

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Departamento de Matemática Aplicada y Estadística



PROYECTO FINAL DE CARRERA

Título

Programa para el cálculo dimensional de un buque



Titulación: Ingeniería Naval y Oceánica

Alumno: Kristian Alarcon Olsson

Directores: Juan Carlos Trillo Moya

Sonia Busquier Sáez

Septiembre de 2016



## AGRADECIMIENTOS

A mi directores de proyecto Juan Carlos Trillo Moya y Sonia Busques Sáez, por su gran ayuda y disponibilidad durante la realización del proyecto, tanto en el proyecto como en todas las fases de tramitos relacionados con la Universidad

A todos los profesores que me han dado clase durante todos estos años en la Universidad Politécnica de Cartagena, por enseñarme y dotarme tanto de conocimientos teóricos y prácticos, los cuales me han hecho desarrollado aptitudes y habilidades útiles e importantes tanto para el mundo laboral como para mi persona.

A los directivos y el personal de gestión de la E.T.S.I.N.O, por siempre estar disponible para cualquier trámite o problema.

A todos mis compañeros de clase, por acompañarme en esta gran aventura de la vida, en el cual he hecho amigos para toda la vida y he conocido gente espectacular.

A mis amigos, que durante estos años han sido más que amigos, acompañados y apoyándonos mutuamente en la biblioteca durante todos estos años, tanto en los momentos más malos como en los momentos más buenos,

Y por último a los que nunca me ha fallado, a mi familia, que me han apoyado, aguantado durante todos esos años y que siempre han estado disponibles para hacer cualquier cosa que me facilitara o mejorase mi etapa de universitario y de este modo haber podido lograr mis metas.

Y por todos esto,

¡Gracias!



## RESUMEN

El presente proyecto realiza el desarrollo de un programa informático, denominado ‘‘DIMENSIONALITY’’ el cual permite calcular las dimensiones principales de un buque de un tipo determinado, en concreto 8 tipos de buques. En este programa existe una fuerte base teórica, que permite al usuario comprender los fundamentos de los cálculos realizados y al mismo tiempo da respuesta a muchas de las incógnitas planteadas a la hora de comenzar el dimensionamiento de un buque.

Para lograr estos objetivos, el proyecto está compuesto por 7 capítulos. En los 3 primeros capítulos se expone toda la teoría necesaria para la comprensión de los parámetros de diseño utilizados para el desarrollo de la aplicación de DIMENSIONALITY y los valores que se obtienen a través de la misma.

En los 3 siguientes capítulos se explica que metodología de cálculo se ha empleado en la aplicación, cómo funcionan los diferentes métodos de cálculo y como intervienen los parámetros de diseño en los métodos de cálculo.

Y por último se entrega en el proyecto unos casos prácticos, que permite al usuario ver como se introducen los parámetros de diseño y poder comprender cómo funciona la aplicación de DIMENSIONALITY, y de este modo hacer que el entendimiento del programa sea más fácil para el usuario.

# Índice

AGRADECIMIENTOS .....	1
RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCIÓN .....	8
1.1 Sinopsis.....	8
1.2 Objetivo .....	9
2. PARAMETROS PRINCIPAL DE DISEÑO: PESO MUERTO.....	10
2.1 Desplazamiento.....	10
❖ Peso en rosca .....	10
❖ Peso muerto.....	11
3. PARAMETROS SECUNDARIOS DE DISEÑO: DIMENSIONES, COEFICIENTES Y ASPECTOS PRINCIPALES DE UN BUQUE .....	12
3.1 Dimensiones.....	12
Eslora (L).....	12
Manga (B).....	14
Calado máximo (T) .....	16
Puntal (D) .....	18
Relación de las dimensiones con el Coste .....	19
3.2 Coeficiente de formas.....	20
Coeficiente de bloque.....	20
Coeficiente de la maestra.....	21
Coeficiente prismático.....	22
3.3 Influencias de las Relaciones de formas .....	25
Relación L/B (Eslora-Manga).....	25
Relación B/D (Manga-Puntal) .....	25
Relación T/D (Calado-Puntal) .....	26
Relación L/D (Eslora-Puntal) .....	26
Relación B/T (Manga-Calado).....	26
Relación L/T (Eslora-Calado).....	26
4. MÉTODO DE CÁLCULO: REGRESION LINEAL.....	28
4.1 Introducción: Análisis de Regresión Lineal.....	28
4.2 Definiciones .....	29
4.3 Proceso de ajuste .....	31

5. MÉTODO DE CÁLCULO: FORMULAS EMPÍRICAS.....	37
5.1 Introducción.....	37
5.2 Buques sin cálculo empírico.....	38
5.2.1 Portacontenedores.....	38
5.2.2 RORO.....	39
5.3 Buques con Cálculo Empírico.....	40
5.3.1 Petroleros.....	40
5.3.2 Bulkcarrier.....	42
5.3.3 Buque carga general.....	43
5.3.4 Buque LNG y LPG.....	44
5.3.5 Quimiquero.....	45
5.3.6 Los coeficientes de bloque.....	46
6. MÉTODO DE CÁLCULO: A PARTIR DE BUQUE BASE.....	47
7. TUTORIAL DEL PROGRAMA DIMENSIONALITY.....	49
7.1 Introducción.....	49
7.2 Instalación del programa.....	50
7.3 Página de inicio.....	51
7.4 Selector de Buque.....	52
7.5 Introdutor de datos.....	54
7.6 CASO PRÁCTICO.....	56
7.6.1 Primer caso practico.....	56
7.6.2 Segundo caso practico.....	63
7.6.3 Conclusión.....	70
8. BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXO I: AYUDA INICIAL PARA DIMENSIONALITY PARA EL USUARIO.....	76
ANEXO II: INFORMACIÓN DE LOS TIPOS DE BUQUE.....	83
PREGUNTAS FRECUENTES ¿?.....	94





# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Sinopsis

En el presente proyecto se lleva a cabo el desarrollo de un programa de cálculo naval, "DIMENSIONALITY", realizándose en el software de programación "Matlab". La programación de estos cálculos se realiza por 3 métodos, un método basado en una regresión lineal a través de una gran base de datos, otro procedimiento por medio de fórmulas empíricas de cálculo, establecidas en la industria naval y por último por medio de una comparación con un buque ya construido.

Estos métodos serán explicados a profundidad más adelante en el proyecto.

El esquema de trabajo que se siguió en el proyecto fue el siguiente:

- Agrupación de información referente a formas de cálculo de las dimensiones principales, relaciones de formas y coeficientes.
- Búsqueda de buques de diferentes tipos para la creación de la base de datos.
- Desarrollo conceptual del programa DIMENSIONALITY.
- Implementación de las formas de cálculo en el programa Matlab.
- Creación de la interfaz gráfica del programa.
- Conexión de las funciones de cálculo con la interfaz gráfica.
- Creación de las ayudas y tutoriales del programa.

## 1.2 Objetivo

El objetivo de este proyecto, es el ahorro de costes asociados a la obtención de las dimensiones principales de un buque proyecto.

En la actualidad la forma de obtener las primeras estimaciones de las dimensiones tiende a realizarse de una manera manual, en mayor o menor medida, principalmente se realiza a través de una serie de cálculos que emplean bases de datos escasas o formulas empíricas. Esto se traduce en inconvenientes como:

1. Un incremento del coste en horas de ingeniería.
2. Posibles errores de cálculo, comunes en el cálculo manual.
3. Estimaciones poco fiables.

Con el desarrollo de este presente proyecto, que no es otra cosa que un programa informático el cual realiza todos estos cálculos y estimaciones de forma automática, se pretende eliminar la posible introducción de errores en la obtención de las dimensiones del buque proyecto, incrementar el ahorro en horas de ingeniería y facilitar al usuario menos experimentado en la materia la obtención de resultados válidos.

El programa informático que se desarrolla en este proyecto pretende ser la base a futuros proyecto que utilizando los datos e interfaz desarrollados en el mismo, generen nuevos cálculos de parámetros del buque aumentando aún más el ahorro de costes.

Además este programa informático está inspirado en otro ya existente, pero el cual no daba la información necesaria para saber si el buque obtenido con el programa, daba resultados fiables, ya que uno de los errores más comunes con el trato con programas informáticos es que el usuario pueda creerse todos los resultados que este da.

## 2. PARAMETROS PRINCIPAL DE DISEÑO: PESO MUERTO

En este capítulo se expone el parámetro de diseño principal, es decir el parámetro más importante, ya que con el peso muerto se encamina los cálculos de las dimensiones principales del buque.

Par a la definición del peso muerto, se comenzara en primer lugar con la explicación del desplazamiento.

### 2.1 Desplazamiento

Se puede definir como la masa total del buque en una condición de carga y también es igual al peso de agua desalojado (Principio de Arquímedes).

El desplazamiento del buque se puede descomponer a grandes rasgos en 2 elementos, los cuales define el desplazamiento, estos 2 elementos son el peso muerto y el peso en rosca.

#### ❖ Peso en rosca

El peso muerto es la suma de todos los pesos del buque listo para navegar, es decir todos aquellos elementos que se necesitan un buque para que sea navegable, y donde se excluyen los siguientes componentes:

- Carga.
- Pasaje
- Tripulación
- Pertrechos
- Consumos

Y se incluye los siguientes:

- Fluidos en equipos
- Fluidos en tuberías

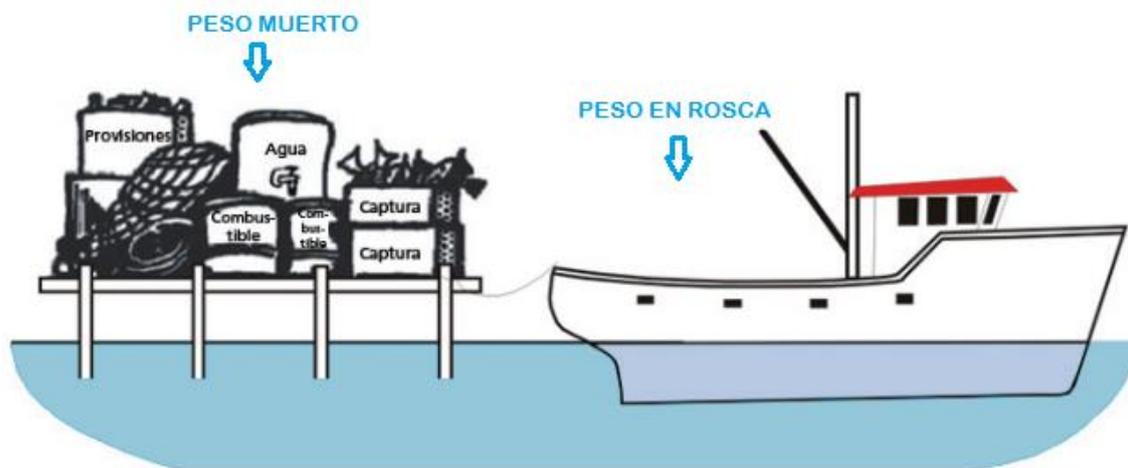
El resto del peso del buque es peso muerto, que está integrado por los conceptos excluidos anteriormente, incluido el lastre líquido (agua de mar). El peso muerto suele ser requisito de proyecto, impuesto por el armador y su no cumplimiento motivo de penalizaciones. En otros casos, el requisito de proyecto es la carga útil y la autonomía. Sin embargo, el peso en rosca no se conoce con exactitud hasta la puesta a flote del buque, aunque conforme avanza el proyecto puede calcularse con mayor precisión.

### ❖ Peso muerto

Suele ser un dato de proyecto, las partidas que lo integran son:

- Carga útil.
- Consumos
- Tripulación y pasaje.
- Pertrechos.

Los centros de gravedad se calculan a partir de los centros de gravedad de los espacios donde se ubican estos pesos.



*Imagen de la diferencia entre Peso Muerto y Peso en Rosca*

### 3. PARAMETROS SECUNDARIOS DE DISEÑO: DIMENSIONES, COEFICIENTES Y ASPECTOS PRINCIPALES DE UN BUQUE

En este capítulo se definirá las diferentes dimensiones principales de un buque, aspectos de formas, coeficientes, implicaciones que tienen el coste asociado a la construcción, explotación y en otros aspectos del mismo.

#### 3.1 Dimensiones

##### Eslora (L)

Se define como la longitud medida al nivel de la flotación correspondiente a la línea de carga de verano desde la cara de la proa de la roda hasta la cara de popa del codaste popel, o bien, la distancia entre la perpendicular de la proa (Ppr) y la perpendicular de popa (Ppp). Aunque en el mundo naval se pueden distinguir varios tipos de esloras

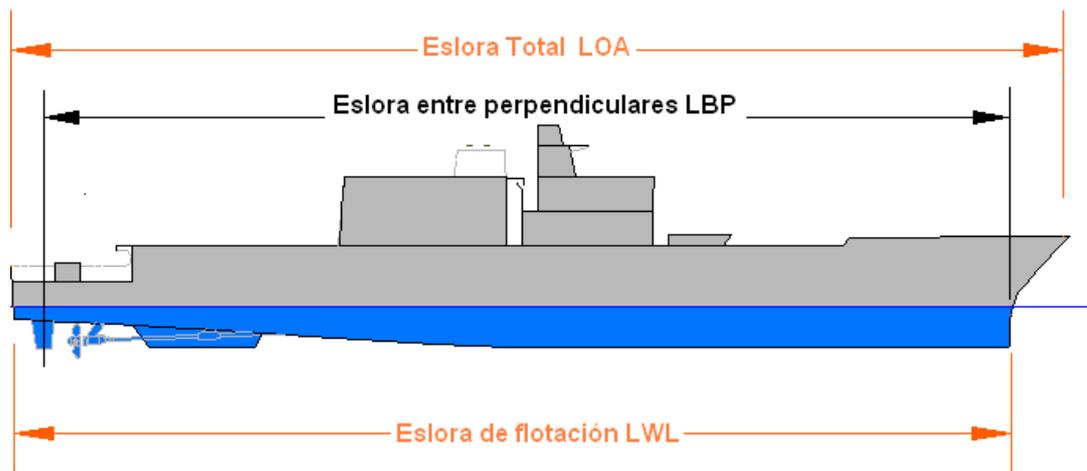
*Eslora de flotación:* Es la longitud del plano de flotación medida entre proa y popa y es distinta para cada superficie de flotación. Su abreviatura inglesa es LWL (Load Waterline Length)

*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. Se Incluyen las partes estructurales del buque 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 buque medida entre sus extremos de proa y popa. Aquí se cuenta las partes no estructurales del buque como pueda ser el púlpito de proa. Su abreviatura inglesa es LOA (Length OverAll)

*Eslora entre perpendiculares:* 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. Su abreviatura inglesa es LPP (Load between Perpendicular)

- ✓ La eslora que se emplea en la aplicación de DIMENSIONALITY será la eslora entre perpendiculares.



*Imagen de diferentes tipos de Esloa*

#### Influencias:

- La eslora puede considerarse como la dimensión principal para el dimensionamiento puesto que una vez conocida puede determinarse otras características principales del buque de forma sencilla.
- Se trata de la dimensión estructural más cara, lo que obligará a un ajuste más preciso. Su variación, con disminución de las otras dimensiones, produce un incremento del mismo del peso estructural.
- Su aumento provoca también un aumento de la resistencia viscosa, por aumento de la superficie mojada. Pero sin embargo disminuye la resistencia por formación de olas, reduciéndose por lo general la resistencia total.
- Se puede considerar por tanto que bajo la perspectiva del astillero, serán recomendables buques de menor eslora, por suponer menor coste de construcción, mientras que desde el punto de vista del armador, prefiera buques de mayor eslora por reducir sus gastos de explotación.
- Factores limitativos que han de tenerse en cuenta a la hora de determinar la eslora del buque proyecto, son las rutas comerciales que este seguirá, pues en el caso de que el buque de que deba atravesar algún canal o descargar en algún puerto en concreto la eslora debe ser cuidadosamente estudiada, ya que habrá puertos donde por su longitud no podrá entrar.

## Manga (B)

La manga es la medida del buque en el sentido transversal, es decir de una banda a otra (de estribor a babor). Se mide en la parte más ancha del buque. Al igual que en la eslora, pueden existir variaciones de esta dimensión dependiendo de las formas del buque y donde sea medida, teniendo:

Manga máxima: máxima anchura del casco medida en la cara exterior del forro, también se puede considerar como la anchura medida en la cuaderna maestra

Según donde se mida, la manga puede ser:

Manga máxima en la flotación: es la mayor anchura medida en la superficie de flotación correspondiente.

Manga en el medio: la tomada sobre la cuaderna media.

- ✓ La manga que se emplea en la aplicación de DIMENSIONALITY será la manga máxima.

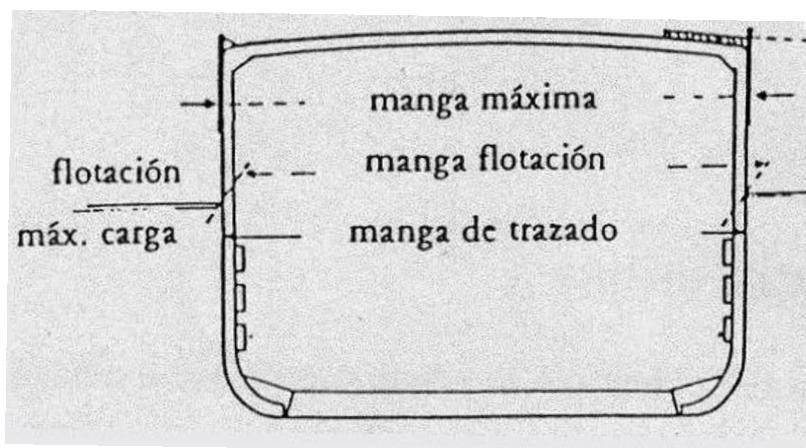


Imagen de diferentes tipos de Mangas

**Influencias:**

- A mayor manga mayor será la superficie mojada, lo que aumenta la resistencia de fricción.
- Como al aumentar la manga también aumenta la resistencia por formación de olas, por lo tanto el aumento de la manga siempre producirá un aumento de la resistencia total.
- Estudiando la estabilidad transversal, sabemos que al aumentar la manga máxima para un mismo desplazamiento, se incrementa esta estabilidad.
- Factores limitativos que han de tenerse en cuenta a la hora de determinar la manga del buque proyecto, son las rutas comerciales que este seguirá, pues en el caso de que el buque deba atravesar algún canal o realizar carga/descargar en algún puerto en concreto la manga debe ser cuidadosamente estudiada, ya que por su ancho habrá zonas donde no podrá entrar, el caso de la manga es aún más crítica que la eslora.



Imagen del Canal de Panamá

### Calado máximo (T)

El calado es la altura de la parte sumergida del casco, también lo podemos definir como la medida vertical tomada entre el plano de flotación que corta al casco de la embarcación y el plano del canto bajo de la quilla

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. El calado en el medio es la medida de la parte sumergida del casco tomada a la altura de la cuaderna maestra.

Calado medio: Es la semisuma de los calados de proa y popa. Es decir el calado de proa más el calado de popa dividido entre dos.

Calado en el medio: Es la medida vertical entre la quilla y la línea de flotación en la medianía del buque.

Francobordo: El francobordo es la distancia entre la línea de flotación y la cubierta estanca más alta. Si aumentamos la carga, disminuiríamos el francobordo. Por seguridad está legislado un valor mínimo de francobordo que dependerá de cada barco. Este valor mínimo lo indica la línea de flotación que refleja el estado de máxima carga. La línea de flotación es obligatoria pintarla a los dos lados del barco.

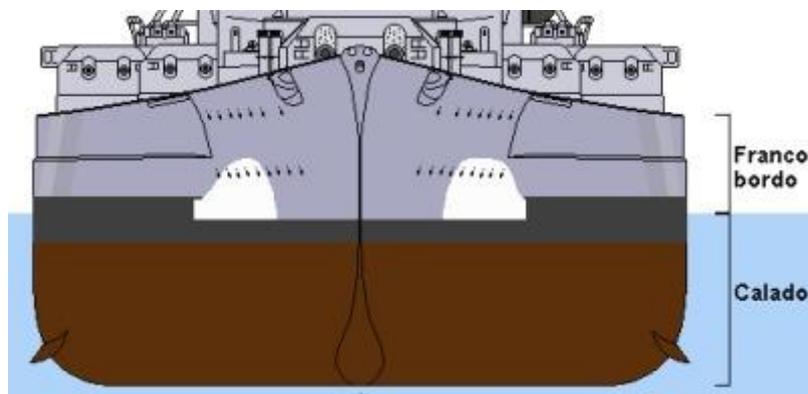


Imagen del Calado y Francobordo

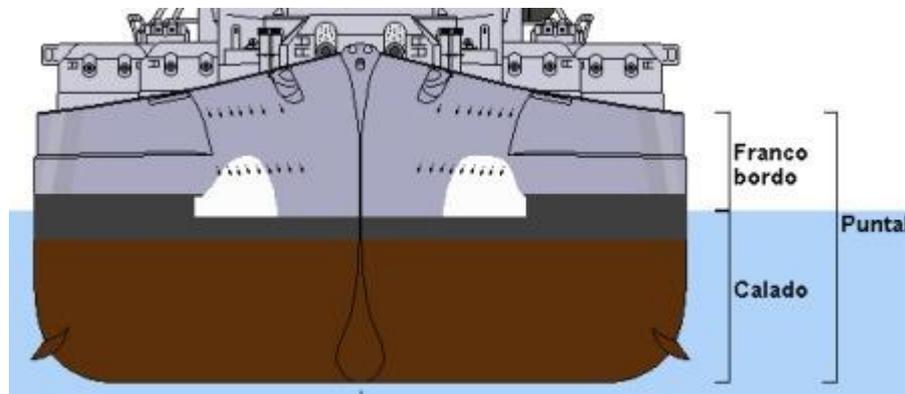
Influencias:

- El aumento del calado provoca un aumento de la resistencia total, ya que en definitiva aumenta la superficie mojada (sumergida) y por tanto un aumento de la resistencia a la fricción, formación de olas y también un aumento en el desplazamiento.

- El límite superior del calado puede venir impuesto por el francobordo, es decir que el calado está limitado por arriba por el francobordo (como se puede ver en la imagen de arriba).
- El límite inferior está impuesto por razones estructurales o comportamientos en la mar o zonas de navegación.
- Factores limitativos que han de tenerse en cuenta a la hora de determinar el calado del buque proyecto, son las rutas comerciales que este seguirá, pues en el caso de que el buque deba atravesar algún canal o realizar carga/descargar en algún puerto en concreto el calado debe ser cuidadosamente estudiada, pues si el calado del buque excediera la profundidad disponible en la zona este encallaría irremediabilmente. Por tanto es igual de crítica que la manga.

### Puntal (D)

Definición: Es la distancia vertical medida desde la cara superior de la línea de cubierta hasta la cara inferior del casco en su intersección con la quilla.



*Imagen del Puntal y de que componentes esta comprendido*

Influencias:

- El puntal es la dimensión del buque más barata desde el punto de vista constructivo, es por ello que los astilleros tienden a aumentar esta dimensión cuando se trata de conseguir una mayor capacidad de carga (en el caso de buques de volumen).
- Pero está limitado por otros factores, el factor más importante e influyente es la estabilidad. La estabilidad de un buque viene condicionada en gran medida por la posición del centro de gravedad (c.d.g) del buque. Es lógico pensar que cuanto mayor sea el puntal del buque mayor será la altura de su centro de gravedad y por tanto menor su estabilidad.

### Relación de las dimensiones con el Coste

A continuación se presenta una tabla en donde se expone como influyen los incrementos de las distintas dimensiones sobre los costes de construcción y los costes de operatividad.

	Coste Construcción		Coste Operativo
	<i>Casco</i>	<i>Maquinaria</i>	
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 $F_{21}$ 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.

Tabla de las influencias de la dimensiones sobre los costes

Esta tabla será muy conveniente utilizar en el último paso de la aplicación DIMENSIONALITY, en donde hay que seleccionar un buque de los 2 o 3 que da la aplicación y debido que hay métodos que obtiene resultados muy similares esta tabla podrá ayudar al usuario inclinarse por un buque u otro, y que al final al cabo hay que seleccionar el buque cuyo precio sea mejor.

## 3.2 Coeficiente de formas

### Coeficiente de bloque

El coeficiente de bloque es la relación entre el volumen desplazado y el volumen del paralelepípedo cuyos lados son la eslora, la manga y el calado.

Puede definirse tanto respecto a la eslora en la flotación como la eslora entre perpendiculares

$$CB = \frac{\nabla}{L_i * B_i * T_i}$$

El coeficiente de bloque es básico para representar las formas del buque. Solo en ciertos casos (buques rápidos, de guerra, etc.) su protagonistas 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.

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 CB 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.

La siguiente tabla muestra 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.

<b>BUQUE</b>	<b>CB</b>	<b>V(nudos)</b>
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 Orientativa de los Coeficientes de Bloque*

### **Coeficiente de la maestra**

El coeficiente de la maestra se define como la relación entre la elección sumergida de esa sección media y el producto de manga en la flotación por el calado.

$$CM = \frac{A_M}{B_{WL} * T}$$

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.

### **Coefficiente prismático**

El coeficiente prismático longitudinal expresa la relación entre el volumen de la carena y el producto del área en la sección media por la eslora (en la flotación o entre perpendiculares).

$$CP = \frac{\nabla}{A_M * L_{WL}}$$

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 buque, 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 Fn), 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.

$$CP = \frac{CB}{CM}$$

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.

### **Coeficiente de la flotación**

El coeficiente de la flotación expresa la relación entre el área de la intersección de la carena con el plano horizontal al calado de proyecto y el área del paralelogramo de lados  $L_{WL}$  y  $B_{WL}$ .

$$CF = \frac{A_{WL}}{L_{WL} * B_{WL}}$$

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.

Una vez calculados el resto de los coeficientes, el coeficiente de la flotación queda condicionado, por lo que se puede calcular en función del resto de los coeficientes:

$$CF = CM * CP + 0.1 = CB + 0.1$$

### 3.3 Influencias de las Relaciones de formas

#### Relación L/B (Eslora-Manga)

- Esta relación está directamente proporcionada a la resistencia al avance y la potencia propulsora. Una reducción de L/B, supone un aumento de la resistencia al avance y por tanto a la planta propulsora.
- Una reducción de L/B, también supone para el astillero un menor peso de acero, con el consiguiente ahorro en el coste de construcción y por tanto el astillero buscara esta reducción, mientras que el criterio del armador será el contrario.
- Al estar relacionada L/B con la resistencia al avanece, también puede considerarse relacionada con el número de Froude. Para determinar un L/B adecuado se debe tener consideración el número de Froude al que va navegar, ya que para un Fn (número de Froude) alto será necesario un valor alto de L/B y para un Fn bajo se buscaran relajaciones moderadamente bajas.

Tipo	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 ( No pesqueros)	$>0.3$	$>7.0$

*Tabla Orientativa de la relación L/B*

#### Relación B/D (Manga-Puntal)

- Esta relación está vinculado a la estabilidad, por tanto cuando sea una condición de diseño la elección de esta relación para el cálculo estadístico permitirá controlar los valores necesarios, y en caso necesario establecer limitaciones.
- Esta relación puede aumentarse o reducirse en funcione de la configuración de las dimensiones y de los pesos, pero se puede tomar como referencia los sientes valores:

B/D	Tipos
1.5	Pocos estables
1.8	Buna estabilidad

*Tabla Orientativa de la relación B/D*

**Relación T/D (Calado-Puntal)**

- La relación entre el calado y puntal está vinculado al francobordo del buque, y por lo 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 (Eslora-Puntal)**

- La relación entre la eslora y el puntal tiene influencia en la resistencia longitudinal del buque, y la sociedad de clasificaciones establece un valor límite de alrededor de 15 o 16.

**Relación B/T (Manga-Calado)**

- 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 forma y de la resistencia al avance.
- De modo orientativo se puede dar los siguientes valores:

Buques	B/T
Petroleros, Bulkcarries, Carga general	2.3-2.8
Portacontenedores	3.0-4.0

*Tabla Orientativa de la relación B/T*

**Relación L/T (Eslora-Calado)**

- Una relación L/T elevada reduce las posibilidades de que el buque sufra pantocazos.



## 4. MÉTODO DE CÁLCULO: REGRESION LINEAL

### 4.1 Introducción: Análisis de Regresión Lineal

El análisis de la regresión es un proceso estadístico para estimar las 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 .

También ayuda a entender cómo el valor de la variable dependiente varía al cambiar el valor de una de las variables independientes, manteniendo el valor de las otras variables independientes fijas.

Además puede estimar 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. En 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 descrito por una distribución de probabilidad.

El análisis de regresión es ampliamente utilizado para la predicción y previsión, donde su uso tiene superposición sustancial en el campo de aprendizaje automático. El análisis de regresión se utiliza también para comprender que cuales de las variables independientes están relacionadas con la variable dependiente, y explorar las formas de estas relaciones.

El desempeño de los métodos de análisis de regresión en la práctica depende de la forma del proceso de generación de datos, y cómo se relaciona con el método de regresión que se utiliza.

## 4.2 Definiciones

En la aplicación se realiza el cálculo de varias magnitudes a través de una regresión lineal. Para ello se necesita una base de datos con la cual relacionar los parámetros con que se trabajará (relación entre 2 variables).

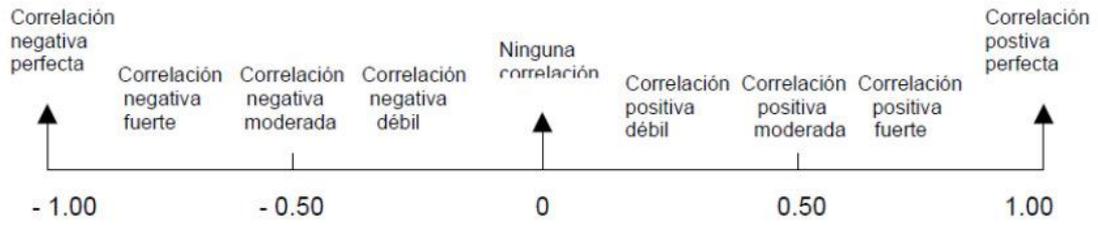
Los datos pertenecientes a la base de datos se pueden introducir en una gráfica de dispersión, donde tendremos una imagen de la representación de todos estos datos en función de esas dos variables y se podrá determinar visualmente que se puede realizar una aproximación mediante una expresión de tipo 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:

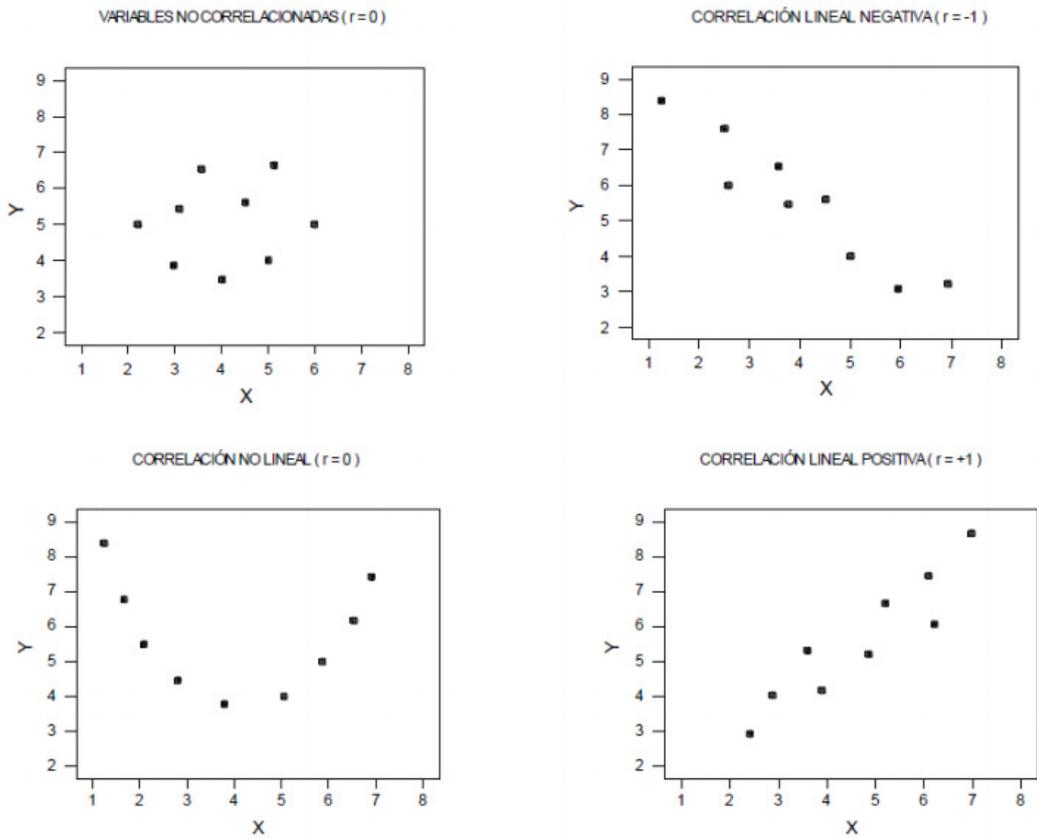
$$-1 \leq r = \frac{Cov(X,Y)}{s_X s_Y} = \frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}) \times (Y_t - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2} \times \sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}} \leq +1$$

Coeficiente de correlación lineal de Pearson

- 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, sino que 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.



Tipos de correlación



Formas típicas de las rectas en función del tipo de correlación

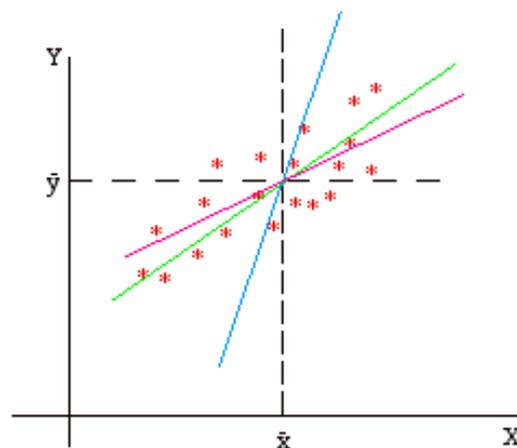
### 4.3 Proceso de ajuste

Para el proceso de ajuste óptimo correspondiente a cada buque, se ha decidido seguir un orden de ajuste del siguiente modo,

1. Realizar un ajuste de regresión lineal lo más adecuado posible para este caso (Ajuste por Mínimo Cuadrado).
2. Aplicar filtros para mejorar la línea de regresión lineal.

Para la determinación las variables de diseño, se analiza la base de datos correspondiente a cada tipo de buque, y se ajusta de los datos mediante una recta de regresión lineal, además de que posteriormente la aplicación aplique unos requisitos de ajuste.

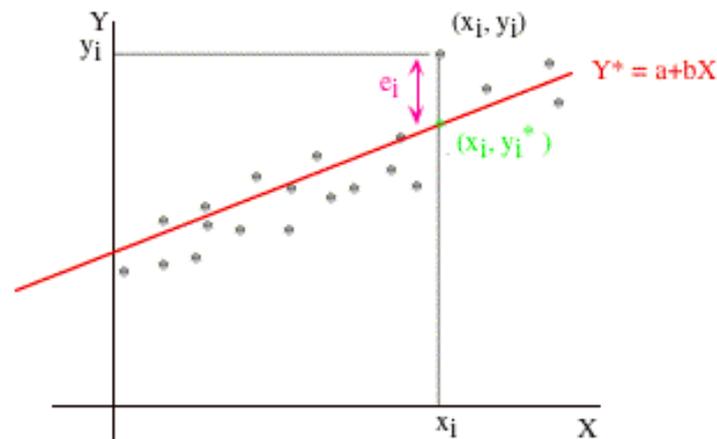
En primer lugar se empieza por la búsqueda de la recta de regresión más adecuada para el ajuste de los datos, ya que existen infinitas rectas que se ajustan a la dispersión de puntos, como se puede ver en la siguiente imagen;



Diferentes rectas que pasa y se ajustan a la nube de puntos

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 (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. (Obviamente, este es uno de los posibles criterios a adoptar, pero es el más utilizado).



*Representación de una recta por mínimos cuadrados*

Estas distancias verticales se denominan errores o residuos.

Si la ecuación general de una recta es:

$$Y = b_0 + b_1X$$

Se puede demostrar que la ecuación de la recta de mínimos cuadrados cumple:

$$b_1 = \frac{\sum XY - \bar{y} \sum X}{\sum X^2 - \bar{x} \sum X}$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

Si tiene carácter de línea media, deberá ir acompañada siempre de una medida que nos hable de su representatividad, es decir, de lo buena que es la recta, ya que el haber obtenido la mejor de todas no da garantías de que sea buena.

Necesitamos, por tanto, una medida de dispersión, que tenga en cuenta la dispersión de cada observación con respecto a la recta, es decir, lo alejado que se encuentra cada punto de la recta, es decir, deberemos evaluar esas distancias verticales a la recta, es decir, los errores o residuales.

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:

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

La cota máxima de la varianza residual es la varianza que tratamos de explicar mediante el modelo de regresión, es decir, la varianza de la variable dependiente. Por tanto, sin más que hacer relativa la varianza residual respecto de su máximo valor, y multiplicando por 100, obtendremos el porcentaje de variaciones no explicado por el modelo:

$$\% \text{ de variaciones sin explicar} = \frac{S_e^2}{s_y^2} 100$$

Ahora, ya es fácil obtener una media que nos indique el porcentaje de variaciones controladas o explicadas mediante el modelo, que se conoce como Coeficiente de Determinación, que denotaremos con  $R^2$ . Su expresión en tantos 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 “R2” sea mayor que 0,8, mediante la eliminación de casos particulares.

A continuación se puede ver un ejemplo del funcionamiento del proceso de ajuste, concretamente en la eslora del Petrolero.

Después de que el programa haya cargado los datos se puede observar cómo se realiza la delimitación, gracias a los intervalos introducidos (serán datos obligatorios), además de cómo funciona el ajuste de la recta de regresión en caso de que el valor de  $R^2$  sea menor que 0.8

- Cargando los datos del buque, los valor de Eslora, Manga, Calado, Puntal y Peso Muerto serán cargados de una archivo.m, el cual es obtenido del Excel de *base de datos*.

```
§CARGAMOS LOS DATOS Y LO INTRODUCIMOS A CADA ELEMENTO
load 'PETROLERO_L_B_D_T_PM_DATOS'; §Cargar los datos del Excel
Lpp_load = PETROLERO_L_B_D_T_PM_DATOS(:,1); §Lpp, es el valor de la dimension que estamos trabajando
B_load   = PETROLERO_L_B_D_T_PM_DATOS(:,2); §B, es el valor de la dimension que estamos trabajando
D_load   = PETROLERO_L_B_D_T_PM_DATOS(:,3); §D, es el valor de la dimension que estamos trabajando
T_load   = PETROLERO_L_B_D_T_PM_DATOS(:,4); §T, es el valor de la dimension que estamos trabajando
PM_load  = PETROLERO_L_B_D_T_PM_DATOS(:,5);
```

*Carga archivos de la base de datos a la aplicación DIMENSIONALITY*

- Delimitación del estudio, se realiza el descarte de los buques que no están en los intervalos indicados y se efectúa la regresión lineal con aquellos datos que están entre los intervalos y de este modo se obtiene una nube de puntos menos densa y de mayor calidad ya que los puntos se encuentran en una zona determinada,

```

%POR REGRESION LINEAL
BUQ_Lpp      = find(PM_load>PMi & PM_load<PMs & Lpp_load>1);
PM_Lpp       = PM_load(BUQ_Lpp);
Lpp          = Lpp_load(BUQ_Lpp);
n_Lpp        = size(BUQ_Lpp);
p_Lpp        = polyfit(PM_Lpp,Lpp,1);
y_Lpp        = polyval(p_Lpp,PM_Lpp); %ecuacion de la siguiente forma y=p(1)*Lpp+p(2)
yresid_Lpp   = Lpp - y_Lpp;
SSresid_Lpp  = sum(yresid_Lpp.^2);
SStotal_Lpp  = (length(Lpp)-1) * var(Lpp);
R_Lpp        = 1 - SSresid_Lpp/SStotal_Lpp;

```

Filtros de datos de entrada al programa DIMENSIONALITY

- Reajuste de la recta de regresión en el caso de  $R^2 < 0.8$ , en el caso de que la recta de regresión lineal (aplicados los intervalos de trabajo) tuviera un valor de  $R^2$  menor de 0.8, el programa rehacerá la regresión lineal, eliminando de la lista de buques seleccionados en el intervalo, hasta obtener un valor de  $R^2$  mayor a 0.8, esto se logra gracias a la función "while" que crea un "bucle", es decir que esta función recalcula una y otra vez el valor de  $R^2$  hasta obtener un valor mayor de 0.8.

```

while R_Lpp<0.8
    errores_Lpp      = abs(y_Lpp-Lpp);
    [eM, buques_aux_Lpp] = max(errores_Lpp);
    buques_aux_Lpp   = buques_aux_Lpp(1);
    PM_Lpp           = [PM_Lpp(1:buques_aux_Lpp-1);PM_Lpp(buques_aux_Lpp+1:n_Lpp)];
    Lpp              = [Lpp(1:buques_aux_Lpp-1);Lpp(buques_aux_Lpp+1:n_Lpp)];
    n_Lpp            = n_Lpp-1;
    % Cálculo de los parametros de regresión lineal
    p_Lpp            = polyfit(PM_Lpp,Lpp,1);
    y_Lpp            = polyval(p_Lpp,PM_Lpp); %ecuacion de la siguiente forma y=p(1)*Lpp+p(2)
    yresid_Lpp       = Lpp - y_Lpp;
    SSresid_Lpp      = sum(yresid_Lpp.^2);
    SStotal_Lpp      = (length(Lpp)-1) * var(Lpp);
    R_Lpp            = 1 - SSresid_Lpp/SStotal_Lpp;
end

```

Ajuste de los datos de entrada a la aplicación para obtener una recta de regresión adecuada

- Límite de buques usados para la regresión, como se ha demostrado antes, la función ‘*while*’ crea un bucle que va eliminando buques hasta obtener un valor de R2 mayor de 0.8, pero puede llegar un momento que el programa elimine tantos buques, que el número de buques sea muy pequeño, es decir que los datos de estudio con el que la regresión lineal va a trabajar, ya no sean lo suficientemente grande para obtener una recta fiable.

Por ello se introduce una condición delimitadora, el cual impone que los datos de estudio no sean menores de 10

```
if n_Lpp<10
    %mensaje de advertencia
    msgbox('Se recomienda ampliar la base de datos','Ajuste poco exacto R<0.8','error','modal');
end
```

Condiciones de cálculo, datos de entrada mínimos

**IMPORTANTE SABER:** Este proceso de delimitación se ha llevado a cabo para todas las dimensiones del buque y para todos los tipos buques, y de este modo se asegura el programa de dar valores fiables obtenidos de la regresión.

## 5. MÉTODO DE CÁLCULO: FORMULAS EMPÍRICAS

### 5.1 Introducción

Este método de cálculo se basa en el empleo de fórmulas obtenidas a través de la experiencia en el mundo naval. Por ejemplo se encuentran desde fórmulas que relacionan la eslora con una variable de proyecto, tal como el PM, hasta formulas o rangos de relación entre diferentes dimensiones principales del buque proyecto.

A continuación se entra en más detalle sobre las formulas y relaciones empíricas que se usaron para cada buque tipo, estas relaciones se encuentran incluidas en el programa y son las que hacen posible la obtención de las dimensiones de forma empírica.

Los buques se pueden dividir en 2 grupos distintos, en función de que métodos de cálculo se pueden emplear en ellos, ya que hay buques donde el cálculo empírico no es válido.

Como se sabe el programa realiza los cálculos por 3 métodos; una de regresión, otra por empírico y otra por buque base, el método empírico solo se puede emplear para aquellos buques que tengan unas formulas empíricas y por lo tanto hay 2 grupos, que serán aquellos buques que tengan formulas empíricas y aquellos que no.

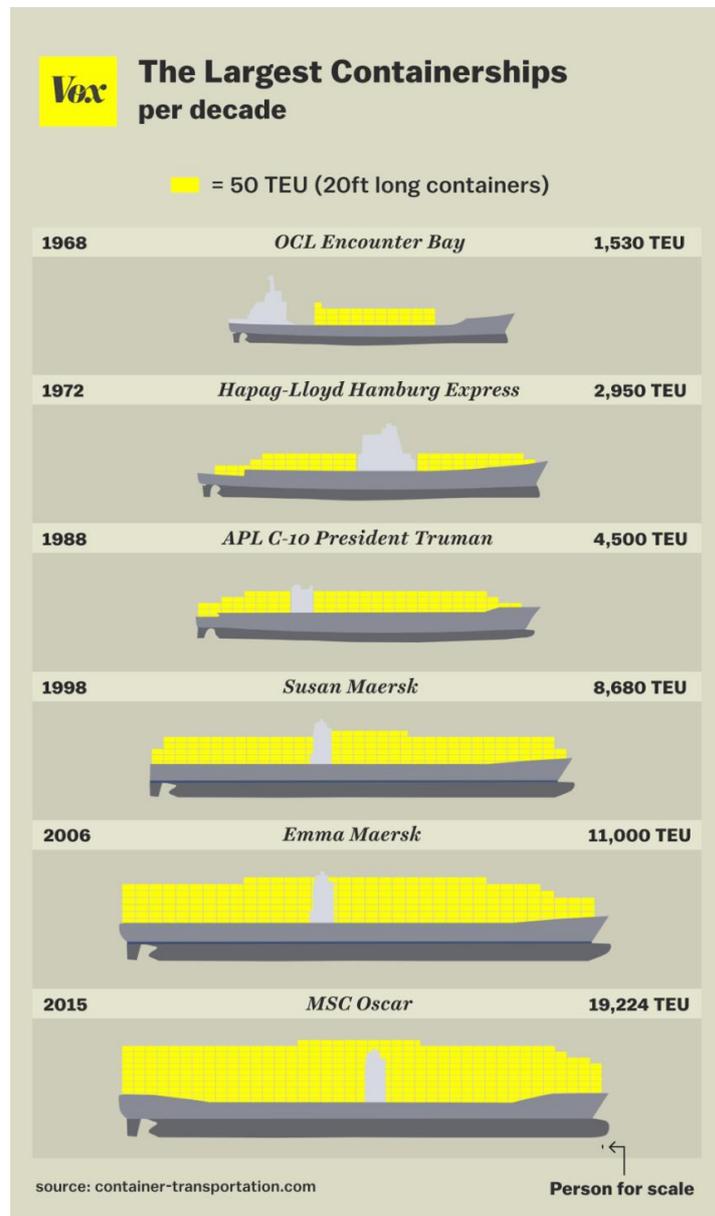
## 5.2 Buques sin cálculo empírico

Dentro de este punto se encuentran dos tipos de buques:

- Portacontenedores
- Roro

### 5.2.1 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.



*Los Portacontenedores más largos de la década*

En estos buques las dimensiones vienen dadas por el número de contenedores a transportar, estos contenedores tienen unas dimensiones estandarizadas (ver en el anexo: Tipos de buques)

Es por ello que en este tipo de buque no se incluye la opción de cálculo empírico del programa. De hecho, el resto de opciones de cálculo para este tipo de buques solo nos permitirán la obtención de unas dimensiones principales de carácter orientativo, a diferencia de otros buques tipo en los que las estimaciones son mucho más próximas a la realidad.

### **5.2.2 RORO**

En este tipo de buque, al igual que ocurría con el tipo portacontenedores, no se incluye la opción de cálculo empírico en el programa.

La razón es la misma que en el portacontenedores: Las dimensiones del buque se obtienen en función de la carga a transportar (coches, trenes, trailers) y dependen del número a transportar.

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



*Un RORO en el puerto empezando el embarque*

## 5.3 Buques con Cálculo Empírico

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

- Petrolero
- Buques de Carga General
- Bulkcarrier
- LNG
- LPG

### 5.3.1 Petroleros

En este tipo de buques el parámetro de diseño es el PM, es por ello que el cálculo empírico comienza a través de este parámetro y continúa hasta la obtención de todas las dimensiones del buque.

#### ***-Eslora entre perpendiculares***

Se obtiene a través de la fórmula de MAGLIONI:

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

Dónde:

a = 14,2 por ser un 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 relación L/B, de esta relación es importante saber que:

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 buques 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.

### **-Calado**

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 ce carena, y por lo tanto mejora la estabilidad de peso.

En cuanto a la resistencia al avance, en general, aumenta conforme aumenta B/T.

En este caso la manga se obtiene a través de la relación normalizada entre B/T para buques de una hélice que tiene un valor de:

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

***-Puntal***

Se obtiene a través de la 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.

**5.3.2 Bulkcarrier**

Para este tipo de buques, de transporte de carga solida a granel se presentan una serie de fórmulas que permiten la estimación de sus dimensiones a través del parámetro del PM.

***-Eslora entre perpendiculares***

Se obtiene a través de la fórmula de MAGLIONI:

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

Dónde:

a = 14,2 por ser un valor medio.

***-Manga***

Se obtiene a través de la fórmula de WATSON:

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

Esta fórmula permite la obtención de la manga a través de la relación L/B.

***-Calado***

En este caso la manga se obtiene a través de la relación normalizada entre B/T para buques de una hélice que tiene un valor de:

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

***-Puntal***

En este caso, al tratarse de un Bulkcarrier que es un buque con una buena estabilidad, pero en el que se han de tener en cuenta los corrimientos de carga (peligro del desplazamiento de grano), tomaremos:

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

**5.3.3 Buque carga general**

Para este tipo de buques, que transportan una gran diversidad de cargas, se presentan una serie de fórmulas que permiten la estimación de sus dimensiones a través del parámetro del PM.

***-Eslora entre perpendiculares***

Se obtiene a través de la fórmula de MAGLIONI:

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

Dónde:

a = 14,2 por ser un valor medio.

***-Manga***

Se obtiene a través de las fórmulas generales, según M.Meizoso:

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

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

Estas fórmulas permiten la obtención de la manga a través de la relación L/B.

**-Calado**

En este caso la manga se obtiene a través de la relación normalizada entre B/T para buques de una hélice que tiene un valor de:

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

**-Puntal**

En este caso, al tratarse de un Bulkcarrier que es un buque con una buena estabilidad, pero en el que se han de tener en cuenta los corrimientos de carga, por lo que tomaremos:

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

**5.3.4 Buque LNG y LPG**

Estos 2 buques se han calculado del mismo método, aunque no transporten las mismas mercancías sí que pertenecen al mismo tipo de buque, ambos son del tipo *Gasero*.

**-Eslora entre perpendiculares**

Se obtiene a través de la fórmula de MAGLIONI:

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

Dónde:

a = 14,2 por ser un valor medio.

**-Manga**

Se obtiene a través de las fórmulas generales, según M.Meizoso:

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

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

Estas fórmulas permiten la obtención de la manga a través de la relación L/B.

**-Calado**

En este caso la manga se obtiene a través de la relación normalizada entre B/T para buques de una hélice que tiene un valor de:

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

**-Puntal**

En este caso, al tratarse de un Bulkcarrier que es un buque con una buena estabilidad, pero en el que se han de tener en cuenta los corrimientos de carga, por lo que tomaremos:

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

**5.3.5 Quimiquero**

Estos 2 buques se han calculado del mismo método, aunque no transporten las mismas mercancías sí que pertenecen al mismo tipo de buque, ambos son del tipo *Gaseros*.

**-Eslora entre perpendiculares**

Se obtiene a través de la fórmula de MAGLIONI:

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

Dónde:

a = 14,2 por ser un valor medio.

**-Manga**

Se obtiene a través de las fórmulas generales, según M.Meizoso:

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

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

Estas fórmulas permiten la obtención de la manga a través de la relación L/B.

**-Calado**

En este caso la manga se obtiene a través de la relación normalizada entre B/T para buques de una hélice que tiene un valor de:

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

**-Puntal**

En este caso, al tratarse de un Bulkcarrier que es un buque con una buena estabilidad, pero en el que se han de tener en cuenta los corrimientos de carga, por lo que tomaremos:

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

**5.3.6 Los coeficientes de bloque**

El coeficiente de bloque para todos los buques que permiten el cálculo empírico se ha realizado del mismo método, a través del método de *Katsoulis*, el cual se define del siguiente modo

$$CB = 0.817 * f * L_{PP}^{0.42} * B^{-0.3072} * T^{0.1721} * V^{-0.6135}$$

Donde los valores de la Eslora, Manga y Calado son obtenidos de las ecuaciones anteriores. La Velocidad será la velocidad de servicio el cual es un dato obligatorio para el funcionamiento de la aplicación.

El valor de 'f' se obtiene de una tabla y dependerá del tipo de buque

TIPOS DE BUQUES	f
PETROLERO	0.99
CARGA GENERAL	0.99
BULKARRIER	1.03
LNG	1.04
LPG	1.04
QUIMIQUERO	1.06

## 6. MÉTODO DE CÁLCULO: A PARTIR DE BUQUE BASE

Si se dispone de un buque base suficientemente ajustado a la especificación, el cálculo de la eslora se puede aproximar a partir de la dimensión crítica del buque base, suponiendo que se cumplen las siguientes relaciones:

$$\frac{L_B}{\sqrt[3]{PM_B}} = \frac{L_P}{\sqrt[3]{PM_P}}$$

El empleo de estas fórmulas permite la relación del buque base con el buque proyecto.

La función de que el PM está elevado a la raíz 3 es la adimensional de los parámetros.

Estas mismas formulas, extrapolándolas para el resto de dimensiones principales, nos permiten alcanzar las dimensiones del buque proyecto.

Este procedimiento es común para todos los buques tipo y para los buques especiales que el usuario pudiera introducir en la pantalla: crear mi propia base de datos.

No obstante debe existir la precaución por parte del usuario de usar un parámetro de diseño que consista en un volumen, desplazamiento o cualquier otro parámetro que represente un volumen o peso.



## 7. TUTORIAL DEL PROGRAMA DIMENSIONALITY

### 7.1 Introducción

El siguiente programa se ha realizado con el programa matemático Matlab, el cual permite a través de su opción *GUIDE* realizar unas ventanas interactivas denominados *Interfaces Gráficas*, de tal modo que la ejecución del programa sea más intuitiva y manejable de emplear.

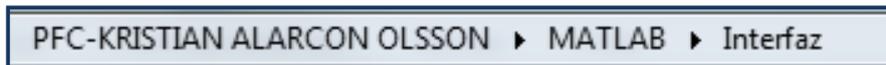
Con los siguientes capítulos se intentara explicar cómo funciona el programa de tal modo que cualquiera pueda emplearlo.

Y para finalizar el tutorial también se ha introducido 2 casos prácticos del programa, y de este modo ayudar al usuario ver el funcionamiento del programa Dimensionality.

## 7.2 Instalación del programa

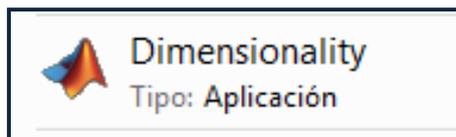
Para la instalación del programa existen 2 métodos, para uno de los cuales la instalación será más sencilla para el usuario y otro que tardara algo más de tiempo pero será más completo, ya que permitirá alguna función más.

El **primero método**, la instalación es más sencilla, ya que solo será necesario ejecutar el programa denominado *Dimensionality* el cual está ubicado en el CD en el siguiente directorio que muestra la imagen:



Ubicación de la aplicación

Hay que buscar la siguiente aplicación para ejecutarla;



Título del ejecutable de la aplicación Matlab

El cual únicamente será darle doble clic en el icono y la aplicación se abrirá, hay que tener algo de paciencia ya que el programa podrá tardar unos segundos en abrirse.

Pero esta aplicación no tiene la función de añadir más buques a la base de datos, aunque ya sea potente la base de datos, quizás algún usuario con la inquietud o con la idea de ampliar la base de datos, quisiera utilizar esta función tendría que emplear el segundo método.

Para el **segundo método** será necesario la instalación de Matlab, en concreto el R2012a o alguna versión posterior, para poder ejecutarlo.

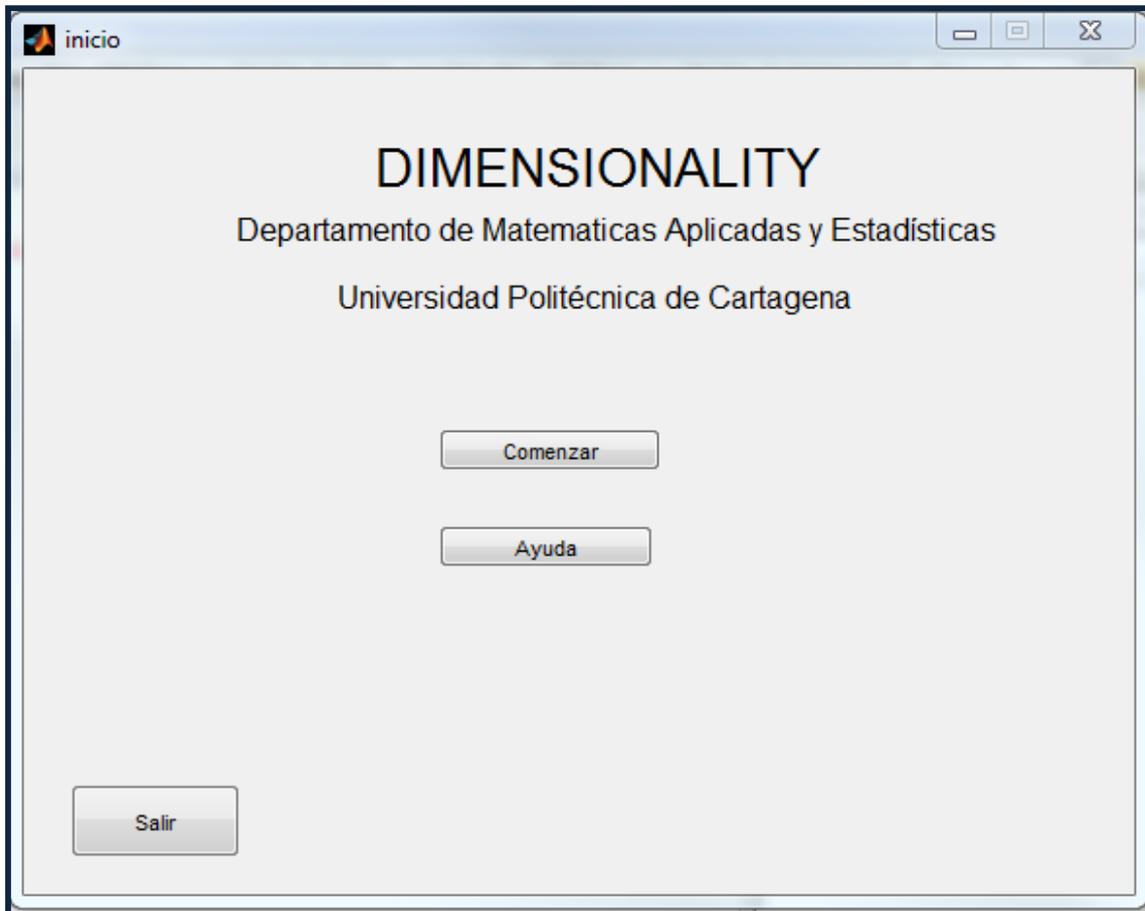
Abrir la aplicación de Matlab y buscar en el directorio del Matlab el CD y luego dirigirse a la carpeta de Matlab>interfaz (la misma explicada en el primer método ver figura '*Ubicación de la aplicación*').

Una vez dentro se escribe en el comando (Command Window) '*inicio*', y se le da a Enter y de este modo comenzara a ejecutarse el programa *Dimensionality*.

Tener en cuenta que el inicio se escribirá en minúscula, cualquier cambio hará que Matlab no lo entienda, ya que es muy sensible a estos tipos de variaciones.

### 7.3 Página de inicio

Después de escribir *inicio* y haberse ejecutado, aparecer la primera venta del programa denominada *inicio*



*Ventana de inicio del programa DIMENSIONALITY*

Como se puede ver en la ventana anterior, el programa tiene un diseño muy minimalista y sencillo además con una mezcla de colores claros, de este modo se obtiene un diseño muy moderno y estéticamente muy elegante.

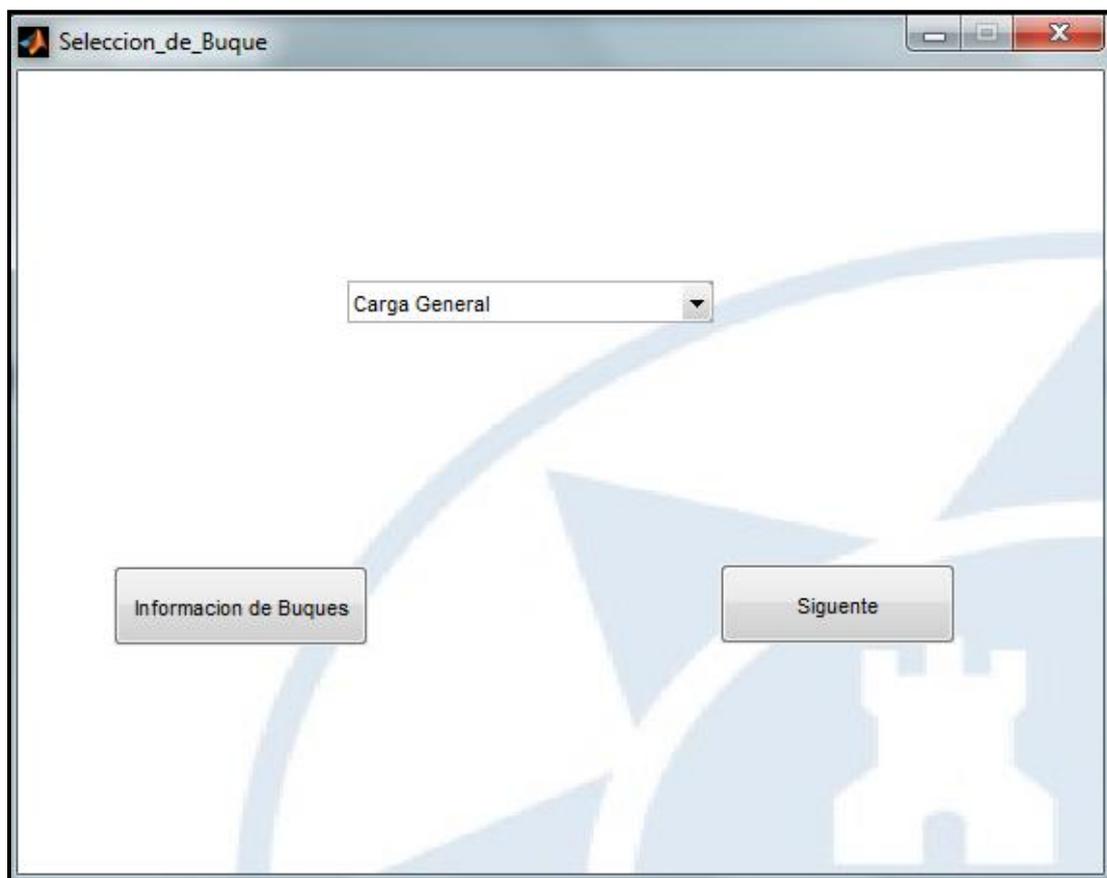
La ventana consta de 3 botones,

- ❖ **Comenzar**, este botón te lanza a la siguiente ventana la cual se explicara a continuación.
- ❖ **Ayuda**, este botón nos permite abrir un PDF en el cual nos explica en que está basado el programa además de dar información de algunas características que se verá durante la ejecución del programa.

- ❖ **Salir**, este botón permite el usuario salir del programa, no sin antes preguntar si está seguro de salir del programa.

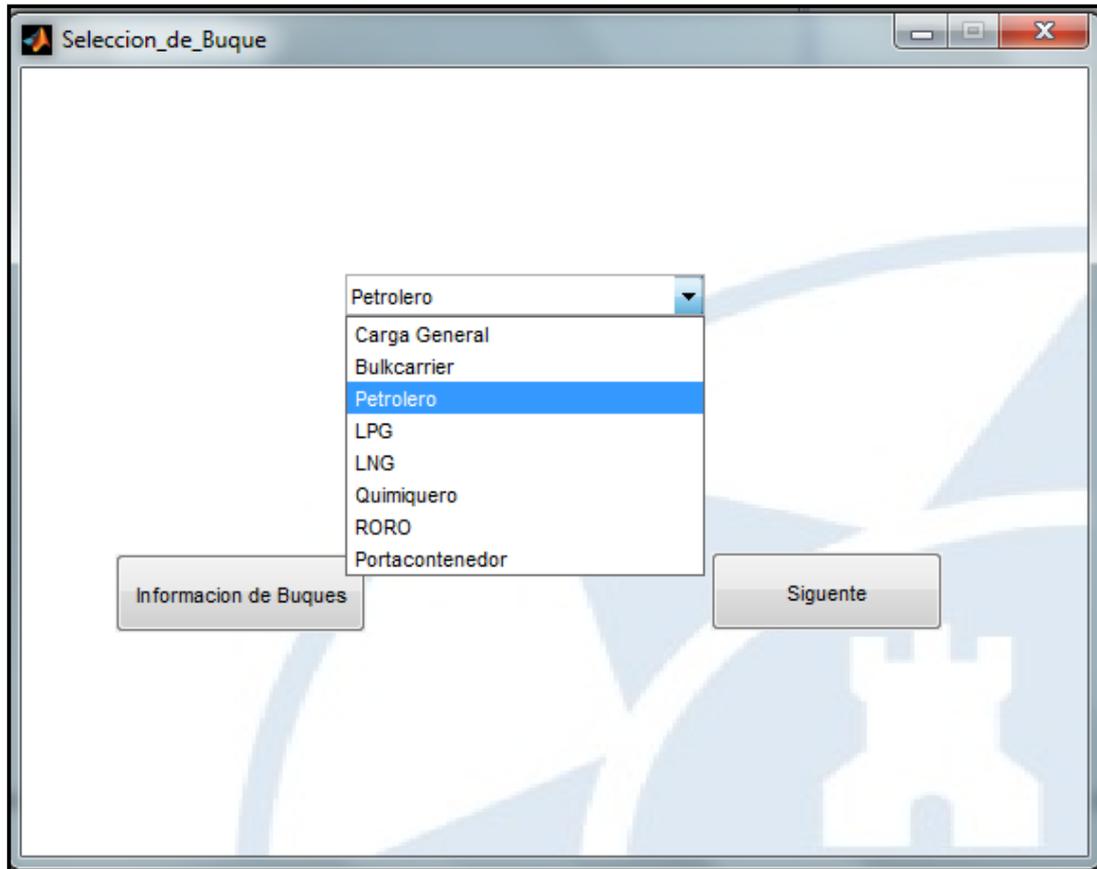
## 7.4 Selector de Buque

A continuación de haber dado a *comenzar*, aparecerá la próxima ventana, es la ventana de *Selección de Buque* y cuya función es dejar al usuario poder seleccionar el tipo de buque con el que quiera trabajar.



Ventana de selección del tipo de buque del programa DIMENSIONALITY

Para poder realizarse de un modo sencillo y muy intuitivo, se exponen en una barra plegable en donde aparecen los 8 tipos de buque, como se puede ver en la imagen siguiente:



*Ventana de selección del tipo de buque con la lista de buques desplegada*

Además de esto también dispone de 2 botones funcionales,

- ❖ **Información de buque**, el cual abre un PDF en donde se dispone de un completo boletín de información sobre los distintos tipos de buques con que se puede trabajar.
- ❖ **Siguiente**, este botón nos lanzara a la próxima ventana de la introducción de los datos para poder realizar la dimensionlaización de nuestro buque proyecto.

## 7.5 Introdutor de datos

A continuación de haber dado a siguiente, aparecerá la próxima ventana, que no es más y menos que la ventana *de introducción de datos* del tipo de buque seleccionado y cuya función es dejar al usuario introducir todos los datos necesario para poder realizar la dimensionlaización del buque proyecto.

Como se puede ver en la siguiente imagen los datos a introducir se han colocado de modo muy sencillo y en agrupaciones básicas, para que de este modo sea muy fácil e intuitiva la introducción de datos y no exista error alguno.

Section	Parameter	Value
DATOS OBLIGATORIOS	Limite inferior	
	Limite superior	
	Peso Muerto	
	Velocidad (nudos)	
DATOS DE BUQUE BASE	Eslora	0
	Manga	0
	Puntal	0
	Calado	0
	Peso Muerto	0
DATOS FUJOS	Eslora	0
	Manga	0
	Puntal	0
	Calado	0
	Coeficiente de Bloque	0

*Ventana de introducción de datos del programa DIMENSIONALITY*

Esta ventana consta de 3 bloques y 3 botones, en los bloques se engloban todos los valores necesarios para realizar la dimensionlaización por medio de los 3 métodos y los botones tienen funciones dentro del programa, como se explica a continuación:

- ❖ **DATOS OBLIGATORIOS**, aquí se introducen todos los datos necesarios para obtener la dimensionlaización del buque a proyectar, y por tanto son totalmente obligatorios para cualquier estudio. Estos datos obligatorios son:
  - ✓ Los *limites inferior y superior de Peso Muerto* con que se va a trabajar para la regresión lineal (explicado en el apartado anterior ‘‘Metodología de Cálculo: Regresión Lineal’’).
  - ✓ El *peso muerto de proyecto*, es quizás sea el valor más importante de para el cálculo del buque proyecto.
  - ✓ La *velocidad de servicio* en nudos.
  
- ❖ **DATOS DE BUQUE BASE**, aquí se engloban todos los valores necesarios para que se pueda realizar el cálculo por medio del método de buque base, tales como Eslora, Manga, Puntal, Calado y Peso Muerto como se puede ver en la imagen
  
- ❖ **DATOS FIJOS**, en este bloque se puede introducir uno o varios valores fijos, el cual se sabe que va tener el buque a proyectar, y por tanto se mantendrá constante durante el cálculo dimensional, como por ejemplo; si se sabe que va a navegar por el canal de panamá y se quiera aprovechar toda su manga, entonces será conocida la manga, ya que en este caso el canal de panamá tiene su límite máximo en 32.3 m
  
- ❖ **Ayuda**, se abrirá un archivo PDF, con una explicación del funcionamiento de los 3 métodos de cálculo que tiene el programa (Método de Regresión, Método Empírico y Método de Buque Base), además de exponer las formulas y ecuaciones empleados para cada tipo de buque.
  
- ❖ **Buscar Buque Base**, esta botón nos lanzará a un archivo Excel, en donde existe una amplia base de datos de cada tipo de buque, que ayudará al usuario, en el caso de que este no tenga ningún buque base con que calcular el buque proyecto, poder encontrar un buque del mismo tipo y de unas dimensiones similares o peso muerto similar que busque.

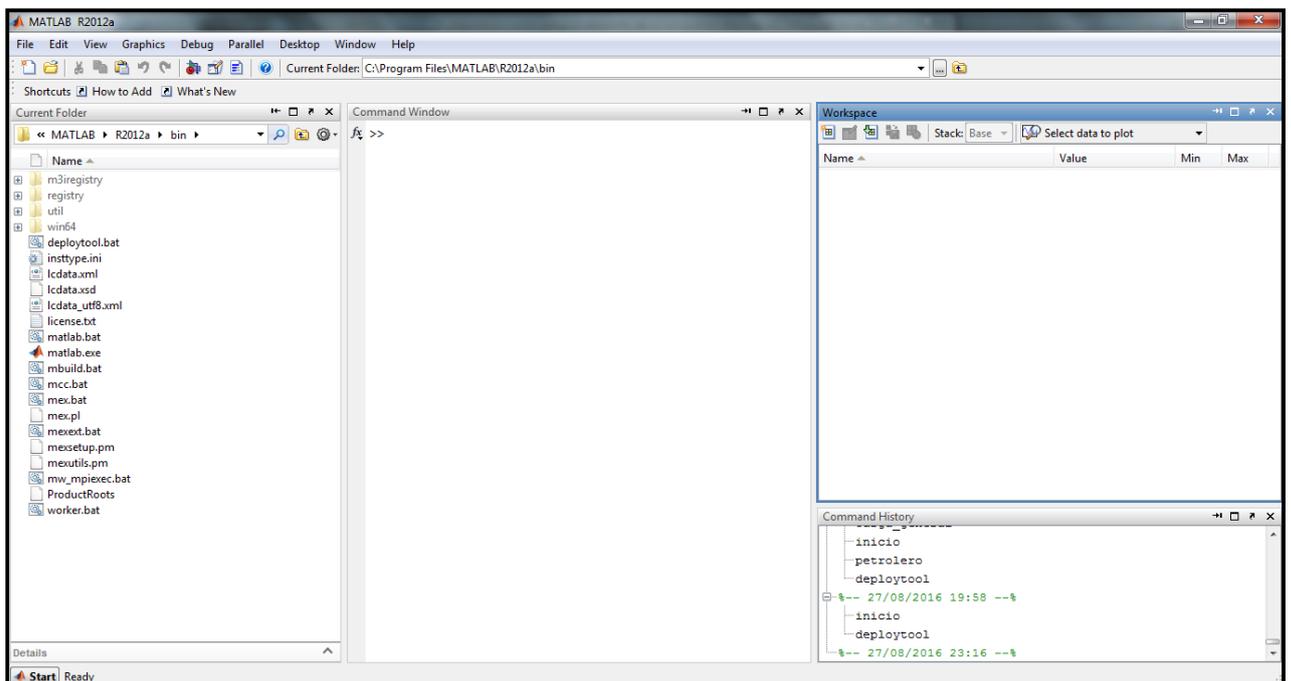
## 7.6 CASO PRÁCTICO

En este apartado se realizar 2 ejemplos del funcionamiento del programa DIMENSIONALITY, para que los ejemplos muestren los diferentes modos de funcionamiento del programa, estos se realizaran de manera que sean lo más distintos posibles, es decir se comenzara con tipos diferente de buques, con metodología de cálculo diferente y con condiciones de construcción diferentes

### 7.6.1 Primer caso practico

- El primero se realizara para el caso de que el usuario tenga disponible el Matlab.
- Se realizara para un buque que no tenga disponible el cálculo empírico, como es el Portacontenedor.
- Por último se realizara sin ningún dato fijo o constante.

1. Se comienza ejecutando el Matlab



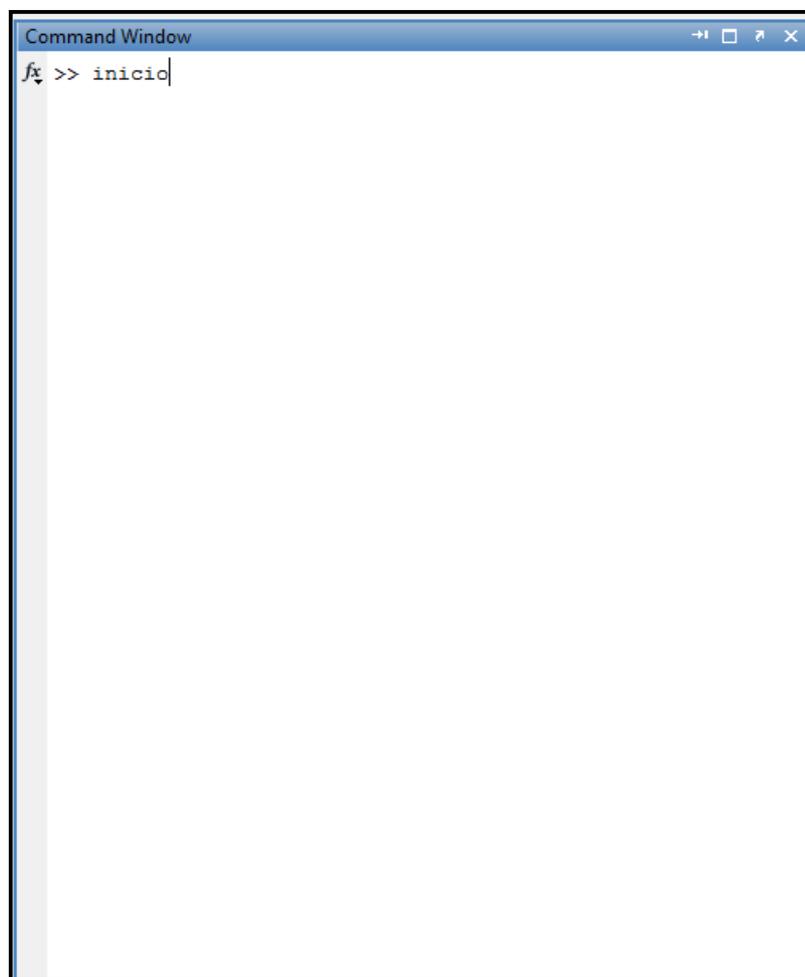
*Ventana de inicio de Matlab*

2. Buscamos en el directorio *Current Folder* la siguiente carpeta:

Current Folder: C:\Users\Kristian\Desktop\PFC-KRISTIAN ALATCON OLSSON-MATES\MATLAB\Interfaz
---

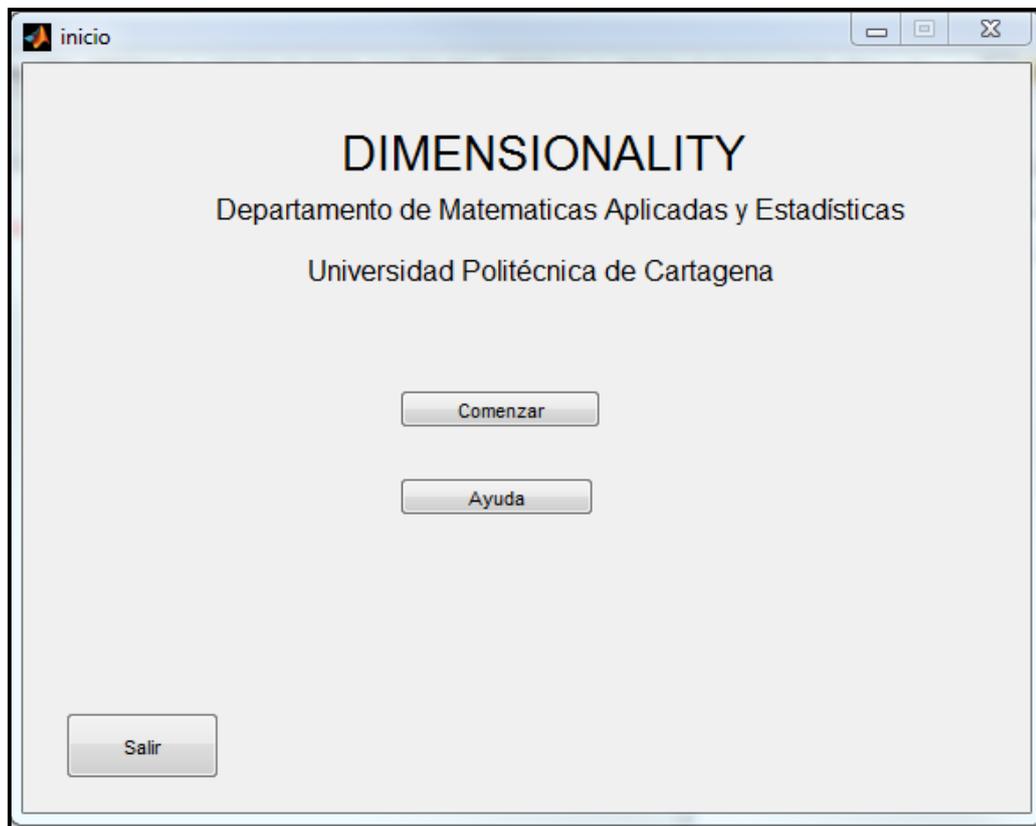
Ubicación del Programa DIMENSIONALITY

3. Una vez, estés localizado en esta carpeta, solo será necesario escribir en el comando (Command Window): *inicio*, dar a *Enter* para que comience la ejecución de la aplicación.

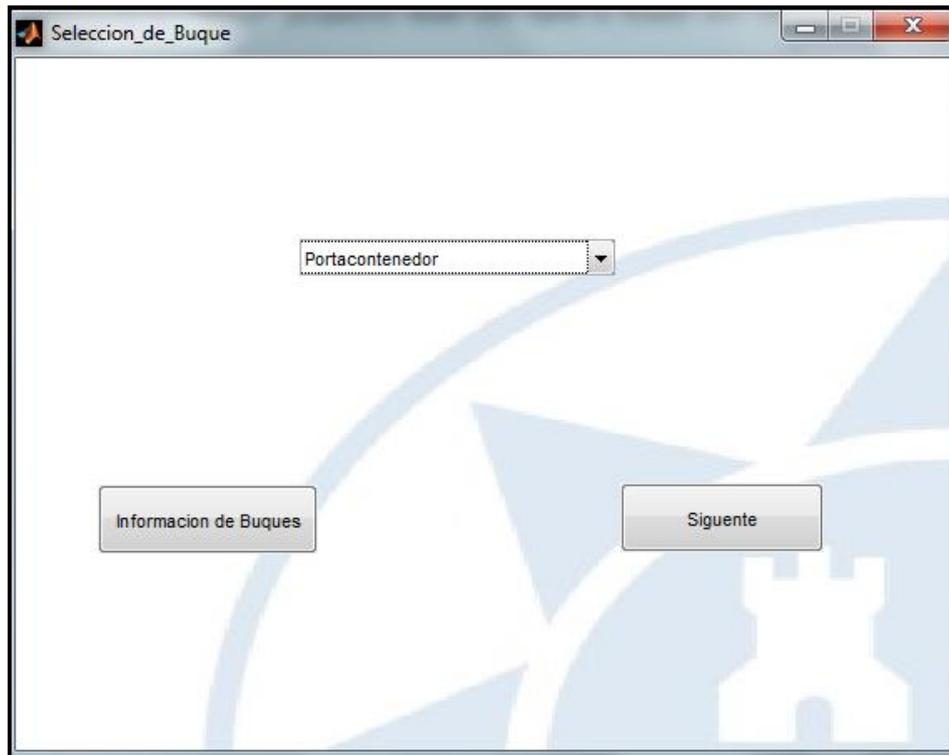


Ventana de COMANDO de Matlab

4. Luego de arrancar la aplicación aparecerá la primera ventana de la aplicación, "ventana de inicio". Aquí aparecerá algunas opciones que ayudan al usuario entender mejor la aplicación.



5. Como en nuestro caso no necesitamos ayuda, para proceder solo le damos a comenzar, y de este modo pasa a la siguiente ventana de la aplicación.



6. Se selección el tipo de buque con que se quería trabajar, en este caso el portacontenedor y se le da a siguiente, para que se cargue la siguiente ventana de la aplicación;

DATOS OBLIGATORIOS		DATOS DE BUQUE BASE		DATOS FUOS	
Limite inferior	<input type="text"/>	Eslora	<input type="text" value="0"/>	Eslora	<input type="text" value="0"/>
Limite superior	<input type="text"/>	Manga	<input type="text" value="0"/>	Manga	<input type="text" value="0"/>
Peso Muerto	<input type="text"/>	Puntal	<input type="text" value="0"/>	Puntal	<input type="text" value="0"/>
Velocidad (nudos)	<input type="text"/>	Calado	<input type="text" value="0"/>	Calado	<input type="text" value="0"/>
		Peso Muerto	<input type="text" value="0"/>	Coefficiente de Bloque	<input type="text" value="0"/>

Buttons: Ayuda, Buscar Buque Base, Calcular

7. Se abre la ventana de datos y aquí es donde se introduce lo datos de nuestro buque proyecto, además se ha obtenido el buque base de la tabla de Excel que facilita el programa,

Nuestro Portacontenedor tendrá los siguientes datos iniciales

- Peso Muerto: 100.000 Tn
- La velocidad de servicio será de 25 nudos

En este caso no se dispone de un buque base y cuya solución es sencilla, solo será necesario darle al botón *Buscar Buque base*, el cual está disponible en esta ventana y que nos reconducirá a una Hoja Excel. En la hoja encontraremos todos los buques con que trabaja la aplicación, en este caso se selecciona Portacontenedor.



Ubicación del tipo de buque dentro de la Base de Datos (Excel)

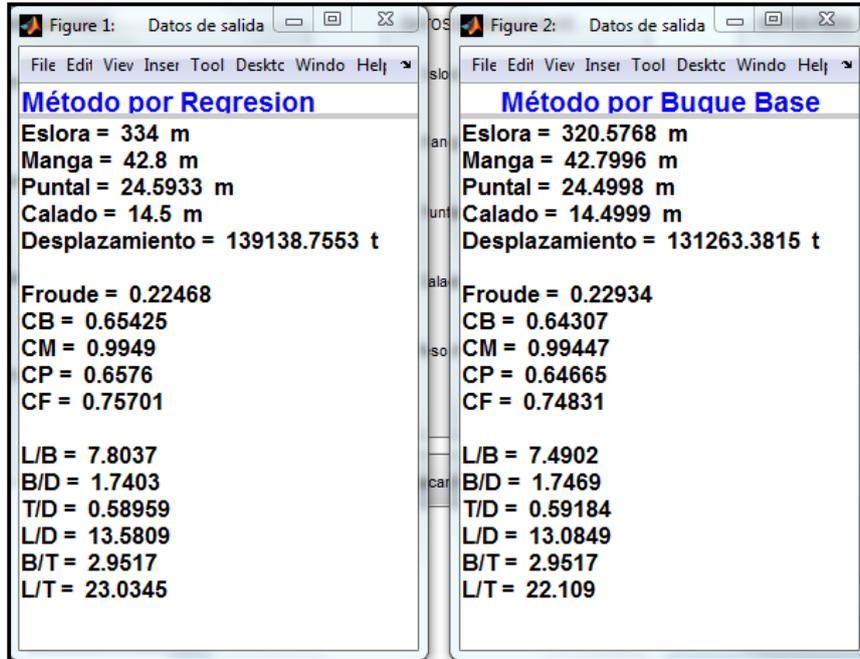
Y se ha seleccionado un buque lo más parecido a los datos iniciales el cual es el siguiente buque base:

- Nombre: YANTIAN EXPRESS
- Nacionalidad: Alemania
- Año de Construcción: 2002
- Eslora: 320.58m
- Manga: 42.8m
- Puntal: 24.5m
- Calado: 14.5m
- Peso Muerto: 100003Tn

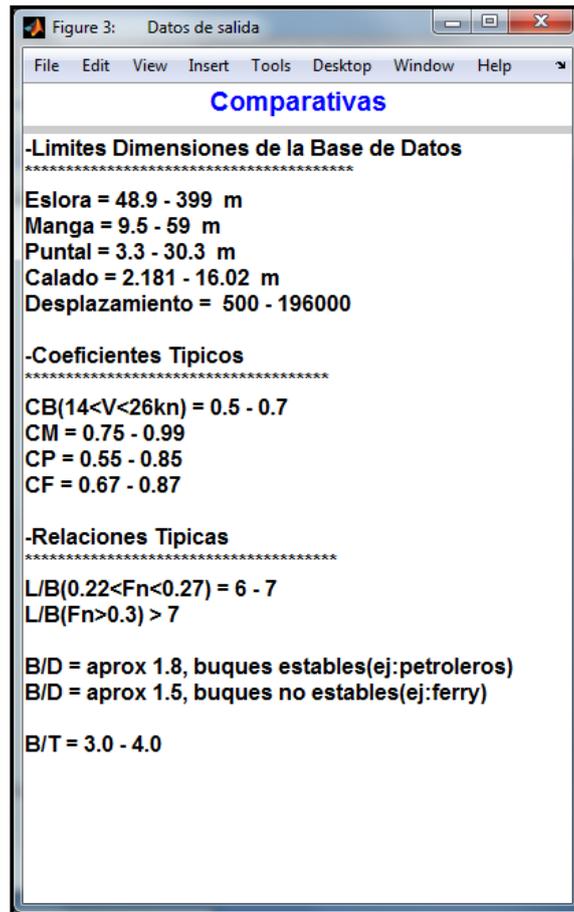
Para los Portacontenedores nos existe ninguna clasificación en función del peso muerto, sino que su clasificación se basa en el número de contenedores que es capaz de transportar.

Por ello seleccionaremos unos rangos lo más próximos posibles para obtener una buena recta de regresión.

Con todos los valores necesarios a mano, solo queda la introducción de ellos en la aplicación y a continuación darle al botón calcular, y se nos aparecerán los siguientes resultados de resultados.



*Ventana de Resultados de la aplicación DIMENSIONALITY del primer ejemplo*



*Ventana de Comparación de la aplicación DIMENSIONALITY de un Portacontenedor*

### Observación de los Resultados y Selección del buque

Este método de representar las ventas, es un modo fácil para poder comparar los diferentes resultados, y con el objetivo de:

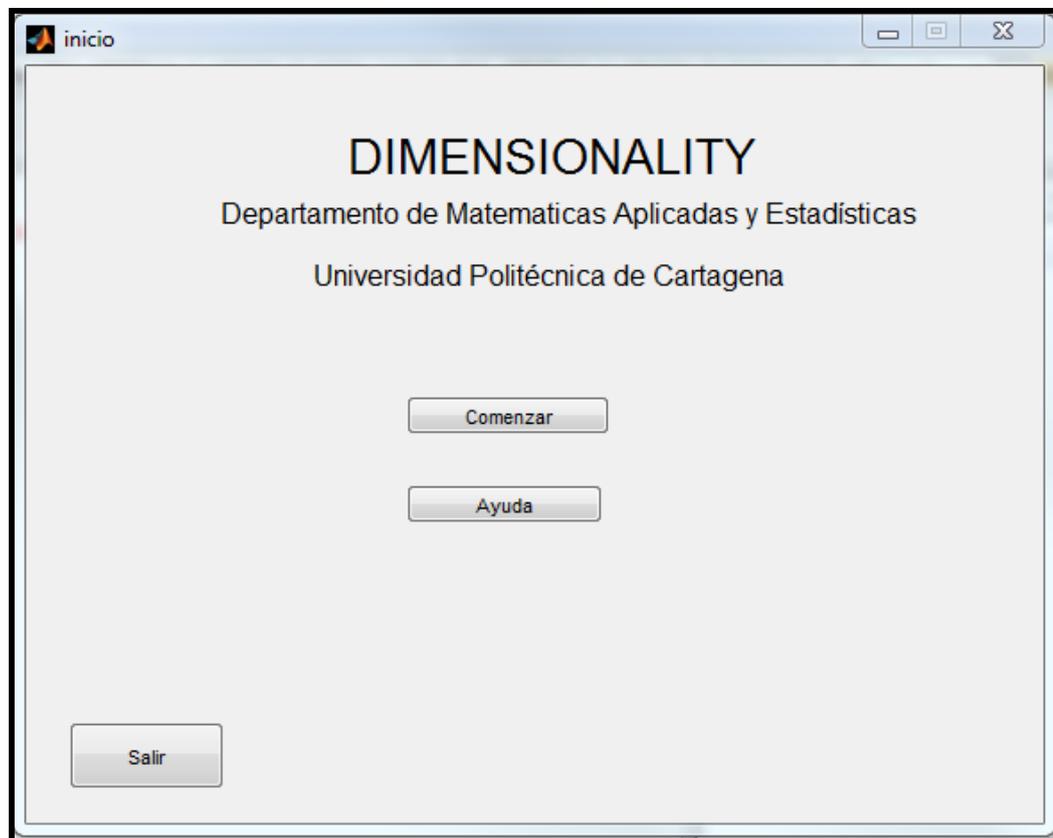
- ✓ Verificar si los resultados son buenos, esto será posible comparándolos, ya que si los resultados entre ellos son similares se puede dar por buenos. Como se puede ver en este ejemplo los resultados son muy similares entre si y por lo tanto podemos decir que el cálculo es bueno.
- ✓ Como la idea de la aplicación es obtener una idea de la dimensiones del buque, plantar las 2 ventas de este modo y con una ventana comparativa a la derecha facilita el descarte para el usuario.  
Como por ejemplo con el buque del Portacontenedor, se puede observar que los resultados son muy similares y por tanto para seleccionar la mejor alternativa, siempre hay que guiarse por la cuestión económica, y por eso el mejor buque será el de la Regresión, ya que obtienes una menor eslora lo que significa una disminución de los costes de construcción.

### 7.6.2 Segundo caso practico

- El primero se realizara en el caso de que el usuario no tenga disponible el Matlab.
  - Se realizara para un buque que si tenga disponible el cálculo empírico, como es el Petrolero.
  - Por último se realizara con un dato fijo o constante.
1. Se comienza ejecutando el **ejecutable** de Matlab, disponible en el mismo lugar que el del ejemplo 1.

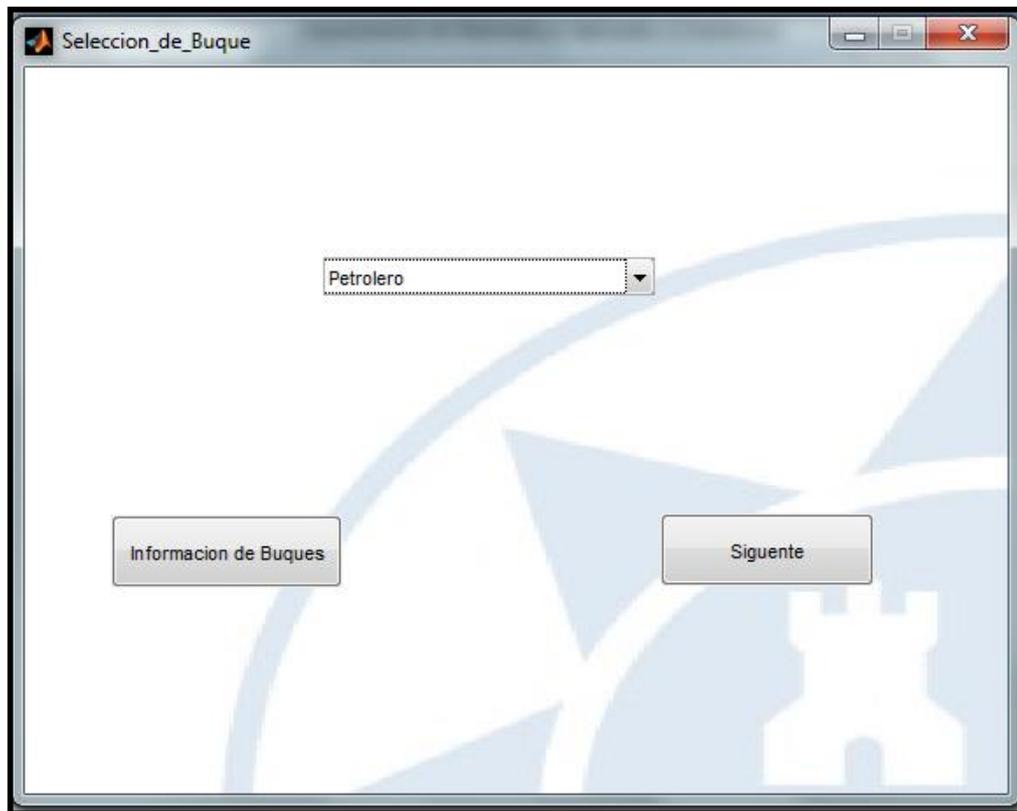


2. Se nos abre la ventana de inicio, como se puede observar es el mismo que el del ejemplo 1, solo que abierto de otra manera



3. Como en nuestro caso no necesitamos ayuda, para proceder solo le damos a comenzar.

Pero en el caso de que si fuera necesario, el botón ayuda de lanza a un PDF explicativo del programa (Encontrar en el Anexo I: Ayuda inicial)



4. Se selección el tipo de buque con que quería trabajar, en este caso el petrolero y se le da a siguiente,

The screenshot shows a software window titled 'petrolero'. It contains three main data entry panels:

- DATOS OBLIGATORIOS:** Includes input fields for 'Limite inferior', 'Limite superior', 'Peso Muerto', and 'Velocidad (nudos)'.
- DATOS DE BUQUE BASE:** Includes input fields for 'Eslora', 'Manga', 'Puntal', 'Calado', and 'Peso Muerto', all currently set to '0'. Below this panel is a button labeled 'Buscar Buque Base'.
- DATOS FUJOS:** Includes input fields for 'Eslora', 'Manga', 'Puntal', 'Calado', and 'Coeficiente de Bloqueo', all currently set to '0'. Below this panel is a button labeled 'Calcular'.

At the bottom left of the window is an 'Ayuda' button.

5. Se abre la ventana de datos y aquí es donde se introduce lo datos de nuestro buque proyecto, además se ha obtenido el buque base de la tabla de Excel que facilita el programa.

Nuestro Petrolero tendrá los siguientes datos iniciales

- Peso Muerto: 150.000 Tn
- Como va a realizar viajes a través del Canal de Suez, y se quiere conseguir la mayor manga disponible.
- La velocidad de servicio será de 15 nudos

Como la manga máxima que dispone el Canal de Suez es de 50m y por tanto este será un valor fijo a introducir.

El canal de Suez permite que circulen por sus aguas buques de hasta 240.000 Tn de peso muerto, para obtener una recta de regresión lineal adecuada pondremos los límites de intervalo entre los 100.000 y 200.000 Tn.

En este caso no se dispone de un buque base, cuya solución es sencilla, solo es necesario darle al botón *Buscar Buque base*, el cual está disponible en

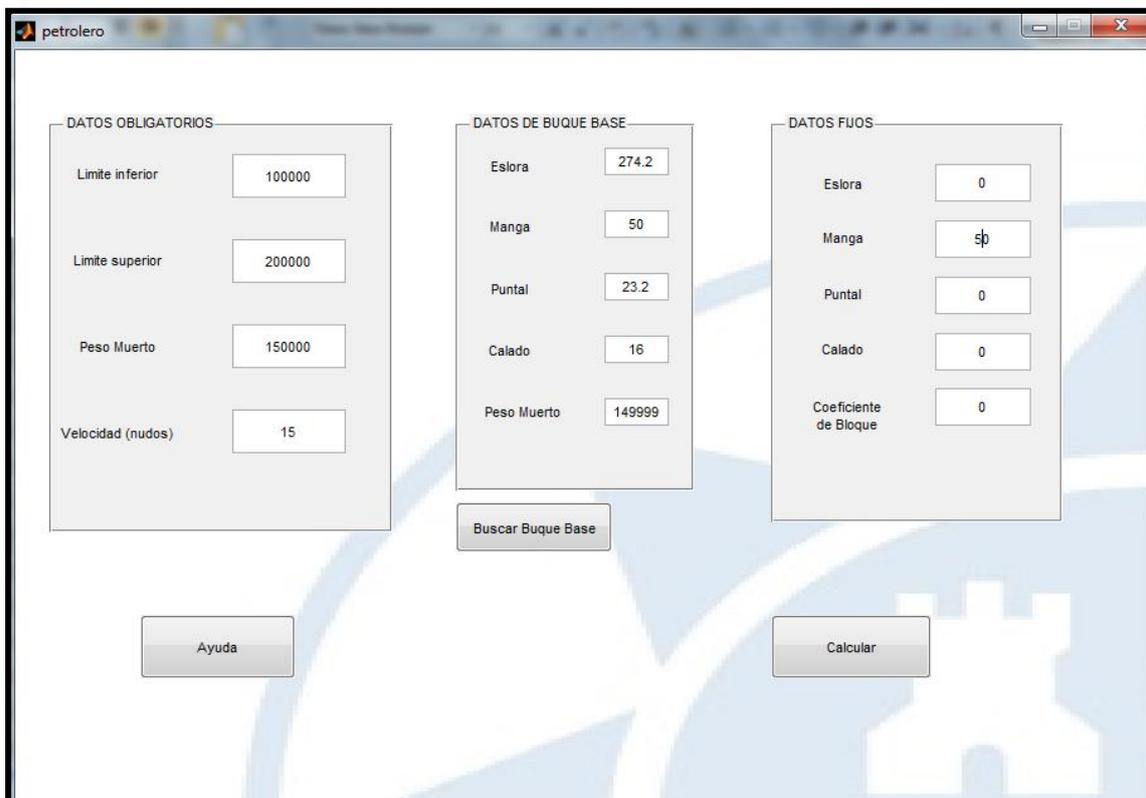
esta venta y que nos reconducirá a una Hoja Excel. En la hoja encontraremos todos los buques con que trabaja la aplicación, en este caso se selecciona Petrolero.



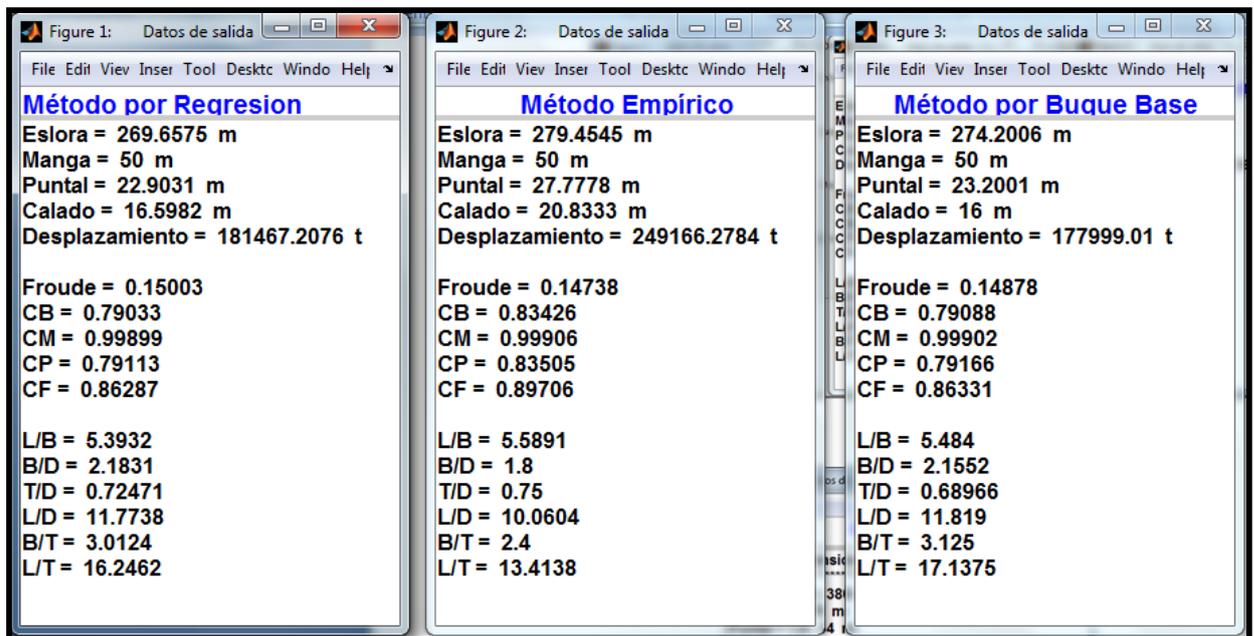
Y se ha seleccionado un buque lo más parecido a los datos iniciales el cual es el siguiente buque base:

- Nombre: NOVO
- Nacionalidad: Malta
- Año de Construcción: 2013
- Eslora: 274.2
- Manga: 50m
- Puntal: 23.2m
- Calado: 16m
- Peso Muerto: 149999Tn

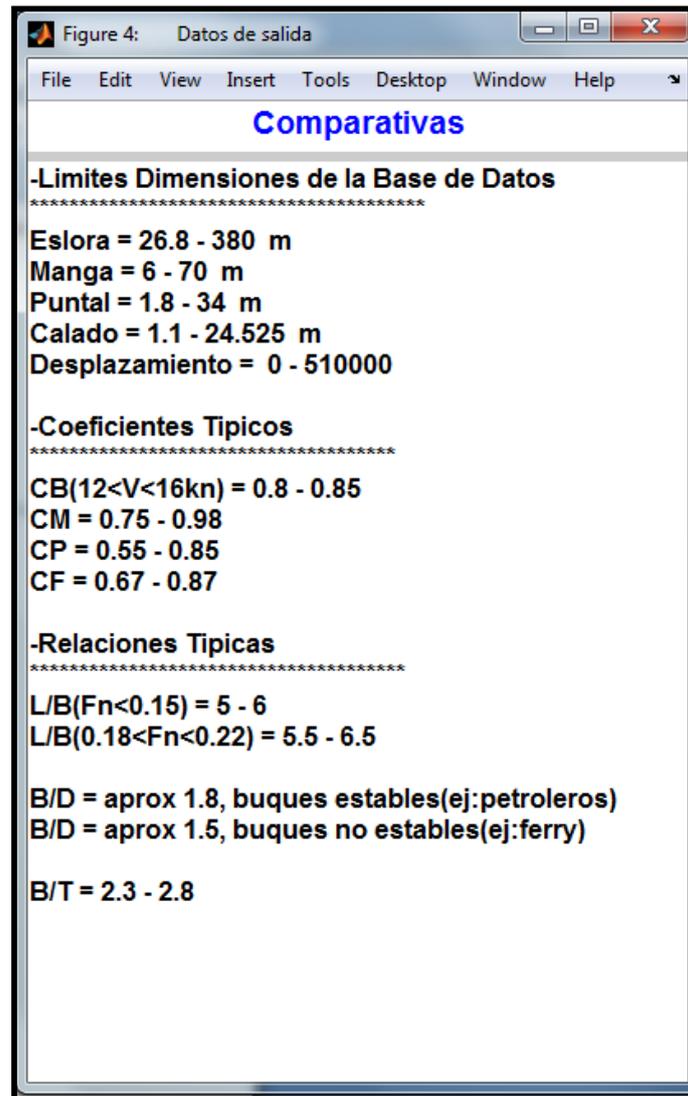
6. Con todos los valores necesarios a mano, solo queda la introducción de ellos en la aplicación.

A screenshot of a software application window titled 'petrolero'. The window contains three main panels for data entry. The first panel, 'DATOS OBLIGATORIOS', has four input fields: 'Limite inferior' (100000), 'Limite superior' (200000), 'Peso Muerto' (150000), and 'Velocidad (nudos)' (15). The second panel, 'DATOS DE BUQUE BASE', has five input fields: 'Eslora' (274.2), 'Manga' (50), 'Puntal' (23.2), 'Calado' (16), and 'Peso Muerto' (149999). Below this panel is a 'Buscar Buque Base' button. The third panel, 'DATOS FUJOS', has five input fields: 'Eslora' (0), 'Manga' (50), 'Puntal' (0), 'Calado' (0), and 'Coeficiente de Bloque' (0). At the bottom of the window are 'Ayuda' and 'Calcular' buttons.

7. Completada la tabla solo los faltara ver los resultados, que se obtienen dándole a calcular



*Ventana de Resultados de la aplicación DIMENSIONALITY del segundo ejemplo*



*Ventana de Comparación de la aplicación DIMENSIONALITY de un Petrolero*

### **Observación de los Resultados y selección del buque**

Este método de representar las ventas, es modo fácil para comparar los diferentes resultados con el objetivo de:

- ✓ Verificar si los resultados son buenos, esto será posible comparándolos, ya que si los resultados entre ellos son similares se puede dar por buenos los resultados dados, en nuestro caso lo son como se puede ver y por tanto los damos por buenos.
- ✓ Como la idea de la aplicación es obtener una idea de la dimensiones del buque, plantar las 3 ventas de este modo y con una ventana comparativa a la derecha facilita el descarte.

Como por ejemplo en el buque del petrolero, se puede observar que el método Empírico obtiene un calado muy superior a los otros 2 caso lo cual aumenta la resistencia, los costes de construcción, etc. Y por tanto esta opción se podría descartar.

Y por último para seleccionar la mejor alternativa, siempre hay que guiarse por la cuestión económica, y por eso la mejor buque sería el de Regresión ya que obtienes un eslora menor, disminución de costes de construcción.

### **7.6.3 Conclusión**

- Estas son las conclusiones que están basadas en la experiencia de haber desarrollado la aplicación de DIMENSIONALITY y haber experimentado con él, no solo a través de los 2 caso prácticos, sino también además de una serie de comprobaciones del programa, es decir que se ha probado que todos los tipos de buques funciona perfectamente.
- El programa Matlab en su primer instante parece un programa costoso y muy complejo, costoso porque hay muchas opciones con que se puede trabajar, pero las cuales con el desarrollo de programa se te hacen familiares y más sencillas de entender. Compleja debido a que tiene un gran abanico de funcionamiento, aunque no hay experimentado con todas, sí que me ha dado la posibilidad de aumentar mis conocimientos de programación en Matlab y he aprender a utilizar la función GUIDE, la cual me parece una función realmente interesante y muy útil.
- Para la utilización del programa hay que tener muy claro cuál va ser el parámetro de diseño principal, ya que a partir de él se realizara el cálculos de los demás parámetros
- Hay que tener en cuenta que la aplicación, igual que Matlab, es muy sensible al modo de introducir los datos, por tanto es importantes asegurarse que los datos están introducidos de modo correcto, como por ejemplo que la separación de un numero entero y decimal se hace con ‘punto’ y NO ‘coma’.
- En cuanto a los resultados obtenidos existen dos posibilidades, la primera que los resultados sean muy similares para los diferentes casos y lo cual nos indicara que estos valores puede suponerse buenos. En caso contrario, es decir que los resultado sean muy diferentes supondrá que no se puede suponer que los resultados sean buenos.





## 8. BIBLIOGRAFÍA

### ❖ Programas

- Microsoft Excel 2007
- Microsoft Word 2007
- Matlab R2012

### ❖ Páginas Web

Para la programación en Matlab

- [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10740/11/MATLAB\\_GUIDE.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10740/11/MATLAB_GUIDE.pdf)
- <http://es.mathworks.com/>
- <https://www.youtube.com/>

Para la teoría de la regresión lineal y descripción de buques

- <http://biplot.usal.es/problemas/regresion/teoria/regsimple.htm>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/>
- <http://www.maritimeinfo.org/es/Maritime-Directory/>

Para la base de datos

- <http://www.vesselfinder.com/es>
- <http://www.shipspotting.com/>
- <http://www.fleetmon.com/es/vessels>
- <http://www.marinetraffic.com/en/>

### ❖ Libros

- Proyectos, Asignatura 5º curso ETSINO, Universidad politécnica de Cartagena.
- Proyecto Básico del Buque Mercante.
- Proyecto Fin de Carrera: Programa de dimensionamiento naval XYZ DIMENSIONS, UPCT 2014.



## ANEXOS

Anexo I: AYUDA INICIAL PARA DIMENSIONALITY PARA EL USUARIO

Anexo II: Tipos de buques

## ANEXO I: AYUDA INICIAL PARA DIMENSIONALITY PARA EL USUARIO

### Introducción

El siguiente programa se ha realizado con el programa matemático Matlab, el cual permite a través de su opción *GUIDE* realizar unas ventanas interactivas denominadas *Interfaces Gráficas*, de tal modo que la ejecución del programa sea más intuitiva y manejable de emplear.

Con los siguientes capítulos se intentará explicar cómo funciona el programa de tal modo que cualquiera pueda emplearlo.

### Instalación del programa

Para la instalación del programa existen 2 métodos, uno el cual la instalación será más sencillo para el usuario y otro que tardara algo más de tiempo pero será más completo, ya que permitirá alguna función más.

El **primero método** de instalación es más sencillo, ya que solo será necesario ejecutar el programa denominado *Dimensionality* el cual está en el CD en el siguiente directorio que muestra la imagen:



Hay que buscar la siguiente aplicación



El cual únicamente será darle doble clic y la aplicación se abrirá.

Pero esta aplicación no tendrá la función de añadir más buques a la base de datos, aunque ya sea potente las base de datos, quizás algún usuario con la inquietud o con la idea de ampliar la base de datos, quisiera utilizar esta función tendría que emplear el segundo método

Para el **segundo método** será necesario la instalación de Matlab, en concreto el R2012a o alguna versión posterior, para poder ejecutarlo.

Abrir la aplicación de Matlab y buscar en el directorio del Matlab el CD y luego dirigirse a la carpeta de *Matlab>interfaz*.

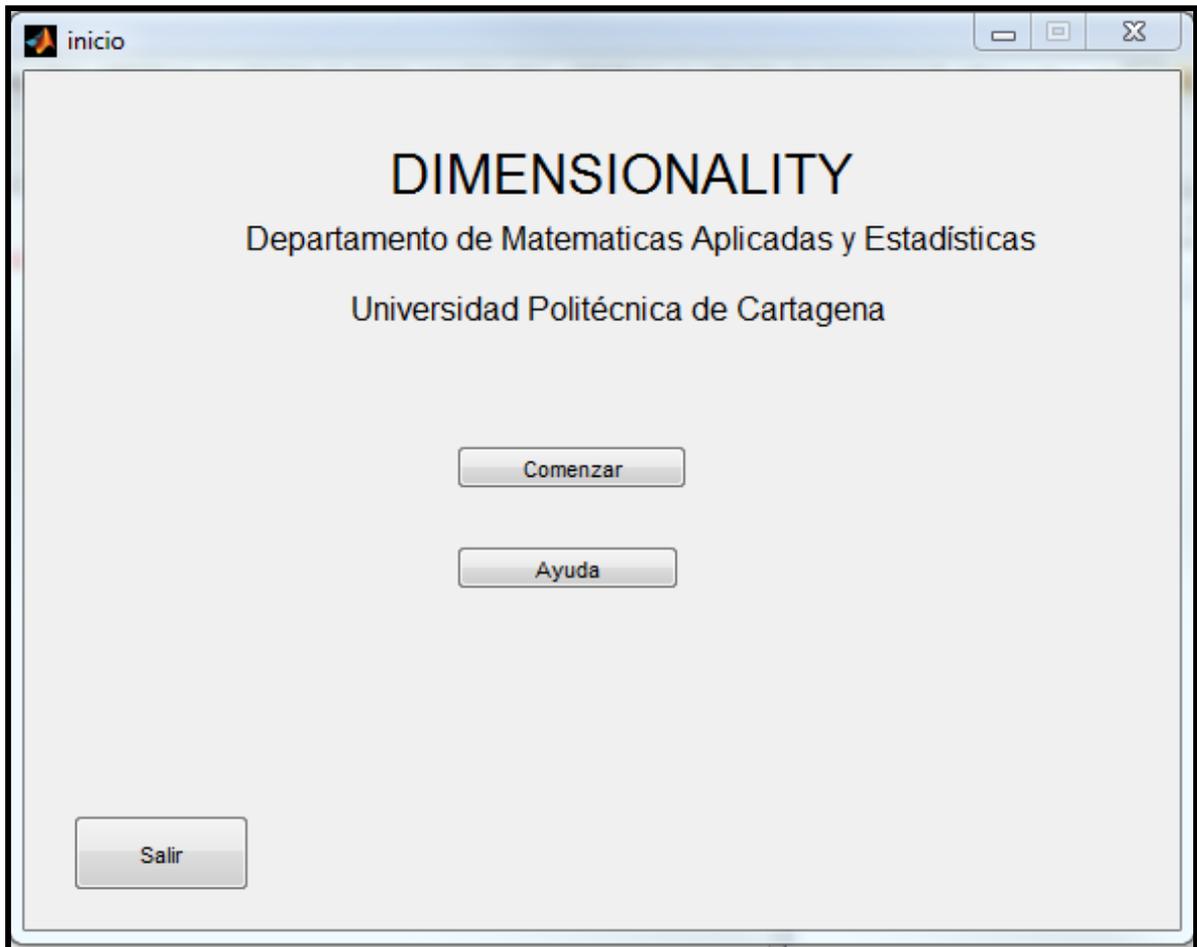


Una vez dentro se escribe en el comando (Command Window) *'inicio'*, y le damos a Enter y de este modo comenzara a ejecutarse nuestro programa *Dimensionality*

Tener en cuenta que el inicio se escribirá en minúscula, cualquier cambio hará que Matlab no lo entienda, ya que es muy sensible a estos tipos de variaciones.

## Página de inicio

Después de haber escrito inicio y haberlo ejecutado aparecer la primera venta del programa:

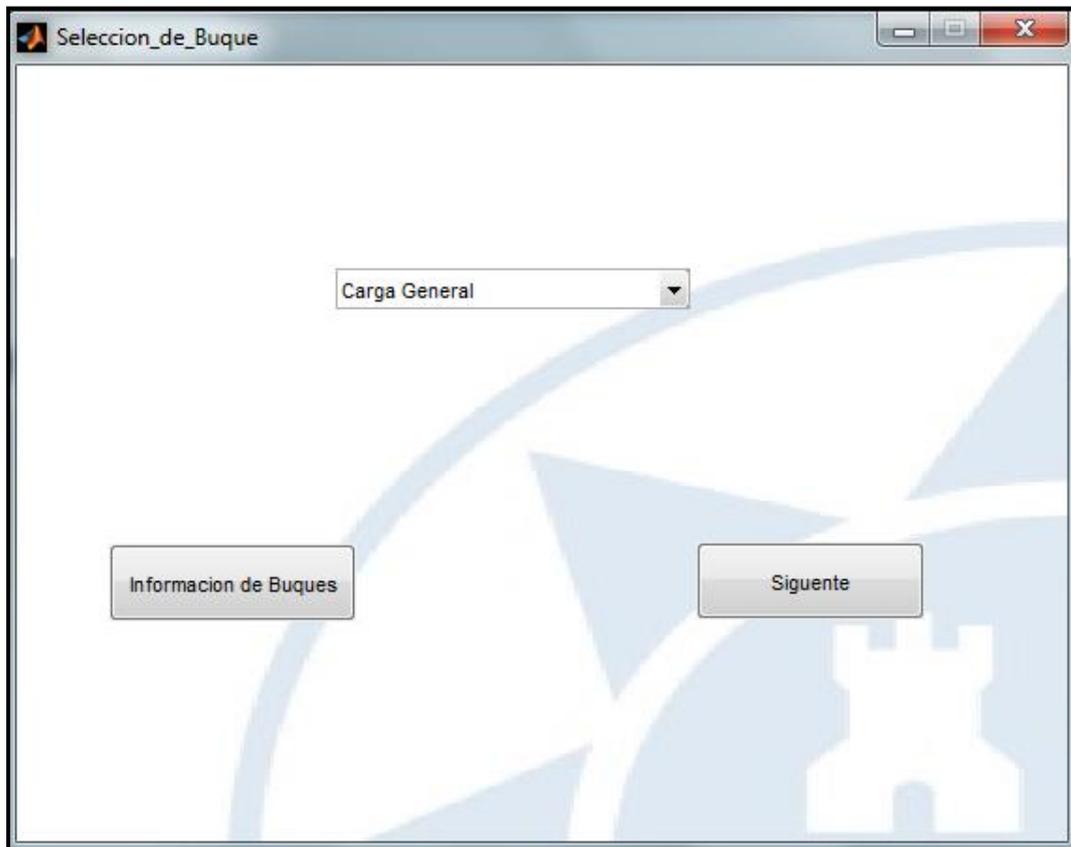


Esta ventana consta de 3 botones,

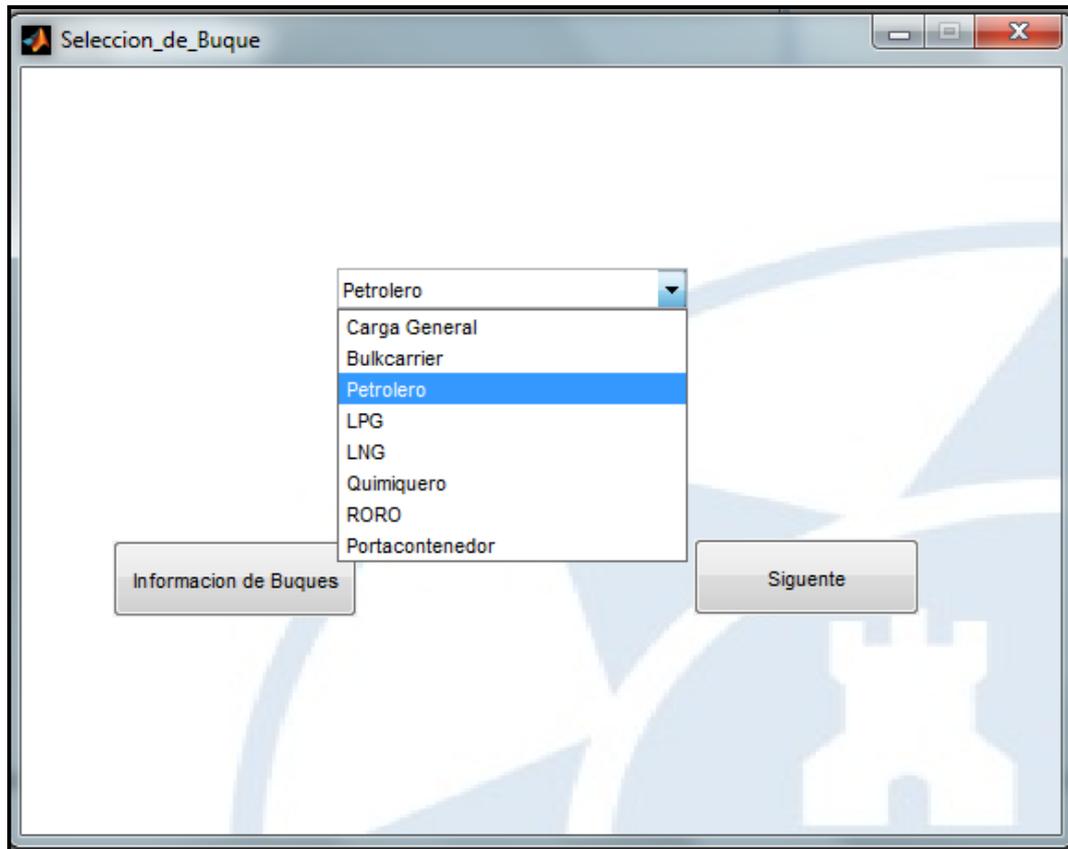
- ❖ **Comenzar**, este botón te lanza a la siguiente ventana la cual se explicara a continuación
- ❖ **Ayuda**, este botón nos permite abrir un PDF en el cual nos explica en que está basado el programa además de dar información de algunas características que se verá durante la ejecución del programa.
- ❖ **Salir**, este botón permite el usuario salir del programa, no sin antes preguntar si está seguro de salir del programa

### Selector de Buque

A continuación de haberle dado a comenzar, se nos aparecerá la próxima ventana, cuya función es dejar al usuario poder seleccionar el tipo de buque con el que quiera trabajar.



Para poder realizarse de un modo sencillo y muy intuitivo, se expone en una barra plegable en donde aparecen los 8 tipos de buque:



Además de esto también dispone de 2 botones funcionales,

- ❖ **Información de buque**, el cual abre un PDF en donde se dispone de una completa boletín de información sobre los distintos tipos de buques con que se puede trabajar.
- ❖ **Siguiete**, este botón nos lanzara a la próxima ventana de la introducción de los datos para poder realizar la dimensionlaización de nuestro buque proyecto.

## Introducción de datos

A continuación de haberle dado a siguiente, se nos aparecerá la próxima ventana, cuya función es dejar al usuario introducir los datos necesario para poder realizarse la dimensionlaización del buque proyecto.

The screenshot shows a software window titled "petrolero" with three data entry panels. The first panel, "DATOS OBLIGATORIOS", contains four input fields: "Limite inferior", "Limite superior", "Peso Muerto", and "Velocidad (nudos)". The second panel, "DATOS DE BUQUE BASE", contains five input fields: "Eslora", "Manga", "Puntal", "Calado", and "Peso Muerto", each with a value of "0". The third panel, "DATOS FUJOS", contains five input fields: "Eslora", "Manga", "Puntal", "Calado", and "Coeficiente de Bloque", each with a value of "0". Below the second panel is a button labeled "Buscar Buque Base". At the bottom left is a button labeled "Ayuda" and at the bottom right is a button labeled "Calcular".

Esta ventana consta de 3 bloques y 3 botones, en los bloques se engloban todos los valores necesarios para realizar la dimensionlaización por medio de los 3 métodos y los botones tienen funciones dentro del programa, como se explica a continuación:

- ❖ **DATOS OBLIGATORIOS**, aquí se introducen todos los datos necesarios para obtener la dimensionlaización del buque a proyectar, y por tanto son totalmente obligatorios para cualquier estudio. Estos datos obligatorios son:
  - ✓ Los *limites inferior y superior de Peso Muerto* con que se va a trabajar para la regresión lineal (explicado en el apartado anterior “Metodología de Cálculo: Regresión Lineal”).
  - ✓ El *peso muerto de proyecto*, es quizás sea el valor más importante de para el cálculo del buque proyecto.

✓ La *velocidad de servicio* en nudos.

- ❖ **DATOS DE BUQUE BASE**, aquí se engloban todos los valores necesarios para que se pueda realizar el cálculo por medio del método de buque base, tales como Eslora, Manga, Puntal, Calado y Peso muerto como se puede ver en la imagen
- ❖ **DATOS FIJOS**, en este bloque se puede introducir uno o varios valores fijos, el cual se sabe que va tener el buque a proyectar, y por tanto se mantendrá constante durante el cálculo dimensional, como por ejemplo; si se sabe que va a navegar por el canal de panamá y se quiera aprovechar toda su manga, se conocerá la manga, ya que en este caso el canal de panamá tiene su límite máximo en 32.3 m
- ❖ **Ayuda**, se abrirá un archivo PDF, con una explicación del funcionamiento de los 3 métodos de cálculo que tiene el programa (Método de Regresión, Método Empírico y Método de Buque Base), además de exponer las formulas y ecuaciones empleados para cada tipo de buque.
- ❖ **Buscar Buque Base**, esta botón nos lanzará a un archivo Excel, en donde existe una amplia base de datos de cada tipo de buque, que ayudará al usuario, en el caso de que este no tenga ningún buque base con que calcular el buque proyecto, poder encontrar un buque del mismo tipo y de unas dimensiones similares o peso muerto similar que busque.

## ANEXO II: INFORMACIÓN DE LOS TIPOS DE BUQUE

### Introducción

En este PDF se expondrá una breve descripción de los diferentes tipos de buques con que se puede trabajar en la aplicación DIMENSIONALY, este capítulo será útil para que usuario principiante en el tema naval, ya que le servirá de apoyo y obtener unos conocimientos básicos del tipo de buque con que trabajara.

Los buques que se verá a continuación serán:

- ❖ Carga General
- ❖ Bulkcarrier o Granelero
- ❖ Petrolero
- ❖ LNG
- ❖ LPG
- ❖ Quimiquero
- ❖ RORO
- ❖ Portacontenedor

## **Buques de carga general**

El nombre de estos buques puede inducir al error al poder pensar que se trata de buques para cargas muy simples, cuando la realidad es exactamente la contraria, se trata de buques extremadamente adaptables y flexibles que, por ello, pueden transportar prácticamente cualquier clase de carga, desde carriles de tren a productos agrícolas empacados o maquinaria.

Una nota característica de estos buques es que normalmente disponen de sus propios medios de carga y descarga (grúas o puntales), ya que son buques versátiles y que con frecuencia van a puertos que no disponen de ellos en el muelle. Aunque a menudo se utilizan para transportar las cargas que otros buques no pueden llevar.

Se transporta carga de todo tipo, generalmente:

- ❖ Carga paletizada,
- ❖ También se ha adaptado con sus bodegas a productos forestales, siderúrgicos o cargas masivas que hace antieconómico el empleo de contenedores.
- ❖ Pero también pueden llevar contenedores sobre cubierta.

Este tipo de buque está cayendo prácticamente en desuso y se utilizan en algunas regiones de África y países en desarrollo, en los que las estaciones portuarias se han quedado en el tiempo, y no han podido ser actualizadas a la nueva era de los buques portacontenedores.



*Imagen de un Buque de Carga General*

## **Bulkcarrier**

Llamado Granelero o Bulkcarrier, es un buque que se dedica al transporte de cargas secas a granel y debido a su gran capacidad de transporte es uno de los buques más empleados en la actualidad

A veces llamados las “bestias de carga” del negocio marítimo, estos buques se proyectan para transportar económicamente y con seguridad todo tipo de carga seca a granel, cereales, minerales o cargas mixtas (oil/bulk/ore carrier) (cargas secas y crudo). En el caso del transporte de cargas pesadas, sus bodegas están reforzadas para resistir golpes.

Son fácilmente reconocibles por las grandes escotillas con forma de cajas sobre la cubierta, y pueden variar mucho de tamaño, desde pequeños costeros de 500 toneladas de carga, pasando por Panamax (que pueden transportar unas 70.000 t de carga) o Capesizes (unas 170.000) hasta los enormes Chinamax, actualmente en construcción, que alcanzarán las 400.000 toneladas de peso muerto, proyectados especialmente para transportar mineral de hierro entre Brasil y China.

También existen buques especiales de Bulkcarriers como los Cementeros o Alumineros, son muy especializados y suelen ser pequeños (6000 TPM) y tienen medios propios de carga y descarga mediante tuberías por medios neumáticos.

En general son conocidos por su eficiencia económica y energética, hay en el mundo unos 6.000 graneleros. Algunos disponen de sus propios equipos de carga y descarga, como puntales, grúas o cintas transportadoras, mientras que otros utilizan los equipos especializados de las terminales portuarias para su carga y descarga desde y hacia silos u otras instalaciones de almacenamiento.



*Imagen de un Buque Bulkcarrier*

## **Petrolero**

Un petrolero es un tipo de buque cisterna o tanque diseñado específicamente para el transporte de crudo o productos derivados del petróleo. Actualmente casi todos los petroleros en construcción son del tipo de doble casco, debido a que son menos sensibles a sufrir daños que los monocascos antiguos y provocar vertidos en accidentes de colisión con otros buques o encallamiento

Los Petroleros de Crudo, que son los buques tanque de mayor tamaño, y su principal objetivo es transportar petróleo desde los campos de extracción hasta las refinarias (normalmente hacen los viajes de retorno en lastre).

Las rutas de comercio principales de transporte petrolífero son desde zonas del Golfo Pérsico, Caribe y Golfo de Guinea (zonas o países exportadoras) a Europa, Estados Unidos y Extremo Oriente: China, Japón, etc. (zonas o países importadores).

Los Petroleros de productos, son algo menores de tamaño, transportan productos refinados de petróleo, como gasolinas o gasoil.

El tamaño de los petroleros fue aumentando gradualmente, con el fin de aprovechar las llamadas “economías de escala” y reducir al mínimo los costes de transporte, hasta alcanzar un máximo en los años 70. La era de los superpetroleros, que empezó en los años 60, rápidamente condujo a la construcción de los llamados Very Large Crude Carriers (VLCCs) y Ultra Large Crude carriers (ULCCs), que son los mayores buques construidos hasta ahora.

A medida que progresó la tecnología de manejo de la carga, muchos petroleros disponen en sus tanques de serpentines de calefacción a vapor, lo que les permite transportar crudos de mayor viscosidad y acelerar la carga y descarga. También se les equipó con sistemas de lavado con crudo para limpiar los tanques y con sistemas de inyección en los mismos de gas inerte, para reducir los riesgos de fuego y explosión. Las últimas generaciones de petroleros incorporan amplias medidas de seguridad adicionales, como doble casco, y, en algunos casos, dobles cámaras de máquinas, propulsión y equipo de gobierno. Los sistemas de navegación y comunicaciones también han ido creciendo en seguridad y complejidad en los últimos años.



*Imagen de un Buque Petrolero*

## LNG Y LPG

Pertenecen al tipo de buques denominados “Gaseros”, cuyo transporte principal es la carga en forma de gas. Los gases son una de las cargas más complicadas para su transporte por mar y, para facilitarlos, se convierten al estado líquido, ya sea por enfriamiento o por altas presiones, o por una combinación de ambas. De este modo pasan a tener las mismas características que las cargas líquidas, lo que simplifica mucho su carga, descarga y transporte.

Este proceso, conocido como licuefacción, reduce el volumen del gas nada menos que 600 veces y plantea sus propios retos a los buques que lo transportarán, dado que es preciso mantener el gas en estado líquido durante todo el viaje. Para ello, los buques Gaseros deben disponer a bordo de sistemas complejos de enfriamiento o presurización.

Como resultado, se trata de buques muy especializados y considerados con frecuencia como los más complejos tecnológicamente de todos los buques mercantes. Por ello vienen a costar del orden del doble del precio de un petrolero del mismo tamaño.

Los gases que más se transportan por mar son:

- **Propano y Butano**, conocidos como Liquefied Petroleum Gas (LPG) o Gas Licuado del Petróleo (GLP),
- **Metano**, conocido Liquefied Natural Gas (LNG) o Gas Natural Licuado (GNL).

Se utilizan para diversas aplicaciones, desde combustibles favorables para el medio ambiente o propelentes en aerosoles y para procesos de la industria química.



*Imagen de un Buque LNG*



*Imagen de un Buque LPG*

## Quimiquero

Los buques Quimiqueros transportan mercancías corrosivas, inflamables, tóxicas, reactivas, aceites vegetales, y animales. Son relativamente pequeños a diferencia de los otros buques tanques (ejemplo: el petrolero), normalmente oscilan entre 5.000- 40.000 de peso muerto.

Una de sus características generales es el número elevado de tanques, que almacena los productos químicos de acuerdo al riesgo o agresividad que tenga el producto.

Otra es el gran número de tuberías conectadas entre los tanques, la cubierta está repleta de estas tuberías que van desde proa a popa y de estribor a babor, las tuberías sirven para realizar un transporte simultánea de diferentes productos químicos.

Los tanques están revestidos con capas de pintura especial o bien son de acero inoxidable, el revestimiento determina el producto a transportar y además el casco será simple será doble. Debido a estas exigencias en cuestiones constructivas el buque resulta muy costoso.

El lavado de los tanques es un punto esencial de los Quimiqueros, ya que evita reacciones peligrosas debido a los diferentes productos que se transporta en su interior

Los tanques tienen un sistema de calefacción para mantener la carga a una cierta temperatura y de ese modo poder conservarla a cierta viscosidad.

Lo que hace muy especial al Quimiquero es su gran capacidad de adaptabilidad. La demanda de estas cargas en las diferentes zonas puede cambiar drásticamente de un mes a otro y los buques deben desplazarse de unas a otras zonas para atender a estas variaciones regionales de la demanda.



*Imagen de un Buque Quimiquero*

## **RORO**

RO-RO es un acrónimo del término inglés Roll On-Roll Off, con el cual se denomina a todo tipo de buque, o barco, que transporta cargamento rodado, tanto automóviles como camiones.

Los Ro-Ro a menudo tienen rampas construidas en el buque o fijas en tierra que permiten descargar el cargamento (roll off) y cargarlo (roll on) desde el puerto. En contraste, los contenedores «lo-lo» (lift on-lift off, algo así como, levantar y bajar, necesitan una grúa para cargar y descargar el cargamento.

Existen varios tipos de RORO, en función de la mercancía que transporta. En nuestro caso solo serán RORO que transporten vehículos únicamente o algún tipo de mezcla entre vehículo y carga, es decir estarán aquellos RORO que no tengan entre sus funciones el transporte de pasajeros.



*Imagen de un Buque RORO*

## **Portacontenedor**

Desde su aparición, que data de 1956, esta actividad ha crecido enormemente, llegando a convertirse en una componente esencial del transporte internacional puerta-puerta de todo tipo de productos.

Los portacontenedores son los buques encargados de transportar carga en contenedores estandarizados y se utilizan para transportar todo tipo de mercancías por todo el mundo. Los contenedores son los que se pueden ver habitualmente en los puertos o bien si haces cualquier recorrido por carretera, es muy probable que adelantes a algún camión que transporta un contenedor, camino de un puerto o de un destino en tierra, y ese será solamente uno de los millones de contenedores que se transportan cada año en el mundo.

Los Portacontenedores se proyectan para adaptarse a contenedores de dimensiones normalizadas, dividiendo sus bodegas en miles de espacios o “slots” mediante “guías celulares”, formando una especie de gigantesco rompecabezas. La capacidad de transporte de estos buques se mide en unidades equivalentes a contenedores normalizados de 20 o 40 pies de longitud (o TEU o FEU). Por tanto, un buque es 10.000 TEU es el que puede transportar 10.000 contenedores de 20 pies. Estos buques han ido creciendo de tamaño y hoy día los mayores tienen una capacidad de unos 14.500 TEU y son los mayores que pueden transitar por el Canal de Suez.

### ➤ TEU

Es la capacidad de carga de un contenedor normalizado de 20 pies (6,1 m), una caja metálica de tamaño estandarizado que puede ser transferido fácilmente entre diferentes formas de transporte tales como buques, trenes y camiones. 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.



*Imagen de un Contenedor TEU*

➤ FEU

Contenedor estandarizado con el mismo ancho que un TEU pero con el doble de largo, es decir de 40 pies (12,2 m), que equivale a una unidad equivalente de cuarenta-pies (en inglés: Forty-foot Equivalent Unit, FEU o feu) en el transporte de carga (se consideran que son dos TEU).



*Imagen de un Contenedor FEU*



*Imagen de un Buque Portacontenedor*

## PREGUNTAS FRECUENTES ¿?

### **¿Porque es importante los rangos inferiores y superiores del parámetro de diseño?**

Esto es debido a que la base de datos es muy amplia, para que pueda abarcar todo tipo de buques del tamaño y forma que sea, lo cual provoca que la nube de puntos donde la línea de regresión tiene que trabajar sea muy dispersa y por lo tanto el ajuste será peor.

Sin embargo si se limita la nube de puntos, de tal modo que la nube sea menor el ajuste de la línea de regresión será mejor ya que los puntos no estarán tan dispersos.

### **¿Se puede actualizar la base de datos? ¿Y cómo se hace?**

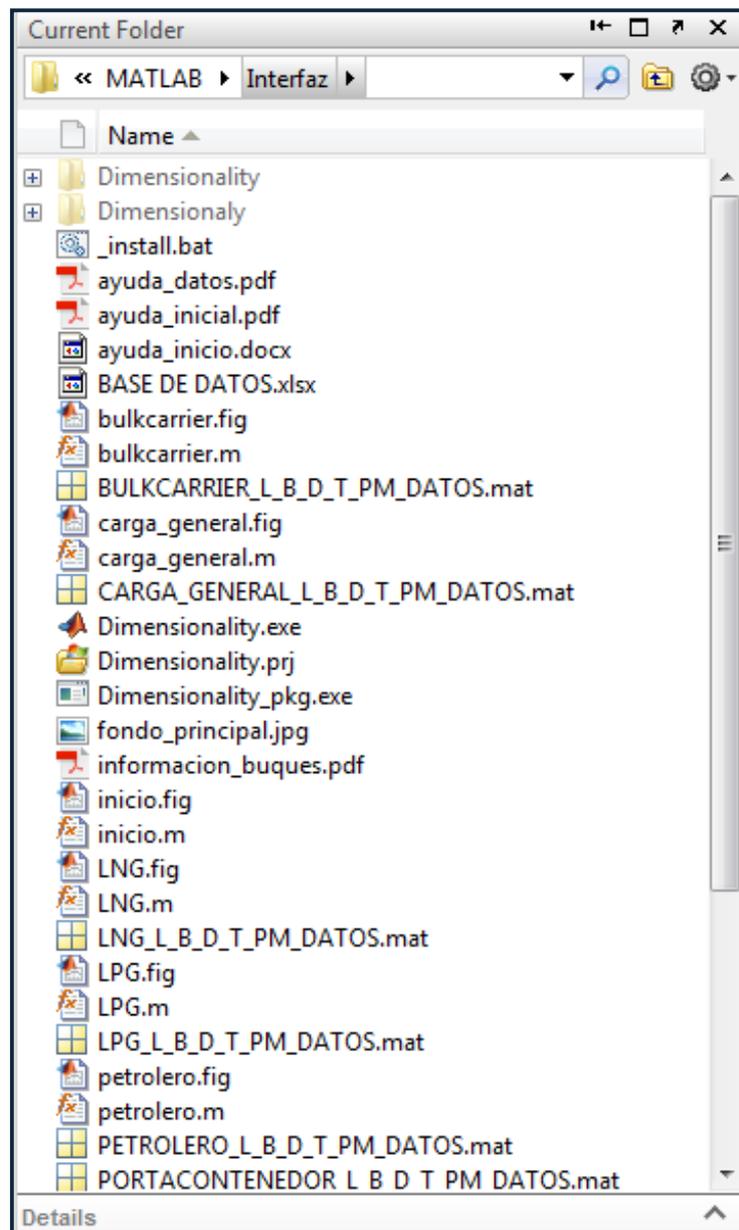
Claro que se puede actualizar la base de datos, de un modo sencillo.

Primero hay que informar de que solo es posible en la aplicación que se hace a través de Matlab, es decir que no se puede actualizar la base de datos de la aplicación ejecutable de Matlab.

Para empezar hay que abrir Matlab y dirigirse a la carpeta donde está la aplicación.

Current Folder: C:\Users\Kristian\Desktop\PFC-KRISTIAN ALATCON OLSSON-MATES\MATLAB\Interfaz

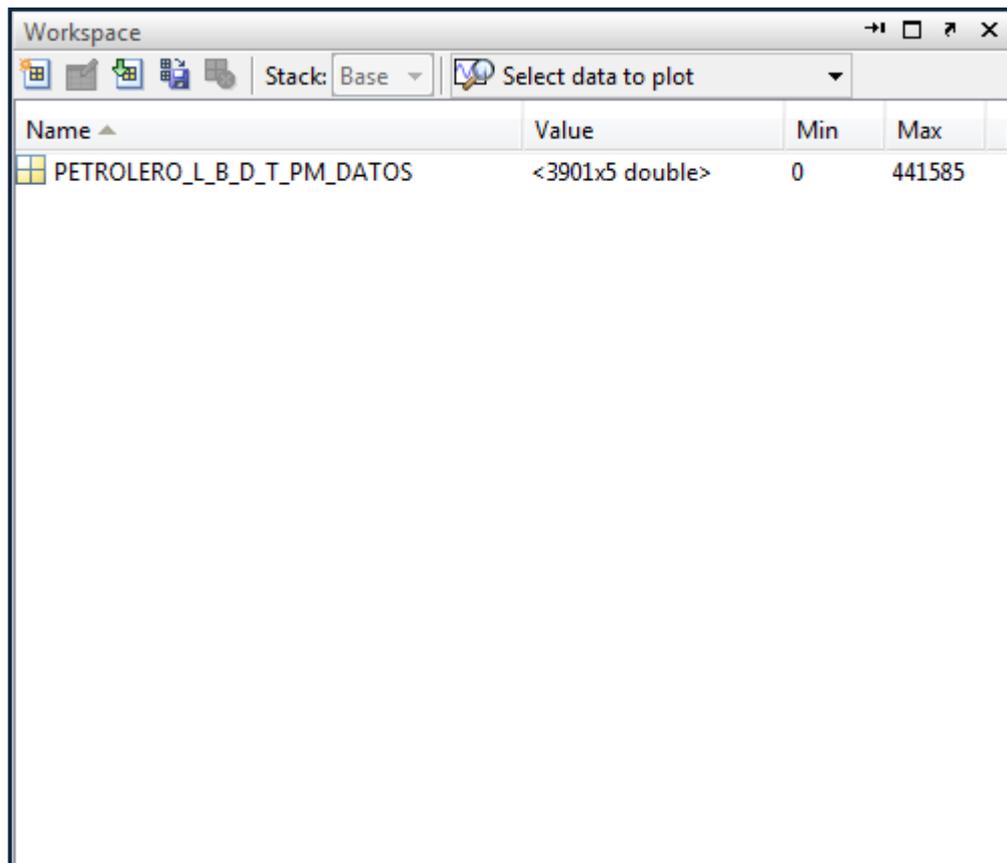
Para poder añadir un buque, hay que ir a la ventana que nos aparece a la derecha del todo, donde están todos los ficheros del programa,



Una vez localizado, hay que ver qué tipo de buque vamos a introducir, ya que cada tipo de buque tiene su propia base de datos, por lo tanto es muy importantes saber cómo se han denominado estas base de datos, para ello se podrán a continuación el nombre de cada base de datos pertenecientes a los diferentes buques;

1. CARGA\_GENERAL\_L\_B\_D\_T\_PM\_DATOS.m
2. BULKARRIER\_L\_B\_D\_T\_PM\_DATOS.m
3. PETROLERO\_L\_B\_D\_T\_PM\_DATOS.m
4. LNG\_L\_B\_D\_T\_PM\_DATOS.m
5. LPG\_GENERAL\_L\_B\_D\_T\_PM\_DATOS.m
6. QUIMIQUERO\_L\_B\_D\_T\_PM\_DATOS.m
7. RORO\_L\_B\_D\_T\_PM\_DATOS.m
8. PORTACONTENEDOR\_L\_B\_D\_T\_PM\_DATOS.m

Una vez tengas claro a cuál de los grupos pertenece el buque o buques que quieras añadir, solo le damos doble-clic y se nos cargara la base de datos de ese grupo. Aparecera un archivo en el "workspace" de matlab, a continuación un ejemplo perteneciente a la carga de datos de un petrolero:

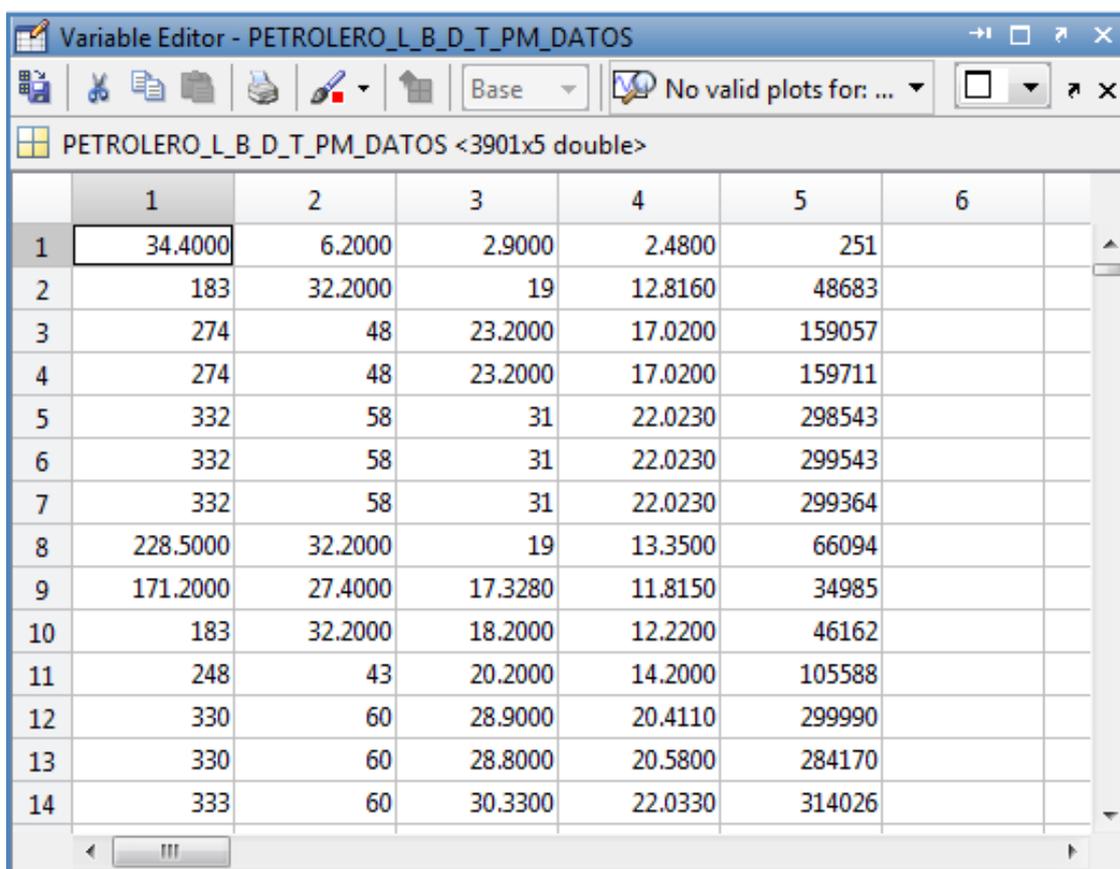


Aquí aparece el archivo cargado, además de algunos datos como "Value" que nos indica la forma que tiene los datos del archivo, como se puede ver en el ejemplo anterior que su valor en "Value" es de  $3901 \times 5$  lo cual indica que es un archivo con 5 columnas y 3901 filas.

Las filas muestran todos los buques del tipo Petrolero, incluidos en la base de datos, es decir que hay 3901 petroleros en la base de datos.

Las columnas son las distintas dimensiones de cada buque, son la eslora, manga, puntal, calado y peso muerto

Para continuar hay que darle doble-clic de nuevo, pero al archivo cargado en el Workspace, así se nos cargara la tabla y aparecerá una ventana nueva donde están ordenados los datos.



The screenshot shows a window titled 'Variable Editor - PETROLERO\_L\_B\_D\_T\_PM\_DATOS'. The window contains a table with 14 rows and 6 columns. The columns are labeled 1 through 6. The data is as follows:

	1	2	3	4	5	6
1	34.4000	6.2000	2.9000	2.4800	251	
2	183	32.2000	19	12.8160	48683	
3	274	48	23.2000	17.0200	159057	
4	274	48	23.2000	17.0200	159711	
5	332	58	31	22.0230	298543	
6	332	58	31	22.0230	299543	
7	332	58	31	22.0230	299364	
8	228.5000	32.2000	19	13.3500	66094	
9	171.2000	27.4000	17.3280	11.8150	34985	
10	183	32.2000	18.2000	12.2200	46162	
11	248	43	20.2000	14.2000	105588	
12	330	60	28.9000	20.4110	299990	
13	330	60	28.8000	20.5800	284170	
14	333	60	30.3300	22.0330	314026	

Una vez abierta la ventana solo queda introducir los datos del buque o buques a añadir, para ello nos vamos al final de la lista y agregamos

Antes de añadir hay que tener claro donde se introduce cada dato, cada columna pertenece a una dimensión

- La PRIMERA columna pertenece a la ESLORA
- La SEGUNDA columna pertenece a la MANGA
- La TERCERA columna pertenece a la PUNTAL
- La CUARTA columna pertenece a la CALADO
- La QUINTA columna pertenece a la PESO MUERTO

Para asegurarte los archivos de la base de datos están nombrados con el orden de las columnas



Introducidos todos los datos y le damos a guardar (Save), y el buque introducido estará ahora añadido a la base de datos para el cálculo de la regresión lineal.

