15,00	Bahia Blanca	11,60
Baltimore	15,20	Brownsville	10,67	Buchanan	14,20	Buenos Aires	14,50
Bunbury	12,20	Cape Town	13,10	Charleston	11,73	Corpus Christi	12,20
Duluth	07,92	Durban	11,60	Galveston	12,20	Gdansk	15,00
Gdynia	11,35	Geraldton	13,50	Hampton Roads	10,67	Houston	12,20
Le Havre	15,50	Londres	12,50	Long Beach	15,20	Los Angeles	15,50
Mobile	13,71	Monrovia	13,71	Montreal	09,00	Port Cartier	11,60
Portland (AUS)	12,20	Porto Alegre	05,18	Puerto Ordaz	09,00	Quebec	15,30
Rio Grande	14,00	Rotterdam	19,81	Rouen	11,00	Santos	11,59
Seattle	22,00	Sydney (AUS)	11,60	Vancouver	20,80		
Barcelona	14,00	Bilbao	14,00	Cadiz	09,00	Gijón	14,00
Valencia	14,00	Vigo	17,00				

Tabla 12. *Calados Máximos de Puertos*

Por otro lado, deben considerarse las restricciones que imponen los reglamentos de las Sociedades de Clasificación, de las Autoridades Nacionales y de los Organismo Internacionales.

Existen por último otras limitaciones como el calado aéreo para el paso del buque bajo puentes, o para el astillero constructor producidas por obstáculos en el recorrido del buque durante la botadura o en su salida al mar, si el astillero está ubicado en un río o canal.

La aplicación de estas restricciones conlleva una dificultad en cuanto a la optimización del buque. Por consideraciones de volumen de carga a transportar, hidrodinámica, etc... Las dimensiones que se alcanzarían en el proyecto óptimo difieren de las dimensiones impuestas

por las restricciones. Los problemas asociados deben estudiarse con detenimiento, y siempre con la perspectiva de alcanzar la mejor solución posible pese a esas limitaciones.

- **¿Cómo actualizo la base de datos?**

Al abrir el programa, lo primero que debemos realizar es abrir la ventana de “Actualizar base de datos”, para ello, debemos dirigirnos a la pantalla de inicio y pulsar sobre dicho botón.

Una vez pulsado, nos introduciremos en un archivo Excel, en el cual podemos encontrar las pestañas de los diferentes tipos de buques tal y como se muestra en la Tabla 13:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Nombre del buque	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	PM (t)	Velocidad	Año de construcción
2	ARCTICA	101	12	7,6	5,7	4406	7	1969
3	STELLA WEGA	106	16	9,4	4,4	4350		1996
4	BOMAR PRELUDE	118	18	9,7	5	8508		2003
5	BRO DELIVERER	147	22	14,9	8,6	14776	12,9	2006
6	PORT STEWART	163,5	29	18,4	12,3	38875	14,5	2003
7	CIELO DI GUANGZHOU	163,6	29	18,4	12,3	38788	14,5	2006
8	CEYLON	172	32,2	18,7	12	46000	14,6	2002
9	CHALLENGE PLUS	172	32,2	18,7	12	45800		2006
10	ASTRAL EXPRESS	172,25	32	18,8	12,1	45770	14,5	2002
11	ADVANCE II	174	32,3	19,1	12,2	46101		2006
12	GALAHAD	174	32,2	18,8	11,9	44996	14,6	2003
13	Overseas houston	174	32,2	18,8	11	40600	14,6	
14	DIANA	174,5	27	16,8	11,6	38500	14	2005
15	NORDIC PIA	174,5	27,4	16,8	11,6	38500		2006
16	NORD MEMAID	176	27,4	16,8	11,6	38500		2006
17	NORD PRINCESS	176,2	27	16,8	11,6	38500	14	2006
18	NINAE	176,25	27,4	16,81	11,6	38472	14	2005
19	Western Baltic	177	32,2	18,5	12	47500		
20	AN CHI	178	31,5	16,8	12,8	40015		2003
21	HUA HAI 6	178	30,5	17	11,3	40560	14,5	2002
22	SEATROUT	179,5	32,2	17	11	40600	16	2006
23	Ocean Neptune	180	32,2	20,2	12,5	49700		
24	CONTI HUMBOLDT	184	27	17,2	9,9	37599	15,5	2008
25	BEI HAI YUAN WANG	184	32,2	17,2	11,4	45828	14,5	2004

Tabla 13. *Ejemplo de Base de datos*

Una vez aquí, simplemente deberemos colocarnos en la pestaña correspondiente al tipo de buque, el cual queramos actualizar su base de datos y colocar los datos de los nuevos buques para la base de datos.

Es MUY IMPORTANTE el no modificar el orden de las columnas para los datos, puesto que esto alteraría el cálculo realizado por el programa.

## 9. Bibliografía

- [1] A. Cordero, J.L. Hueso, E. Martínez, J.R. Torregrosa. Métodos Numéricos con Matlab. Edit. Universidad Politécnica de Valencia. 2005.
- [2] A. Guillamón, M.C. Ruíz. Guía de Estadística Industrial. Preprint de la Universidad Politécnica de Cartagena. Mayo 2007.
- [3] The MathWorks, Inc. Building a graphical user interface. 1993.
- [4] J.H. Mathews, K.D. Fink. Métodos Numéricos con Matlab. Tercera Edición. Edit. Prentice Hall. 1999.
- [5] Juan Francisco Tudela. Apuntes asignatura de Proyectos Ingeniería Naval y Oceánica. Universidad Politécnica de Cartagena. 2011.
- [6] K. Sigmon. Introducción a Matlab. Segunda Edición. Department of Mathematics. University de Florida. 1992.
- [7] <http://tecnologia-maritima.blogspot.com.es/2012/05/losbuques-petroleros-y-su.html>
- [8] [http://en.wikipedia.org/wiki/Gross\\_tonnage](http://en.wikipedia.org/wiki/Gross_tonnage)
- [9] <http://sailandtrip.com/>
- [10] <http://www.masmar.com/articulos/art/4,178,1.html>
- [11] [http://estabilidadbuque.blogspot.com.es/2011/07/desplazamiento\\_14.html](http://estabilidadbuque.blogspot.com.es/2011/07/desplazamiento_14.html)