

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEANICA



ESTUDIO Y ANÁLISIS DE SOFTWARE DE DISEÑO PARA UN BUQUE DE CARGA

Proyecto final de carrera

Ingeniería Naval y Oceánica

AUTOR

IGNACIO GARCÍA DÍAZ

TUTOR

JOSÉ ENRIQUE GUTIÉRREZ ROMERO

SEPTIEMBRE 2016

ÍNDICE DE CAPÍTULOS

CAPÍTULO I	–	DEFINICIÓN DE BUQUE DE CARGA GENERAL
CAPÍTULO II	–	DIMENSIONAMIENTO
CAPÍTULO III	–	FORMAS
CAPÍTULO IV	–	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE
CAPÍTULO V	–	DISPOSICIÓN GENERAL Y ESTABILIDAD
CAPÍTULO VI	–	BOTADURA
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXO I	–	ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES
ANEXO II	–	PLANO DE FORMAS
ANEXO III	–	RENDERIZADOS
ANEXO IV	–	INFORMACIÓN MOTORES

CAPÍTULO I – DEFINICIÓN DE BUQUE DE CARGA GENERAL

CAPITULO I – DEFINICIÓN DE BUQUE DE CARGA GENERAL

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	4
2	DESCRIPCIÓN DEL BUQUE DE CARGA GENERAL	6
2.1	Definición	6
2.2	Características generales de un buque de carga general	6
2.3	Clasificación	6
2.3.1	Tipos de carga en función modo de carga.....	6
2.3.2	Tipos de carga	7
2.3.3	Particularidades de la mercancía a transportar.....	7
2.3.4	Tipos de construcción del casco.....	8
2.3.5	Tipo de estructura.....	8
2.4	Estiba	9
2.4.1	Planos de Carga.....	9
2.4.2	Carga de relleno	9
2.4.3	Pérdida de Estiba.....	9
2.4.4	Factores a tener en cuenta en la disposición de la mercancía	10
2.4.5	Preparación de la bodega.....	10
2.5	Manipulación de la carga (manipuleo)	11
2.5.1	Tipos de manipuleo según la carga	11
2.5.2	Accesorios para la segregación de carga.....	12
2.5.3	Papel “tipo Kraft”.....	12
2.6	Elementos de Carga/Descarga	12
2.6.1	Aparatos y accesorios de estiba.....	12
2.6.2	Utillaje portuario empleado en carga/descarga	13
2.7	Averías en las cargas.....	13
2.7.1	Tipos de averías.....	13
2.7.2	Daños ocasionados por la humedad en la carga y modo de evitarla .	13
3	DESCRIPCIÓN DEL BUQUE BASE DE ESTUDIO	15
3.1	Dimensiones principales	15
3.2	Principales relaciones dimensionales.....	15
4	IMÁGENES DEL BUQUE.....	16
5	DETALLES TÉCNICOS DEL BUQUE A ESTUDIAR.....	18
5.1	Capacidad.....	18

5.2	Materiales de construcción	18
5.3	Configuración de la estructura	18
5.4	Maquinaria y generador diesel.....	18

FIGURAS

Figura 1. Bobina · Pila de carbón · Sacos de cereales.....	8
Figura 2. Navita en condición de lastre.	16
Figura 3. Buque Navita en carga de madera.....	16
Figura 4. Buque Navita transportando contenedores.....	17
Figura 5. Vista de la aleta de babor del buque navita.....	17

1 INTRODUCCIÓN

En un primer momento el proyecto comenzó en Rumania, durante la estancia ERASMUS del autor, en la Academia Naval “Mircea cel Batran” situada en la región costera del mar negro conocida como Tracia, concretamente en la ciudad de Constantza. En esta, se propuso realizar el análisis de una carena mediante diferentes métodos informáticos, sin embargo a lo largo del proyecto aparecieron ciertos problemas relacionados con falta de información del buque en cuestión y conocimiento sobre la utilización de los programas propuestos, lo que hizo modificar muchos puntos del proyecto para justificar todos los pasos y que el proyecto tuviera un peso suficiente para la Universidad Politécnica de Cartagena. A partir de aquí se propuso un nuevo proyecto basado en el anterior con algunas modificaciones.

El proyecto final, el cual se desarrolla en este documento, trata sobre el dimensionamiento y diseño de las formas del buque, así como del análisis de los modelos creados con el objeto de obtener los cálculos de resistencia al avance mediante diferentes métodos. Posteriormente se realiza un estudio de la estabilidad del buque generado para terminar con un análisis de la botadura del buque. Para todo ello se recurre a algunas de las herramientas informáticas actuales que existen en el mercado y que son de uso común en la industria naval.

Los programas informáticos o Software para el diseño como **Maxsurf** y **Rhinoceros** permiten la creación de un modelo en tres dimensiones. Los modelos creados permiten el cálculo de datos necesarios relacionados con la arquitectura naval, el análisis de la carena y simulación del flujo de agua a lo largo de esta, algunos ejemplos de los software que permiten realizar estos cálculos son **ANSYS CFX** y **Tdyn**, estos realizan un análisis del movimiento del fluido alrededor del buque mediante la utilización de los CFDs (Computational Fluid Dynamics). Esto es posible gracias a la capacidad de realizar varias operaciones mediante ordenadores al mismo tiempo, lo que otorga un tiempo de cálculo relativamente corto, permitiendo el cálculo con gran precisión de algunas ecuaciones y métodos que, sin el uso de un ordenador, serían muy tediosos. Los programas matemáticos también pueden ser útiles a la hora de calcular los parámetros relacionados con la arquitectura naval.

Los objetivos principales de este proyecto son los siguientes:

Tomando un buque base ya construido, se desarrolla una descripción de este. Se realizará un dimensionamiento en base a bases de datos buscando una cifra crítica a cumplir por el buque, en este caso es el peso muerto. A continuación se genera un modelado de las formas del buque mediante programas de diseño. Posteriormente se realizará un análisis de estos modelos creados para calcular la resistencia al avance y características del buque en diferentes condiciones de carga.

El proyecto está dividido en cuatro capítulos. El primero de ellos incluye una descripción del buque y los detalles técnicos necesarios para hacer posible este proyecto.

El segundo capítulo trata de dimensionar el buque, es decir, obtener las dimensiones principales, así como coeficientes adimensionales para la generación de formas.

En el tercer capítulo se busca la obtención de unos modelos tridimensionales con los que realizar el análisis.

En el cuarto capítulo se utilizan los modelos generados en el capítulo anterior para realizar los cálculos de la estimación de la resistencia al avance. En este capítulo se utilizarán varios métodos, tradicionales y modernos, para la estimación de la resistencia.

En base a los datos obtenidos en el cuarto capítulo, se selecciona un motor y se dimensionan los diferentes espacios útiles del buque en el quinto capítulo. Además se realizan los cálculos necesarios para la arquitectura y se comprueba que el buque cumple con los principales criterios de estabilidad en las diferentes condiciones de carga.

Por último se realizará un estudio de la botadura mediante un programa de Matlab facilitado por la Universidad Politécnica de Cartagena.

2 DESCRIPCIÓN DEL BUQUE DE CARGA GENERAL

La finalidad de un buque mercante es el transporte de la carga y pasajeros mediante un contrato de “fletamento” por el cual el armador recibe un beneficio a cambio de dicho traslado.

Todo buque destinado al comercio queda proyectado, antes de su construcción, para que reúna las condiciones favorables de acuerdo a la naturaleza, volumen y peso de la carga a conducir, a los fines de que su explotación económica quede satisfecha.

2.1 Definición

Los buques de carga general son conocidos como buques multipropósito. Transportan mercancías diversas, carga general, a granel, contenedores e incluso pueden llevar algún pequeño tanque. Normalmente llevan grúas en el centro para su propia carga y descarga. Hay buques que tienen dispuestas las grúas en los laterales para dejar una cubierta abierta en su totalidad. El buque de carga general está cayendo prácticamente en desuso; se utiliza 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

El buque de carga general se ha adaptado con sus bodegas a productos forestales, siderúrgicos o cargas masivas que hace antieconómico el empleo de contenedores. Se transporta carga de todo tipo, generalmente paletizada, también pueden llevar contenedores sobre cubierta. En la actualidad las bodegas de los buques de carga general tienden a construirse de forma prismática para facilitar las operaciones de carga, descarga y estiba.

2.2 Características generales de un buque de carga general

- Amplias aperturas para la carga.
- Refuerzos para el traslado de carga pesada (incluido hierro/aluminio).
- Bahías de carga equipadas con arreglos de seguridad para contenedores.
- Cubierta superior equipada con arreglos de seguridad para contenedores.
- Tanques especialmente diseñados para carga de mercancía líquida.
- Espacio refrigerado para la carga de perecederos.
- Carga adicional y espacios de carga para pallets.

2.3 Clasificación

La clasificación se puede realizar a tendiendo a diferentes factores, como tipo de carga a transportar, construcción del casco, estructura, etc.

2.3.1 Tipos de carga en función modo de carga

Buques para Carga Sólida o Seca: puede transportar carga seca o sólida, la cual puede ser fraccionada o a granel. Esta embarcación está capacitada para el transporte de carga heterogénea, entre ella, carga que necesita refrigeración o congelación, es decir, tratamiento especial. Cuenta con el equipo necesario para el adecuado manipuleo de la carga.

Fraccionada o suelta: carga que se maneja en sacos, cajas, bultos, pacas, piezas, maquinaria, etc. y que además, forma pequeños lotes para distintos destinatarios.

Carga general unitarizada: agrupación de un determinado número de artículos para formar una unidad de embarque para facilitar su manejo. Por ejemplo pallets.

Buques de Servicio Mixto: transportar diferentes tipos de mercancías. Están equipados con fuentes eléctricas para contenedores frigoríficos, cisternas para líquidos, rampas de acceso para los equipos rodantes, etc. El objetivo principal de este buque, es aumentar la productividad del espacio de la carga mediante la óptima utilización de espacio.

2.3.2 Tipos de carga

Constituida por el conjunto de mercancías, materias primas, artículos elaborados, pasajeros y correo, que es capaz de transportar un buque mercante.

- Cargas Alimenticias
- Carnes, Cereales, Frutas frescas, Frutas envasadas, Frutas Secas, Alimentos Varios.
- Cargas Combustibles
- Carbones, Aceites Vegetales, Aceites Animales y Aceites Minerales.
- Cargas de Materias Primas
- Fibras, Maderas, Minerales, Textiles, Varios.
- Cargas Manufacturadas
- Maquinarias en General, Vigas, Planchas, Tornos, Artículos Textiles, Lubricantes.
- Cargas, Artículos de Lujo
- Muebles, tapetes, cuadros, pieles animales, pieles, animales, mascotas, etc.
- Pasajeros
- De cámara, turismo, oficial, inmigrantes.
- Correo
- Correspondencia, paquetes, postales.

2.3.3 Particularidades de la mercancía a transportar

Las particularidades de cada viaje dependen, en parte, de las mercancías cargadas y por tanto sus características que influyen en el proceso de transporte. El tratamiento dado a las mercancías sólidas se realiza considerando en primer lugar un procedimiento general para todas ellas, debido a su estado sólido, y en segundo término seguir otro procedimiento, normalmente específico y particular para cada producto. Se deberá tener en cuenta que las diferencias serán ostensibles dependiendo de si se trata de la manipulación de granel o mercancías sólidas.

Las mercancías sólidas a granel son transportadas en grandes cantidades y su manipulación implica el conocimiento de sus características para aplicar las normas de seguridad que eviten riesgos durante las operaciones que con ellas se efectúen y durante el transporte de las mismas. Las diferencias entre las mercancías sólidas a granel pueden ser grandes, por ejemplo entre un cargamento de mineral de hierro, una carga de grano o un cargamento de madera, por lo cual la forma en que deben ser tratadas para poder cumplir los objetivos de la estiba y mantener la integridad del buque durante el transporte es muy diferente.

Respecto a las mercancías sólidas envasadas, se consideran dos casos: los pequeños bultos o cajas que son manejados individualmente en pequeñas cantidades y suelen contener mercancías peligrosas, o el caso de mercancías envasadas en sacos o

cajas, que son agrupadas en paletas, estibadas en el interior de contenedores. Posiblemente la diferencia más importante entre las mercancías envasadas y a granel es que el envase/embalaje que contiene a la mercancía permite que se coloquen marcas y etiquetas que ayuden a la identificación del producto y proporcionan una ayuda para poder realizar una manipulación segura.

En las siguientes figuras se presentan varios ejemplos de mercancías sólidas a granel y envasadas, que pueden ser estibadas en los espacios de carga del buque que reúnan las condiciones exigidas para cada caso. Por ejemplo, las bobinas y los sacos podrán ubicarse en las bodegas, pero el carbón es conveniente estibarlos en bodegas cuyos mamparos sean lisos para facilitar las labores de descarga y limpieza cuando haya que cambiar de carga.

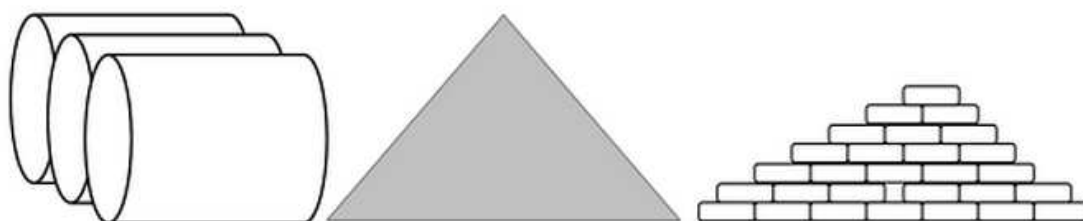


Figura 1. Bobina · Pila de carbón · Sacos de cereales

Una característica destacable respecto a la manipulación de las mercancías sólidas es que en las operaciones de carga y descarga se pueden utilizar equipos que estén, a bordo y sean manejados por la tripulación o por personal de tierra.

2.3.4 Tipos de construcción del casco

Buque con tres superestructuras (Three-Island Type Vessel): tiene tres superestructuras sobre la cubierta (castillo, ciudadela y toldilla), y dos pozos, uno entre el castillo y la ciudadela y otro entre la ciudadela y la toldilla.

Buque de cubierta corrida (Flush-Deck Type Vessel): no tiene superestructura sobre la cubierta. Su cubierta principal se extiende a lo largo de toda la eslora del buque.

Buques con cubierta de abrigo (Shelter-Deck Vessel): la cual se extiende de proa a popa, reparada por una cubierta superior secundaria, sin castillo ni toldilla.

Buque con una cubierta de pozo (Single Well-Deck Vessel): poseen un espacio adicional de carga. Puede ser que la cubierta de castillo se una con la ciudadela, y también que sea la ciudadela la que se una con la popa o toldilla.

Buque de cubierta levantada (Raised Quarter-Deck Vessel): la cubierta más alta de popa ha sido elevada con el deseo de compensar la pérdida de espacio ocupado por el túnel de las líneas de los ejes. Este tipo de construcción se usa solo en barcos costeros.

2.3.5 Tipo de estructura

Buques de Carga General: buques cuyo casco está dividido interiormente por mamparas verticales en varias bodegas, subdivididas horizontalmente por entrepuente, provistas de escotillas para permitir el acceso de carga a sus bodegas. Muchos de ellos tienen bodegas refrigeradas para llevar productos perecederos. Poseen elementos de auto carga/descarga.

Buques multipropósito: llamados cargueros polivalentes, en este tipo se incluyen los "semi-full container". Muchas compañías de línea utilizan este tipo de buque por su

versatilidad, capaz de llevar al mismo tiempo carga general fraccionada, paletizada, a granel, tambores, fardos y contenedores, con entrepuentes abatibles, de modo que puede convertirse también en granelero o mineralero.

2.4 Estiba

Arte de ubicar a bordo de un buque las mercancías que constituyen la carga. Los factores que deben tenerse en cuenta (volumen, peso, destino, tipo de carga), evitarán posteriores problemas de corrimientos de la estiba.

Principales objetivos a perseguirse para una buena estiba:

- Realizar la operación, teniendo en cuenta de proteger al buque y a sus tripulantes, de daños y/o averías.
- Estibar la mercancía manteniéndola al cubierto de daños y/o averías por derrames, roturas, robos, etc.
- Estibar la mercancía aprovechando el máximo de espacio disponible para la misma y cargando el máximo de peso para colocar el buque en el calado de máxima carga.
- Efectuar la operación de carga en el mismo tiempo, a los efectos de reducir gastos de estibadores y horas extraordinarias de trabajo.
- Cargar de modo que las mercancías destinadas a diferentes puertos se hallen ubicadas en forma tal, que su descarga se realice sin inconvenientes y tan pronto como el buque se halle en el lugar de la descarga.

2.4.1 Planos de Carga

Constituidos por croquis longitudinales del buque en que se indican exclusivamente los espacios reservados para la carga. Al ir embarcando la mercancía se la va ubicando en dicho plano, en el lugar de su estiba, ocupando un espacio proporcional a su volumen. En el croquis correspondiente a la mercancía se pondrán detalles concernientes a la misma, naturaleza, marca, número, cantidad, peso, volumen, etc.

Luego con colores se van marcando los croquis de mercancías destinadas a un mismo puerto o diferenciando partidas de cargas de igual naturaleza, a los efectos de que visualmente se tenga noción de las partes de bodegas ocupadas por las mismas y sus volúmenes.

2.4.2 Carga de relleno

Usada para ocupar los espacios remanentes entre los bultos de una bodega.

Está compuesta por mercancía de pequeño volumen, de escaso valor, que paga un flete reducido con respecto a otras cargas y que por su naturaleza, puede ser estibada suelta, separada, sin causar daño y sin recibir averías entre los artículos, que complementa en sus espacios remanentes. Entre estos tipos de carga se pueden mencionar los rollos de alambre de púa, ciertos productos envasados, huesos, restos de maderas, etc.

2.4.3 Pérdida de Estiba

Los espacios remanentes en una bodega constituyen la pérdida de estiba. Se tiene como consecuencia de una mala estiba, de la conformación irregular de la bodega, de los elementos constructivos de la misma, y de las características irregulares del formato

de la mercancía. Lo que se debe hacer para subsanar este factor antieconómico es confeccionar un buen plan de estiba de acuerdo a la mercancía a cargar y al buque tratando de eliminar la mayor cantidad posible de trabas e irregularidades constructivas de la bodega, sin dejar volúmenes desaprovechados.

2.4.4 Factores a tener en cuenta en la disposición de la mercancía

Según su naturaleza: indispensable saber cuál es la característica principal de la mercancía. Disposición interna de la mercancía, en general, puede establecerse de la siguiente manera: colocando en bodegas los pesos mayores; en los entrepuentes bajos, pesos grandes y carga de relleno en general; y, finalmente, en los entrepuentes altos la mercancía de volumen.

Según la sucesión en la descarga: A los efectos de evitar remoción de carga al llegar a un puerto intermedio, para descargar un determinado producto, es necesario antes del embarque del mismo ubicarlo en forma tal, que se pueda desembarcar sin remociones de importancia y con la seguridad de que el buque quede con estabilidad necesaria y su calado equilibrado.

Requisitos inherentes a las cualidades de estabilidad: Los huecos obligados de la estiba pueden producir corrimientos y roturas de envases, con el balanceo y cabeceo del buque.

Hay que evitar una inadecuada distribución vertical de pesos (balanceo).

Evadir una impropia repartición de pesos en el sentido longitudinal (estabilidad y equilibrio).

Tampoco es conveniente colocar demasiado peso en los fondos de bodega; la consecuencia es la posición de un centro de gravedad demasiado bajo (balanceo duro y peligroso).

Si se distribuyera demasiado peso en los entrepuentes o superestructura, daría como consecuencia, balanceos amplios, períodos de balance grandes, quedando el buque dormido ante los embates laterales de las olas.

Demasiado peso a proa o popa desequilibrarían el calado y da como resultado un mal gobierno y esfuerzos de torsión.

2.4.5 Preparación de la bodega

Las bodegas deben ser limpiadas íntegramente, baldeadas, barridas, secadas y a veces desinfectadas.

Se barren todos los residuos de mercancías. La basura es izada a cubierta mediante chinguillos de lona.

Si la bodega ha contenido cargas las cuales han dejado manchas o polvos en el piso, mamparos, techos, serretas, etc., se debe realizar un baldeo con agua dulce.

Se barrerán los restos de agua y para eliminar la humedad restante se echará aserrín y polvo de cal.

Finalmente se recogerán el aserrín y el polvo de cal para evitar perjuicios a la futura carga.

La meticulosidad en la limpieza va a depender de la carga a embarcar, pues no es lo mismo cargar granos o comestibles que maquinarias.

Si se han de embarcar mercancías que no pueden permanecer en ambientes húmedos se pondrán todos los ventiladores en funcionamiento con el objetivo de secado rápido.

La madera de estiba se separará entre buenas condiciones y malas condiciones. Las de buenas condiciones se apilarán en un costado y la de malas condiciones será desechada.

La bodega deberá ser desinfectada si se llegara a notar la presencia de roedores u otros insectos.

2.5 Manipulación de la carga (manipuleo)

Acción de mover la carga en los distintos lugares por donde ésta deberá pasar (fábrica, terminales, almacenes), así como cargarla y descargarla del o los vehículos que habrán de trasladarla a su destino.

2.5.1 Tipos de manipuleo según la carga

Existen diversos métodos de manipuleo, que dependen del tipo y naturaleza de la carga.

A) Manipuleo según tipo de carga.

- Carga General

La carga suelta se manipula y embarca como unidades separadas. Son transportados tradicionalmente por buques de línea pequeños que, dadas las características de esta carga, pasan parte importante de su tiempo en los puertos en el proceso de carga y descargue. El buque de carga general tiene grúas para facilitar el manipuleo de la carga. Los productos de gran volumen son acomodados generalmente sobre cubierta, puesto que la dimensión de las escotillas impide su ingreso al interior de la bodega. Los productos pesados se manejan con grúas especiales.

- Carga a Granel

Los graneles sólidos o secos y líquidos requieren poco manipuleo, movilizándose hacia los vehículos de transporte en bandas transportadoras y ductos respectivamente, empujados por bombeo o succión, cucharones y otros elementos mecánicos.

B) Manipuleo según naturaleza de carga

- Carga Perecedera

Requiere un manipuleo normal, pero teniendo cuidado de elementos tales como el control de la temperatura y las condiciones climáticas.

- Carga Frágil

Manipuleo muy cuidadoso. El tamaño, forma y espesor del embalaje externo pueden incidir en el nivel de riesgo. Son esenciales para el manipuleo en este caso los rótulos o marcas del embalaje que indican la fragilidad de la carga.

- Carga Peligrosa

Sometida a regulaciones internacionales muy estrictas en cuanto a su manipuleo. En la Unión Europea, cada modo tiene sus normas para el manipuleo, embalaje, rotulación, almacenaje y transporte de productos peligrosos. Exigen una estiba y trinca más cuidadosa que cualquier otro tipo de carga. Debe tenerse cuidado al embarcar carga

peligrosa junto con otros productos. Antes de estibar asegúrese que los productos en cuestión son compatibles. Deben ubicarse de manera que sean accesibles.

2.5.2 Accesorios para la segregación de carga.

El accesorio principal para la estiba de mercaderías en las bodegas es la “madera de estiba”. Se suele usar tablas y/o tablones de madera de bajo precio para soportar y aislar mercancías:

Evita el movimiento de la carga y su corrimiento, acuñando y trabando todo bulto. Evitar el contacto de la mercadería con lugares húmedos o mojados y proporciona aireación a mercaderías.

Para tipos de cargas delicadas y limpias suelen emplearse las “arpilleras y las lonas”. Ejemplo: luego de un cargamento de maíz a granel, es posible, cuando queda espacio libre en su parte superior, hacer un piso doble con bolsas de maíz y sobre este colocar arpilleras o lonas permitiendo, que se pueda cargar sobre ella, otra clase de granos.

2.5.3 Papel “tipo Kraft”

Se emplea entre cargas que puedan afectarse entre sí con sus polvos, suciedades y humedad. Este papel se lo puede obtener de ancho y largo suficiente para lo que requiera la necesidad. Su alta calidad hace que se lo pueda emplear con mercaderías que emanen olores, sin permitir que estos lleguen a afectar a otros.

2.6 Elementos de Carga/Descarga

2.6.1 Aparatos y accesorios de estiba

Roldanas: son las ruedas de madera o metal sobre cuya periferia puede laborear un cabo. El espacio comprendido entre la roldana y la parte alta de la cajera (cuerpo) se llama garganta.

Motones: poleas por donde pasan los cabos para hacerlos cambiar de dirección. Pueden ser de madera o metálicos. Se llaman motones cuando tienen una sola roldana y cuadernales cuando tienen dos o más.

Cuadernales: Así se denomina al conjunto de poleas paralelas de la misma armadura. En la práctica se denominan cuadernales los motones de dos o más cajeras. Los cuadernales de madera se clasifican por su longitud, mena o perímetro. Los metálicos por la mena de los cabos que laborean por ellos.

Pastecas: Especie de motón pero fijo por uno de sus lados al mástil. Se llama así a un tipo especial de motón, que puede abrirse para colocar un cabo.

Ostas: aparejos sencillos formados por un cuadernal de dos motones.

Amante: Nombre genérico de todo cabo de gran resistencia firme por un extremo al penel de una percha y por el otro a un aparejo.

Amantillo: cabo o cable que sirve para sostener la botavara, el tangón o alguna otra percha.

Plumas: son perchas de metal o madera, que se emplean como puntales para izar pesos. Poseen el tamaño y resistencia adecuados. El largo de las mismas está en relación directa con el tamaño de la escotilla. Las plumas normales de un buque carguero poseen una capacidad de carga de seguridad de alrededor de 5Tn. Suelen haber abordo otras

para izar mayores pesos, pudiendo llegar a una capacidad de seguridad de 30, 40, 50 y más toneladas.

2.6.2 Utilillaje portuario empleado en carga/descarga

Durante muchos años se han venido usando los cabos de fibra vegetal para estrobar las izadas y subir las mercancías a bordo o descargarlas. Posteriormente, fueron apareciendo otros accesorios y elementos como redes estrobos y eslingas.

Ganchos de mano: se utilizan para la manipulación de grandes cajas de alambres espinosos y de toda mercancía cuyo contacto sea perjudicial para los seres humanos.

Barras, pies de cabra y espeques de madera: manejo de hierros y laminados (barras), raíles y envases pesados (pies de cabra), barrilería, cajerío y rollos de papel (espeques), picos y martillos automáticos, para el desmenuzado de determinados cargamentos a granel que pudieran haberse endurecido durante la travesía.

Varaderas: defensas de madera que se disponen al costado del buque para protegerlo contra el roce o choque de mercancías que puedan dañarlo.

Separaciones: arpilleras, lona o madera, que se disponen entre mercancías que pueden mezclarse o averiarse si entran en contacto unas con las otras.

Arcadas: mamparos longitudinales que se disponen en las bodegas para impedir el corrimiento de la carga a granel.

Toros: grúas para la manipulación de la carga paletizada, fardos, saqueríos, etc.

2.7 Averías en las cargas

En general todas ellas son previsibles y deben ser conocidas por el personal encargado de la carga, para que no ocurran.

2.7.1 Tipos de averías

Los tipos de averías pueden ser causados por los siguientes factores:

1. En las operaciones de carga y descarga
2. Por escoriación, golpes, fricciones y rozamientos.
3. Por mal embalaje.
4. Por aplastamiento de la mercancía.
5. Por acción de polvos, contaminaciones y manchas.
6. Por derrame de líquidos.
7. Por mezcla de cargas.
8. Por humedad y aumento de peso.
9. Por altas temperaturas y calor.
10. Debido al frío excesivo.
11. Por falta de ventilación.
12. A causa del fuego.
13. Debido a roedores y otros insectos.
14. Por vicio propio de la mercancía en cargas peligrosas.

2.7.2 Daños ocasionados por la humedad en la carga y modo de evitarla

Tener en cuenta el grado de humedad de la carga, especialmente cuando se tratan de productos vegetales o animales. Si la carga está suficientemente seca no requiere ventilación, a menos que produzca olores dañinos.

Realizar la estiba de mercaderías que requiere ventilación con madera de estiba la cual permitirá el ingreso de aire seco.

Proporcionar ventilación adecuada a la bodega y a su carga, cuando sea necesario.

3 DESCRIPCIÓN DEL BUQUE BASE DE ESTUDIO

El buque elegido es el NAVITA, es un buque de carga general construido en 1984 en Kingstown. Actualmente su bandera es de *San Vicente y las Granadinas* y su número IMO es **8324737**.

Es un barco preparado para el transporte de cualquier tipo de carga en cualquier tipo de contenedor como se puede apreciar en las Figuras 1, 2, 3 y 4. Las características más importantes del buque son las siguientes:

- Tres bodegas
- Dos grúas para carga, descarga y movimiento de la carga y contenedores
- La cámara de máquinas y la superestructura están situadas en popa
- El puente tiene suficiente altura para colocar contenedores sobre la cubierta

3.1 Dimensiones principales

- Eslora total	LOA = 108,80 m
- Eslora entre perpendiculares	L_{pp} = 101,60 m
- Eslora en la línea de flotación	L_{wl} = 104,00 m
- Manga	B = 15,8 m
- Puntal	D = 8,70 m
- Calado	T = 6,70 m

3.2 Principales relaciones dimensionales

Relación eslora/manga (L_{WL}/B): está directamente relacionado con la resistencia al avance y a potencia propulsora necesaria, a mayor valor de esta relación mayor resistencia friccional, menos resistencia de origen viscoso y menor resistencia por formación de ola. También está relacionado con la maniobrabilidad del buque. Por lo tanto se debe encontrar entre 4 y 14:

$$L_{WL} / B = 5,59$$

Relación eslora/puntal (L_{WL}/D): esta relación tiene influencia sobre la resistencia longitudinal del buque y debe tomar un valor de 9 a 15:

$$L_{WL} / D = 11,95$$

Relación manga /puntal (B/D): está relacionado con la estabilidad porque el KG depende del puntal y el KM depende de la manga, los valores deben estar comprendidos entre 1.3 y 3:

$$L_{WL} / D = 11,95$$

Relación puntal/calado (D/T): este guarda relación en lo referente al francobordo del buque, debe estar regulado por la convención de líneas de carga, y para este tipo de buques suele estar entre 1.05 y 2:

$$L_{WL} / D = 11,95$$

4 IMÁGENES DEL BUQUE



Figura 2. Navita en condición de lastre.



Figura 3. Buque Navita en carga de madera.



Figura 4. Buque Navita transportando contenedores.



Figura 5. Vista de la aleta de babor del buque navita.

5 DETALLES TÉCNICOS DEL BUQUE A ESTUDIAR

5.1 Capacidad

Las características de transporte son las siguientes:

- Peso muerto	5537 t
- Capacidad de carga granel	6420 m ³
- Capacidad de carga general	5898 m ³
- Carga sobre cubierta	585 t
- Número de bodegas	3
- Número de escotillas de bodega	3
- Tripulación	14

5.2 Materiales de construcción

La construcción del cuerpo del buque, para esloras mayores de 40 metros, normalmente se realiza con materiales del tipo acero naval con un límite de elasticidad superior a 235 N/mm².

5.3 Configuración de la estructura

Este buque tiene un sistema de entramado combinado, la estructura es una combinación de configuración longitudinal con transversal, es la típica configuración para buque de carga seca, tanqueros y bulk-carriers con una longitud menor de 180 metros de eslora, estos requieren algunas medidas para asegurar la resistencia longitudinal del buque al momento flector.

Este tipo de estructura se caracteriza por el hecho de que los suelos alejados del eje neutro (fondo, doble fondo y cubierta principal) son construidos en configuración longitudinal y los suelos cercanos al eje neutro se construyen con una estructura transversal.

5.4 Maquinaria y generador diesel

El motor principal y los generadores diesel del buque son los siguientes:

- Tipo de motor	Warsila dos tiempos
- Principio operacional	Dos tiempos de efecto simple reversible
- Número de cilindros	5
- Potencia	2206 kW (3000 HP)
- Velocidad de motor	215 rpm
- Velocidad del buque	14 kn – 7.2016 m/s
- Generadores	2 x 160 100 kW, 400 V, 50 Hz
- Autonomía	4500 millas

CAPÍTULO II – DIMENSIONAMIENTO

CAPITULO II – DIMENSIONAMINETO

Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	5
2	DEFINICIÓN DE UNA BASE DE DATOS	7
3	ESTIMACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO A PARTIR DEL PESO MUERTO MEDIANTE FÓRMULAS	9
3.1	Estimación preliminar del desplazamiento en función del Peso Muerto mediante fórmulas semi-empíricas.....	9
3.2	Estimación preliminar del desplazamiento en función del Peso Muerto mediante regresiones lineales referidas a la base de datos	11
4	ESTIMACIÓN DE PRINCIPALES DIMENSIONES A PARTIR DE FÓRMULAS EN FUNCIÓN DEL PESO MUERTO.....	12
4.1	Fórmulas de Proyecto Básico del Buque Mercante, Meizoso 2004.	12
4.2	Fórmulas adicionales (Papanikolau 2014).....	13
4.2.1	Estimación de la eslora.....	13
4.2.2	Estimación del resto de dimensiones principales	15
5	ESTIMACIÓN DE PRINCIPALES DIMENSIONES A PARTIR DE LA BASE DE DATOS	18
5.1	Cálculo de la eslora total.....	18
5.1.1	Cálculo de la eslora total a partir del peso muerto	18
5.1.2	Cálculo de la eslora total a partir del desplazamiento	18
5.2	Cálculo de la eslora entre perpendiculares.....	19
5.3	Cálculo de la manga.....	20
5.3.1	Cálculo de la manga a partir del peso muerto	20
5.3.2	Cálculo de la manga a partir de la eslora.....	20
5.4	Cálculo del puntal del buque.....	21
5.4.1	Cálculo del puntal a partir del peso muerto	21
5.4.2	Cálculo del puntal a partir de la eslora	22
5.5	Cálculo del calado del buque	22
5.5.1	Cálculo del calado a partir del peso muerto	22
5.5.2	Cálculo del calado a partir de la eslora.....	23
6	RESUMEN DE LOS VALORES OBTENIDOS LOS DIFERENTES MÉTODOS	24
7	Estimación del coeficiente de bloque C_B	25

8	CÁLCULO DE LA CIFRA DE MERITO	28
8.1	Introducción	28
8.2	Coste de construcción del buque a estudio	28
8.2.1	Coste de construcción de los materiales a granel	29
8.2.2	Coste de los equipos y de su montaje (Meizoso, 2004).....	30
8.2.3	Coste de la mano de obra (Meizoso, 2004)	32
8.2.4	Otros costes aplicados (Meizoso, 2004).....	33
9	GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS	34
10	SELECCIÓN DEL BUQUE ÓPTIMO	36

FIGURAS

Figura 1. Regresión lineal Peso Muero – Desplazamiento.....	11
Figura 2. Regresiones lineales de dimensiones en función del peso muerto.....	12
Figura 3. Regresión lineal Peso Muerto – Eslora total.....	18
Figura 4. Regresión lineal Desplazamiento – Eslora total.....	19
Figura 5. Regresión lineal Peso Muerto – Manga.....	20
Figura 6. Regresión lineal Eslora Total – Manga.....	21
Figura 7. Regresión lineal Peso Muerto – Puntal.....	21
Figura 8. Regresión lineal Eslora Total – Puntal.....	22
Figura 9. Regresión lineal Peso Muerto – Calado.....	22
Figura 10. Regresión lineal Eslora Total – Calado.....	23
Figura 11. Coeficiente de bloque frente al Número de Froude.....	26
Figura 12. Regresión Potencia-Peso Muerto.....	31

TABLAS

Tabla 1. Base de datos obtenida de diferentes páginas Web y Navieras compuesta por 23 buques.....	8
Tabla 2. Tamaños típicos y porcentajes de grupos de peso para los principales tipos de buques (compilación de datos de Strohbucsch (1971), Schneekluth (1985), actualizado por Papanikolau usando IHS Fairplay Worldshipping Encyclopedia, v.12.01, 2011). <i>WL</i> peso en rosca, <i>WST</i> peso de acero del buque, <i>WOT</i> peso del equipamiento, <i>WM</i> peso de la maquinaria.....	10
Tabla 3. Valores de desplazamiento y volumen de carena obtenidos tras el cálculo.....	10
Tabla 4. Rango de valores de las dimensiones principales del buque.....	13
Tabla 5. Rango de valores obtenidos para la eslora mediante la fórmula del coste mínimo de construcción (Schneekluth, 1985).....	14
Tabla 6. Resumen de los rangos para la eslora entre perpendiculares (L_{pp}) y eslora en la flotación (L_{wl}) obtenidas mediante diferentes fórmulas estadísticas.....	15
Tabla 7. Media de los valores obtenidos de eslora entre perpendiculares (L_{pp}) y eslora en la flotación (L_{wl}).....	15
Tabla 8. Coeficientes de forma del casco y relaciones de dimensiones principales para buques mercantes (síntesis de datos originales por Strohbushch, 1971, actualizado por Papanikolau utilizando la “ <i>IHS Fairplay WorldShipping Encyclopedia, v.12.01, 2011</i> ”)......	16
Tabla 9. Rango de valores posibles para la manga del buque B.....	17
Tabla 10. Rango de valores estimados para puntal y calado.....	17
Tabla 11. Buques para la relación LOA – L_{pp}	19
Tabla 12. Resumen de las dimensiones y coeficientes estimados.....	24
Tabla 13. Resumen de las relaciones entre dimensiones.....	24
Tabla 14. . Coeficientes de fórmulas semi-empíricas para el cálculo de C_b	25
Tabla 15. Resumen de valores obtenidos en los diferentes métodos de estimación de coeficiente de bloque.....	27
Tabla 16. Valores para iniciar el cálculo de la cifra de mérito.....	28
Tabla 17. Base de datos para estimar potencia.....	31
Tabla 18. Buque de partida para alternativas.....	34
Tabla 19. Rango de relaciones.....	34
Tabla 20. Alternativa seleccionada.....	36

1 INTRODUCCIÓN

Debido a la falta de planos del buque a estudiar se deben obtener las formas del buque de una de las siguientes maneras. Existen **cuatro procedimientos** para llevar a cabo el **trazado de las formas** de un buque:

- Derivación de formas, a partir de un buque considerado bueno para los criterios de proyecto.
- Generación de formas, a partir de los parámetros principales el buque como eslora, manga, calado y puntal, además del coeficiente de bloque.
- Series sistemáticas (desarrolladas por canales de experiencias y astilleros)
- Optimización de formas empleando una cifra de merito, desarrollado en este capítulo.

El requerimiento que se tomará como principal es la capacidad de transporte, este se define en el primer capítulo como peso muerto teniendo un valor en torno a la del buque base de **5537 t**. Será muy complicado llegar a esa cifra exacta por lo que acotaremos esta cifra en un rango de 500 t con límites en **5250 t - 5750 t**. La velocidad de servicio se establece en **14 kn**.

Se debe conocer las dimensiones aproximadas de un buque que pueda transportar esta cantidad de mercancía. En concreto el desplazamiento para poder comenzar a realizar un cálculo del resto de dimensiones.

Para ello se recurre a los procedimientos que utiliza la ingeniería naval en nuestros días para la aproximación a las dimensiones principales de un buque de nueva construcción, todos ellos basados en la experiencia:

- Estudio estadístico particular: Elección de una base de datos de buques, obtenida en diferentes páginas de internet de venta de buques y algunas navieras que posean unas características similares al buque proyecto.
- Rectas de regresión: Las obtenidas en función del peso muerto relacionando las distintas dimensiones de los buques de la base de datos, para conseguir una regresión lineal cuyo coeficiente de relación sea $R^2 \geq 0,6$. Para lograr tener un coeficiente de relación válido, se eliminarán aquellos buques en cada regresión que alteren los resultados.
- Cifra de merito: La cifra de mérito, será la herramienta que usaremos para seleccionar, de entre todas las alternativas generadas, la más favorable, por lo tanto dicha cifra ha de expresar criterios puramente financieros. En nuestro caso nos situaremos bajo el punto de vista del astillero por lo que el criterio que nos hará decidirnos por una u otra alternativa será el coste de construcción, de manera que éste será nuestra cifra de mérito.
- Dimensiones del “buque proyecto”: Se hará una reflexión sobre los procedimientos anteriores para la elección final de las dimensiones principales del buque proyecto

En este apartado del proyecto se realizará una determinación de las principales dimensiones del buque (Eslora, manga, calado y puntal), continuando con la estimación del desplazamiento del buque y la selección de otros conceptos básicos para el diseño del buque además de características referidas a las formas del casco requeridos en la primera fase del diseño de un buque, completando el diseño conceptual de este. El proceso de selección está basado en datos estadísticos y fórmulas empíricas, tablas y diagramas de diseño que permiten la aplicación directa al diseño individual del buque.

2 DEFINICIÓN DE UNA BASE DE DATOS

Se analizará una muestra de cargueros polivalentes, de peso muerto entre 3000 y 9500 t, de cubierta corrida. La velocidad de estos buques aumenta con el tamaño y el Número de Froude varía entre los valores 0,17 y 0,23. De esta muestra de cargueros se han deducido por regresión, las dimensiones eslora total, manga, puntal a la cubierta superior y calado de francobordo, en función del peso muerto.

Los datos incluidos en la relación de buques son los siguientes:

- L_{oa} : Eslora total (m)
- B: Manga (m)
- T: Calado de diseño (m)
- D: Puntal (m)
- DW: Toneladas de peso muerto (t)
- Desplazamiento: Desplazamiento flotando en agua salada ($\rho=1,025 \text{ t/m}^3$) en (t)
- Velocidad: Velocidad del buque (nudos)
- FN: Número de Froude
- C_b : Coeficiente de bloque
- $V_{bodegas}$: Volumen de bodegas (m^3)

Buque	Año de Construcción	LOA (m)	B (m)	D (m)	T (m)	Desplazamiento (t)	DW (t)	Velocidad (kn)	FN	Cb	V _{bodegas} (m3)
Oslo Carrier	2010	107	18,2	10,5	8,05	12842	9302	11	0,17	0,8	12120
OSLO Bulk	2008	108,2	18,2	-	7,057	11069	8030	11,4	0,18	0,78	10244
M/V Roelof	1992	107,43	19	10,6	8,27	-	7912	-	-	-	9660
NB-21	-	112	16	8,9	6,8	8675	7500	13,2	0,2	0,69	-
NB-21	-	112	16	8,6	7	8675	7500	13,2	0,2	0,67	-
M/V OceanEnergy	1998	126,84	20,49	-	7,1	9879	7200	12	0,17	0,52	9600
M/V Ocean Lord	1999	126,84	20,19	-	7,1	9895	7200	12	0,17	0,53	9627
CLS Clyde	1996	99,95	17	8,7	6,76	9339	6907	11	0,18	0,79	-
SRC225	1996	140	16,5	6,7	5,9	8917	6207	10	0,14	0,64	-
SRC 230	-	140	16,65	6,7	5,72	8595	5885	-	-	0,63	-
AssencharAasheim	-	107,5	15,3	9,15	6,338	-	5752	13	0,21	-	7996
Mv Kan 2	-	103,7	16	8,65	6,5	7465	5650	12,5	0,2	0,68	-
Mv Kan 2	-	103,7	16	8,65	7	7465	5650	12,5	0,2	0,63	-
Navita	1984	108,8	15,8	8,7	6,7	-	5537	14	0,23	-	-
General Cargo	1983	111	16,6	-	5,25	6358	5215	14	0,22	0,64	-
Single decker	1999	96,9	15,8	7,4	5,9	6674	5125	12	0,2	0,72	-
Single decker	1999	96,9	15,8	7,4	5,16	5165	4350	12	0,2	0,64	-
M/S Lammy	2000	94,7	13,4	-	5,69	-	4092	13,5	0,23	-	5500
Dry Cargo	-	96,3	13,6	6,7	4,67	5600	3835	-	-	0,89	4795
M/S Patria	1995	82,38	12,5	-	5,7	-	3519	12	0,22	-	4249
Dry Cargo	-	96,3	13,6	6,7	4,67	4535	3455	-	-	0,72	-
M/S Aspen	2000	82,5	12,4	-	5,3	-	3171	12	0,22	-	4754
M7S Skagern	2000	82,5	12,4	-	5,3	-	3000	12	0,22	-	4754

Tabla 1. Base de datos obtenida de diferentes páginas Web y Navieras compuesta por 23 buques.

3 ESTIMACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO A PARTIR DEL PESO MUERTO MEDIANTE FÓRMULAS

3.1 Estimación preliminar del desplazamiento en función del Peso Muerto mediante fórmulas semi-empíricas.

Para buques de peso muerto (PM), los cuales se caracterizan por el transporte de cargas relativamente pesadas (cargas con bajo coeficiente de estiba), pero también para todos los tipos de buques con suficientes datos comparativos del desplazamiento, el diseño preliminar comienza con la estimación del desplazamiento (Δ) del buque en cuestión.

Para buques de peso muerto es posible estimar Δ para un peso muerto dado, el cual es requisito fundamental del buque. Algunos caminos típicos para la estimación del desplazamiento son los siguientes:

- a. Utilizando relaciones PM/ Δ para este tipo de buque como se muestra en la Tabla 2.
- b. Usando fórmulas matemáticas semi-empíricas desde la estadística o análisis de regresiones de bases de datos de buques similares.
- c. Utilizando diagramas específicos, por ejemplo (PM/ Δ) frente (PM) y/o (Velocidad)

Ship type	1	2	3	4	5	6
	Limits		DWT/ Δ (%)	W_{ST}/W_L (%)	W_{OT}/W_L (%)	W_M/W_L (%)
	Lower	Upper				
General cargo ships (t DWT)	5,000	15,000	65–80	55–64	19–33	11–22
Coasters, cargo ships (GRT)	499	999	70–75	57–62	30–33	9–12
Bulk carriers ^a (t DWT)	20,000	50,000	74–85	68–79	10–17	12–16
	50,000	200,000	80–87	78–85	6–13	8–14
Tankers ^b (t DWT)	25,000	120,000	78–86	73–83	5–12	11–16
	200,000	500,000	83–88	75–88	9–13	9–16
Containerships (t DWT)	10,000	15,000	65–74	58–71	15–20	9–22
	15,000	165,000 ^c	65–76	62–72	14–20	15–18
Ro-Ro (cargo) (t DWT)	$L \cong 80$ m	16,000 t DWT	50–60	68–78	12–19	10–20
Reefers ^d (ft ³) of net ref. vol.	300,000	500,000	45–55	51–62	21–28	15–26
Passenger Ro-Ro/ferries/ RoPax	$L \cong 85$ m	$L \cong 120$ m	16–33	56–66	23–28	11–18
Large passenger ships (cruise ships)	$L \cong 200$ m	$L \cong 360$ ^e m	23–34	52–56	30–34	15–20
Small passenger ships	$L \cong 50$ m	$L \cong 120$ m	15–25	50–52	28–31	20–29
Stern Trawlers	$L \cong 44$ m	$L \cong 82$ m	30–58	42–46	36–40	15–20
Tugboats	$P_B \cong 500$ KW	3,000 KW	20–40	42–56	17–21	38–43
River ships (towed)	$L \cong 32$ m	$L \cong 35$ m	22–27	58–63	19–23	16–21
River ships (self-propelled)	$L \cong 80$ m	$L \cong 110$ m	78–79	69–75	11–13	13–19

Tabla 2. Tamaños típicos y porcentajes de grupos de peso para los principales tipos de buques (compilación de datos de Strohbusch (1971), Schneekluth (1985), actualizado por Papanikolaou usando IHS Fairplay Worldshipping Encyclopedia, v.12.01, 2011). WL peso en rosca, WST peso de acero del buque, WOT peso del equipamiento, WM peso de la maquinaria.

En el caso que atañe a este proyecto, el tipo de buque esta en el primer grupo y muy cerca del límite inferior de peso muerto por lo que se realizará una interpolación lineal para obtener un rango en el que se debe encontrar el desplazamiento del buque. Además se calculan las relaciones entre pesos de acero, equipos y maquinarias entre el peso del buque en rosca. La siguiente tabla muestra los valores obtenidos:

	Mín.	Máx.
PM (t)	5250	5750
PM/ Δ (%)	65,4	66,1
W_{st}/W_l (%)	55,2	55,7
W_{ot}/W_l (%)	19,4	20,1
W_m/W_l (%)	11,3	11,8
Δ (t)	8030,6	8695,7
∇ (m ³)	7827,9	8476,1

Tabla 3. Valores de desplazamiento y volumen de carena obtenidos tras el cálculo.

Se puede decir que el buque tendrá un desplazamiento (Δ) comprendido en estos dos valores, 8030,6-8695,7 t, el volumen de carena (∇) se obtiene dividiendo por la

densidad del fluido donde flotará que para este caso es de $1,026 \text{ t/m}^3$, por lo que el volumen de carena se encuentra entre estos valores: $7827,9 - 8476,1 \text{ m}^3$. Estos datos serán necesarios de aquí en adelante.

3.2 Estimación preliminar del desplazamiento en función del Peso Muerto mediante regresiones lineales referidas a la base de datos

Para la estimación del desplazamiento a partir del peso muerto se realiza una regresión lineal estableciendo la relación adimensional entre ambos conceptos:

$$\frac{\Delta_p}{\Delta_b} = \frac{PM_p}{PM_b} \quad (1)$$

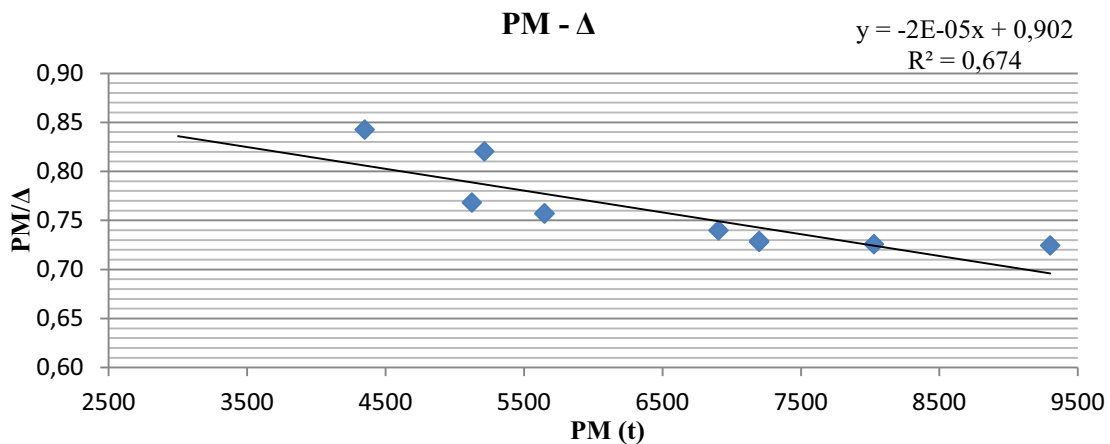


Figura 1. Regresión lineal Peso Muerto – Desplazamiento.

Como muestra el gráfico, la regresión lineal está compuesta por 11 buques de la base de datos, tiene un coeficiente de correlación $R^2=0,674$ y el desplazamiento del buque resulta estar comprendida entre:

$$\Delta = f(PM) = 6587,2m - 7306,2m;$$

4 ESTIMACIÓN DE PRINCIPALES DIMENSIONES A PARTIR DE FÓRMULAS EN FUNCIÓN DEL PESO MUERTO

En primer lugar, se realizará una pequeña estimación de las dimensiones principales del buque mediante fórmulas estadísticas basadas en regresiones lineales (Meizoso, 2004).

Posteriormente se realizará el mismo proceso utilizando otras fórmulas obtenidas de del Papanikolau, 2014.

4.1 Fórmulas de Proyecto Básico del Buque Mercante, Meizoso 2004.

Los siguientes gráficos representan las dimensiones principales en función del peso muerto en toneladas, y se indican las ecuaciones correspondientes, válidas para unos límites de peso muerto entre 2000 y 35000 t de casco sencillo y números de Froude que varían entre 0,21 y 0,26.

Eslora entre perpendiculares:

$$LPP = \exp [(1,648 + 1,069 \times 10^{-6} WPM + 0,34 \ln (WPM))]$$

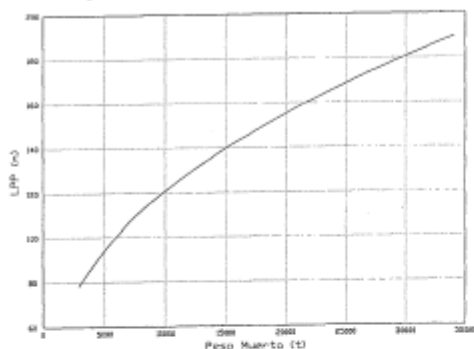


Figura 2.6.29.- Eslora en función del peso muerto.

Manga

$$B = \exp [- 0,104 - 2,4 \times 10^{-6} WPM + 0,34 \ln (WPM)]$$

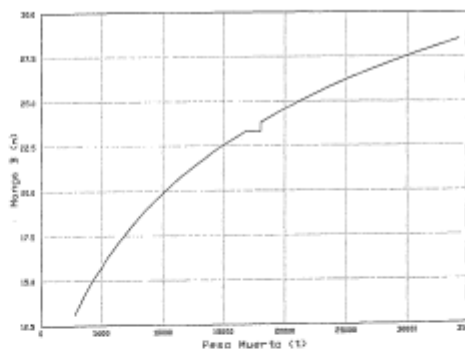


Figura 2.6.30.- Manga en función del peso muerto.

Puntal a Cubierta Superior

$$D = \exp [-2,05 - 1,099 \times 10^{-6} WPM + 0,495 \ln (WPM)]$$

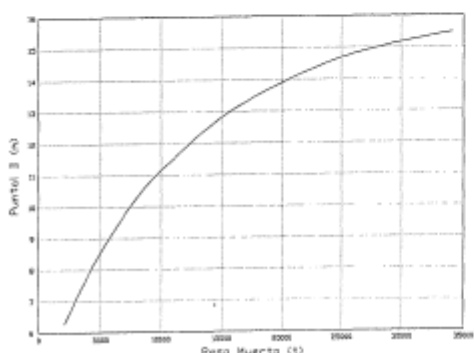


Figura 2.6.31.- Puntal en función del peso muerto.

Calado de francobordo

$$T = 12,1 - 39672 / WPM + 5,2 \times 10^{-7} / WPM^2$$

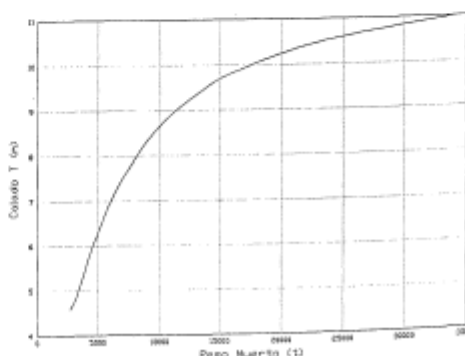


Figura 2.6.32.- Calado en función del peso muerto.

Figura 2. Regresiones lineales de dimensiones en función del peso muerto.

En el caso de que las dimensiones principales del buque resultaran inválidas tras el proceso de dimensionamiento a partir de la base de datos se utilizará este método. Las

fórmulas dependen únicamente del peso muerto a transportar del buque, teniendo por tanto la siguiente formulación:

$$LPP = \exp(1,615 + 1,045 \cdot 10^{-5} \cdot PM + 0,34 \cdot \ln(PM)) \quad (2)$$

La eslora entre perpendiculares teniendo un buque que se mueva alrededor de las 5250 y 5750 toneladas de peso muerto resulta de $LPP = 97,7 \text{ m} - 101,3 \text{ m}$.

$$B = \exp(-0,104 - 2,4 \cdot 10^{-6} \cdot PM + 0,34 \cdot \ln(PM)) \quad (3)$$

La manga teniendo un buque que este comprendido en los valores de peso muerto anteriormente mencionados resulta de $B = 16,4 \text{ m} - 16,9 \text{ m}$.

$$D = \exp(-2,05 - 1,099 \cdot 10^{-5} \cdot PM + 0,495 \cdot \ln(PM)) \quad (4)$$

El puntal resulta estar en el rango de $D = 8,4 \text{ m} - 8,8 \text{ m}$.

$$T = 12,1 - \frac{39672}{PM} + \frac{5,2 \cdot 10^7}{PM^2} \quad (5)$$

El calado de francobordo estará entre los valores de $T = 6,4 \text{ m} - 6,8 \text{ m}$.

A modo de resumen se presenta una tabla con los rangos de los valores obtenidos.

Rango de PM (t)	5250	5750
Fórmulas Meizoso		
Dimensión	Mín.	Máx.
Lpp (m)	97,7	101,3
B (m)	16,4	16,9
D (m)	8,4	8,8
T (m)	6,4	6,8

Tabla 4. Rango de valores de las dimensiones principales del buque.

4.2 Fórmulas adicionales (Papanikolau 2014)

Este autor da diferentes métodos y fórmulas para la estimación de las diferentes dimensiones del buque. Se realiza una selección de los que más interesan para este proyecto y estos son los siguientes.

4.2.1 Estimación de la eslora

- Fórmula del coste mínimo de construcción según Schneekluth (1985)

$$L = \Delta^{0,3} \cdot V^{0,3} \cdot C \quad (6)$$

Donde:

L: eslora entre perpendiculares (m)

Δ : desplazamiento (t)

V: velocidad de servicio = 14 kn

C: coeficiente que toma el valor siguiente para un rango $1000 \text{ t} < \Delta < 210000 \text{ t}$

$$C = 3,4 - \frac{\Delta - 10^3}{10^6} \quad (7)$$

Por lo tanto este método aporta los siguientes valores de eslora entre perpendiculares:

Δ (t)	8030,6	8695,7
L_{pp}	111,133	113,795

Tabla 5. Rango de valores obtenidos para la eslora mediante la fórmula del coste mínimo de construcción (Schneekluth, 1985).

- Fórmula de Ayre para la estimación de la eslora entre perpendiculares

$$\frac{L_{pp}}{\nabla^{1/3}} = 3,33 + 1,67 \cdot \frac{V}{\sqrt{L_{pp}}} \quad (8)$$

Donde:

L_{pp} : eslora entre perpendiculares (m)

V: velocidad de servicio (kn)

∇ : volumen de carena (m^3)

- Fórmula de Völker para la estimación de la eslora entre perpendiculares

$$\frac{L_{pp}}{\nabla^{1/3}} = C_1 + 4,5 \cdot \frac{V}{\sqrt{g \cdot \nabla^{1/3}}} \quad (9)$$

Donde:

L_{pp} : eslora entre perpendiculares (m)

V: velocidad de servicio (m/s)

∇ : volumen de carena (m^3)

g: aceleración gravitacional ($9,81 m/s^2$)

C_1 = 3,5 para buques de carga seca
 = 3,0 para buques de carga refrigerada
 = 2,0 para buques de pesca

- Fórmula Posdunine/V.Lammeren/Benford para la estimación de la eslora en la flotación

$$\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}} = C \cdot \left(\frac{V}{V + 2} \right)^2 \quad (10)$$

Donde:

L_{wl} : eslora en la flotación (m)

V: velocidad de servicio (kn)

∇ : volumen de carena (m^3)

C = 7,62 (todos los tipos, Posdunine)
 = 7,16 (buques de carga, V.Lammeren)
 = 6,31 (buques de carga, Benford)

- Resumen de los resultados y toma de valores

Volumen de carena		
$\nabla(\text{m}^3)$	7827,9	8476,1
Fórmula de Ayre		
L_{pp} (m)	110,316	112,783
Fórmula de Volker		
L_{pp} (m)	115,604	118,087
Fórmula de Posdunine/V.Lammeren/Benford		
L_{wl} (Posdunine) (m)	115,838	118,952
L_{wl} (V.Lammeren) (m)	108,845	111,771
L_{wl} (Benford) (m)	96,745	99,345

Tabla 6. Resumen de los rangos para la eslora entre perpendiculares (L_{pp}) y eslora en la flotación (L_{wl}) obtenidas mediante diferentes fórmulas estadísticas.

Realizando una media aritmética de los valores obtenidos mediante estos métodos se puede obtener un rango de valores en los que se moverá la eslora del buque:

Media L_{pp} (m)	112,351	114,888
Media L_{wl} (m)	107,143	110,022

Tabla 7. Media de los valores obtenidos de eslora entre perpendiculares (L_{pp}) y eslora en la flotación (L_{wl}).

Como se puede extrapolar de estos cálculos, la relación entre la eslora entre perpendiculares y la eslora en la flotación para este tipo de buques está en torno al 4,5%, este valor se utilizará de aquí en adelante cuando sea necesario.

4.2.2 Estimación del resto de dimensiones principales

Para la estimación del resto de dimensiones principales se utilizan relaciones entre ellas y una tabla que muestra el rango en los que se mueven los diferentes tipos de barcos es la siguiente (Papanikolaou, 2014).

Ship type	Hull form coefficients				Ratios of main dimensions		
	C_p	C_M	C_B	C_{WP}	L/B	B/T	$L_{pp}/\nabla^{1/3}$
Fast seagoing cargo ships	0.57–0.65	0.97–0.98	0.56–0.64	0.68–0.74	5.7–7.8	2.2–2.6	5.6–5.9
Slow seagoing cargo ships	0.66–0.74	0.97–0.995	0.65–0.73	0.80–0.86	4.8–8.5	2.1–2.3	5.2–5.4
Coastal cargo ships	0.69–0.73	-0.985	0.58–0.72	0.78–0.83	4.5–5.5	2.5–2.7	4.2–4.8
Small short sea passenger ships	0.61–0.63	0.82–0.85	0.51–0.53	0.65–0.70	5.8–6.5	3.3–3.9	6.3–6.6
Ferries	0.53–0.62	0.91–0.98	0.50–0.60	0.69–0.81	5.9–6.2 ^a 5.2–5.4 ^b	3.7–4.0	6.2–6.9 ^a 5.7–5.9 ^b
Fishing vessels	0.61–0.63	0.87–0.90	0.53–0.56	0.76–0.79	5.1–6.1	2.3–2.6	5.0–5.4
Tugboats	0.61–0.68	0.75–0.85	0.50–0.58	0.79–0.84	3.8–4.5	2.4–2.6	4.0–4.6
Bulk carriers	0.79–0.84	0.990– 0.997	0.72–0.86	0.88–0.92	5.0–7.1 ^a	2.1–3.2	4.7–5.6
Tankers $F_n=0.15$	0.835– 0.855	0.992– 0.996	0.82–0.88	0.88–0.94	5.1–6.8	2.4–3.2	4.5–5.6
Tankers $F_n=0.16–0.18$	0.79–0.83	0.992– 0.996	0.78–0.86	0.88–0.92	5.0–6.5	2.2–2.9	4.5–5.2
Fast seagoing reefers	(0.55) ^c 0.59– 0.62	0.96–0.985	(0.53) ^c 0.57– 0.59	0.68–0.72	6.7–7.2	2.8–3.0	6.1–6.5

^a For $L > 100$ m

^b For $L = 80–95$ m

^c Rarely: $C_p, C_B < 0.57$

Ship type	Ratio of main dimensions		
	L_{pp}/D	$F_{FP}\%L_{pp}$	$L_p\%L_{pp}$
Fast seagoing cargo ships	9.9–13.5	5.1–6.3	20–25
Slow seagoing cargo ships		5.8–7.0	30–35
Coastal cargo ships	10.0–12.0	up to 7.0	40–50
Small short sea passenger ships	10.4–11.6	6.6–7.9	20–25
Ferries	8.6–10.3	7.0–10.0	25–35
Fishing vessels	8.2–9.0	8.0–8.5	15–25
Tugboats	7.7–10.0	8.2–10.2	20–30
Bulk carriers	10.5–12.8	4.4–4.9	50–60
Tankers $F_n=0.15$	12.0–14.0	3.6–4.5	50–60
Tankers $F_n=0.16–0.18$	10.5–12.8	4.4–4.9	50–60
Fast seagoing reefers	– 11.0	5.6–6.6	10–15

Tabla 8. Coeficientes de forma del casco y relaciones de dimensiones principales para buques mercantes (síntesis de datos originales por Strohbushch, 1971, actualizado por Papanikolau utilizando la “*IHS Fairplay WorldShipping Encyclopedia, v.12.01, 2011*”).

4.2.2.1 Estimación de la manga

La estimación de la manga B puede ser calculada a través de la relación L/B, ya sea utilizando los datos de buques similares como se presenta en la tabla anterior, o bien utilizando una relación deducida por el análisis estadístico de buques construidos en 1990 (Fiis et al, 2002) para buques de carga, la cual aparece a continuación:

$$\frac{L}{B} = 4 + 0.015 \cdot (L + 17) \quad (11)$$

A continuación se presentan los datos obtenidos por los diferentes métodos realizados en la estimación de la eslora. Para el segundo método (datos de buques similares) se ha tomado el valor intermedio del rango (6,75) pero este puede variar alrededor de este valor. Para obtener un rango acotado se realiza una media de los valores obtenidos.

Papanikolau, 2014		
L/B	6,75	
B (m)	16,645	17,021
Friis et al, 2002, para buques de carga		
B (m)	18,913	19,217
Media B (m)	17,311	17,703

Tabla 9. Rango de valores posibles para la manga del buque B.

- Estimación del puntal y calado

Para el cálculo de la estimación de estas dimensiones se utilizará la tabla con un valor medio de cada rango para cada una de ellas:

PUNTAL	Mín	Máx
Lpp/D	11,7	
D (m)	9,603	9,820
CALADO	Mín	Máx
B/T	2,4	
T (m)	7,213	7,376

Tabla 10. Rango de valores estimados para puntal y calado.

5 ESTIMACIÓN DE PRINCIPALES DIMENSIONES A PARTIR DE LA BASE DE DATOS

Se trata de un buque de los que denominamos Buque de peso muerto, es decir, es un buque en el que la densidad de transporte es relativamente elevada.

A continuación, se establecen las relaciones estadísticas (regresiones lineales) que relacionan los diferentes parámetros adimensionales, definidos en cada punto, en función del peso muerto.

5.1 Cálculo de la eslora total

5.1.1 Cálculo de la eslora total a partir del peso muerto

En el proceso de obtención de la eslora total se realizará a partir de la relación adimensional entre la raíz cúbica del peso muerto y eslora total del buque:

$$\frac{\sqrt[3]{PM_p}}{\sqrt[3]{PM_b}} = \frac{LOA_p}{LOA_b} \quad (12)$$

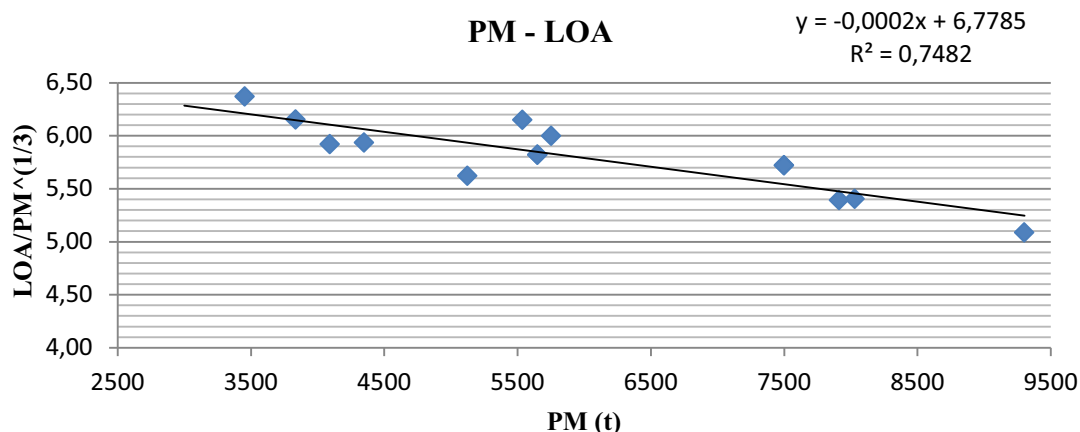


Figura 3. Regresión lineal Peso Muerto – Eslora total.

Tal y como puede apreciarse, la regresión lineal está compuesta por 14 buques de la base de datos, tiene un coeficiente de correlación $R^2=0,75$ y la eslora total del buque resulta estar comprendida entre:

$$LOA = f(PM) = 117,8m - 121,4m;$$

5.1.2 Cálculo de la eslora total a partir del desplazamiento

También se puede calcular la eslora total mediante una regresión lineal en relación a la raíz cúbica del desplazamiento calculado en el apartado anterior:

$$\frac{\sqrt[3]{\Delta_p}}{\sqrt[3]{\Delta_b}} = \frac{LOA_p}{LOA_b} \quad (13)$$

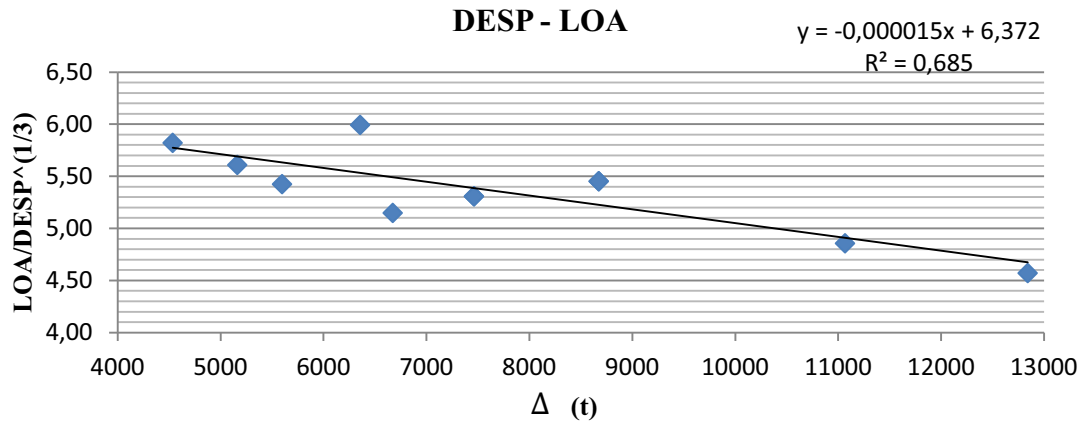


Figura 4. Regresión lineal Desplazamiento – Eslora total.

Tal y como puede apreciarse, la regresión lineal está compuesta por 11 buques de la base de datos, tiene un coeficiente de correlación $R^2=0,685$ y la eslora total del buque resulta estar comprendida entre:

$$LOA = f(\Delta) = 117,6m - 121,5m;$$

5.2 Cálculo de la eslora entre perpendiculares

Se introducen en la base de datos una serie de buques que fueron descartados por falta de información en lo referente a capacidad de carga pero sí poseen información de la relación entre eslora entre perpendiculares y eslora total. Esta se define a continuación:

Buque	Año	LOA	Lpp	B	D	T	LOA/LPP (%)
M/V TransAndromeda	1999	118,55	111,9	15,2	8,45	6,31	6%
M/V TransCapricorn	2000	118,55	111,9	15,2	8,45	6,31	6%
M/V Amelia Desgagnés	1975	108,2	103,6	14,94	9,3	7,54	4%
Barizo	1999	94,99	90,25	13,17	7,15	6,2	5%
Bouga	1999	94,99	90,25	13,17	7,15	6,2	5%
CapFormentor	1996	93,45	84,9	15	8	6,27	9%
M/V Claude A. Desgagnés	2011	138,5	130	21		8	6%
ClipperMakiri	1999	142	132	21,5		9,71	7%
Manizales	2011	118,78	112,5	15,3		7,06	5%
M/V MéllisaDesgagnés	1975	108,2	103,6	14,94	9,3	7,54	4%
Murueta	2012	118,79	112,5	15,3		7,06	5%

Tabla 11. Buques para la relación LOA – Lpp.

Realizando una media de las relaciones se puede obtener un valor que permita estimar la eslora entre perpendiculares con relación a la calculada anteriormente Este valor resulta estar en un 5,3%. Por lo tanto la eslora entre perpendiculares para este proyecto se estima en el siguiente rango:

$$Lpp = 112,34 m - 116,04 m;$$

5.3 Cálculo de la manga

En el proceso de obtención de la manga se realizarán diferentes regresiones lineales a partir de relaciones con el peso muerto y la eslora calculada anteriormente.

5.3.1 Cálculo de la manga a partir del peso muerto

En el proceso de obtención de la manga se realiza a partir de la relación adimensional entre peso muerto y manga del buque:

$$\frac{\sqrt[3]{PM_p}}{\sqrt[3]{PM_b}} = \frac{B_p}{B_b} \quad (14)$$

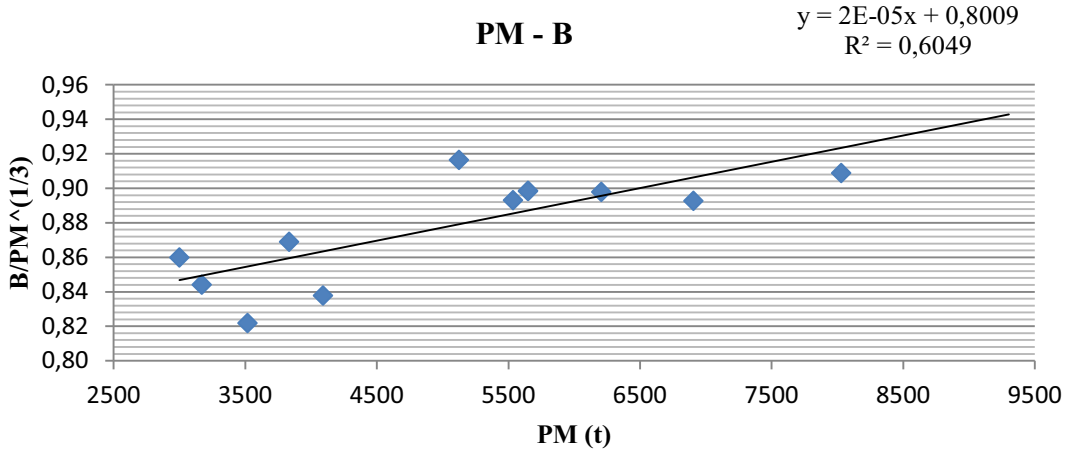


Figura 5. Regresión lineal Peso Muerto – Manga.

Se observa que la regresión lineal está compuesta por 12 buques de la base de datos, tiene un coeficiente de correlación $R^2=0,604$ y la manga del buque resulta estar comprendida entre:

$$B = f(PM) = 15,7 - 16,4m;$$

5.3.2 Cálculo de la manga a partir de la eslora

En este caso la relación adimensional se establece entre la eslora total y la manga del buque:

$$\frac{LOA_p}{LOA_b} = \frac{B_p}{B_b} \quad (15)$$

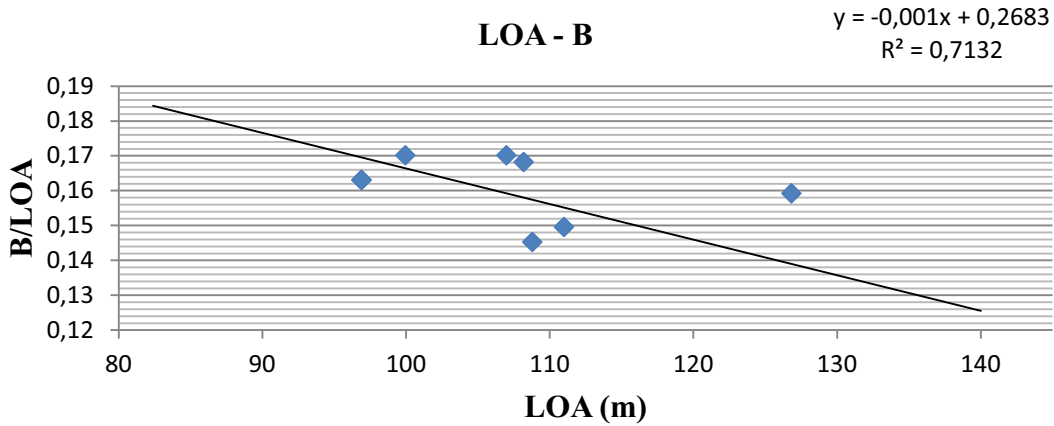


Figura 6. Regresión lineal Eslora Total – Manga.

Se observa que la regresión lineal está compuesta por 7 buques de la base de datos, tiene un coeficiente de correlación $R^2=0,713$ y la manga del buque resulta estar comprendida entre:

$$B = f(LOA) = 17,7 - 17,8m;$$

5.4 Cálculo del puntal del buque

5.4.1 Cálculo del puntal a partir del peso muerto

La regresión lineal se realiza a partir de la relación adimensional entre el peso muerto y el puntal del buque:

$$\frac{\sqrt[3]{PM_p}}{\sqrt[3]{PM_b}} = \frac{D_p}{D_b} \tag{16}$$

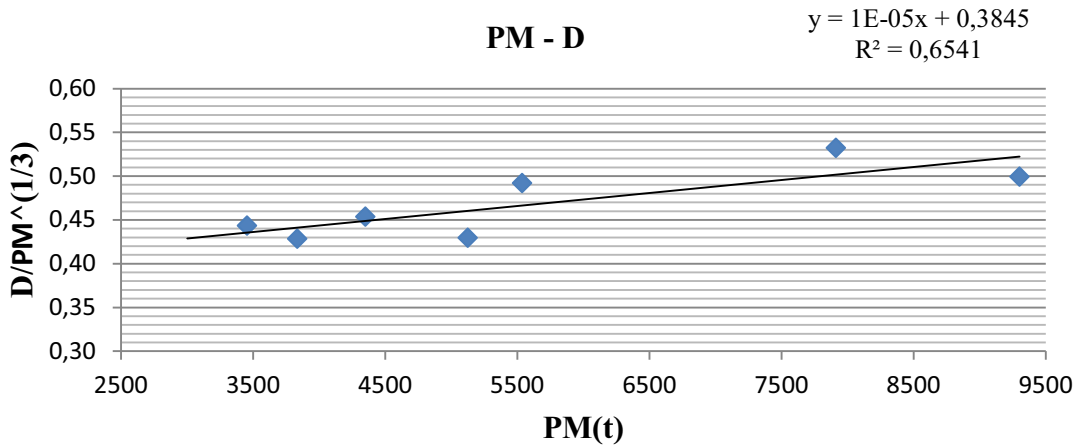


Figura 7. Regresión lineal Peso Muerto – Puntal.

Como se puede apreciar, la regresión lineal está compuesta por 7 buques de la base de datos, tiene un coeficiente de correlación $R^2=0,654$ y el puntal del buque resulta estar comprendido entre:

$$D = f(PM) = 7,59 - 7,91m;$$

5.4.2 Cálculo del puntal a partir de la eslora

En este caso la relación adimensional se establece entre la eslora total y el puntal del buque:

$$\frac{LOA_p}{LOA_b} = \frac{D_p}{D_b} \tag{17}$$

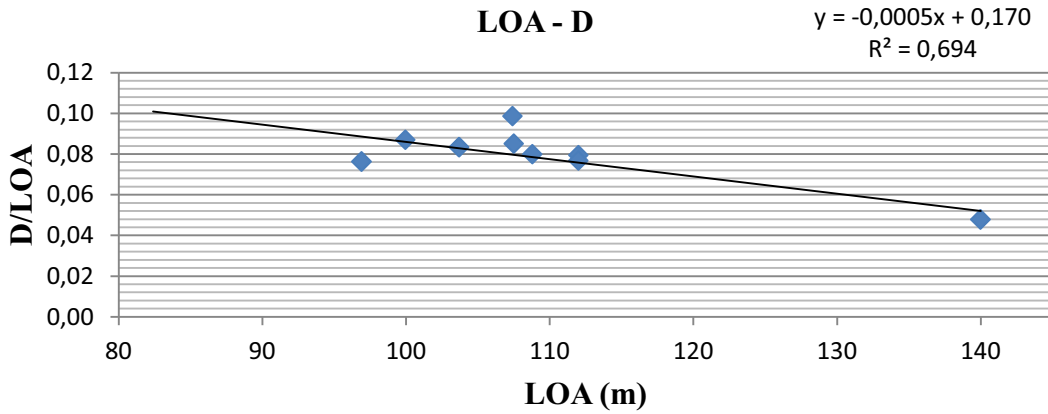


Figura 8. Regresión lineal Eslora Total – Puntal.

Tal y como puede apreciarse, la regresión lineal está compuesta por 11 buques de la base de datos, tiene un coeficiente de correlación $R^2=0,694$ y el puntal del buque resulta estar comprendido entre:

$$D = f(LOA) = 8,85 - 8,90 \text{ m};$$

5.5 Cálculo del calado del buque

5.5.1 Cálculo del calado a partir del peso muerto

La regresión lineal se realiza a partir de la relación adimensional entre el peso muerto y el calado del buque:

$$\frac{\sqrt[3]{PM_p}}{\sqrt[3]{PM_b}} = \frac{T_p}{T_b} \tag{18}$$

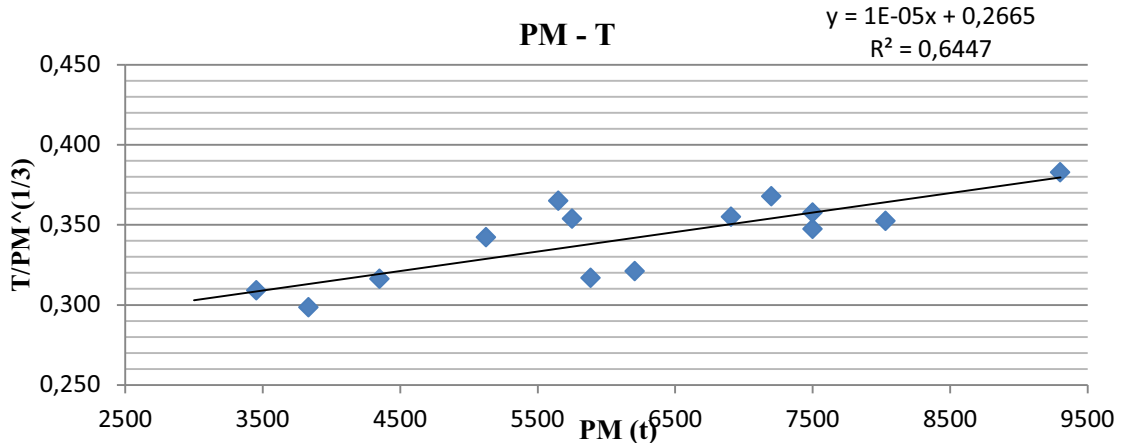


Figura 9. Regresión lineal Peso Muerto – Calado.

Como puede apreciarse, la regresión lineal está compuesta por 15 buques de la base de datos, tiene un coeficiente de correlación $R^2=0,644$ y el calado del buque resulta estar comprendido entre:

$$T = f(PM) = 5,54 - 5,80 m;$$

5.5.2 Cálculo del calado a partir de la eslora

En este caso la relación adimensional se establece entre la eslora total y el calado del buque:

$$\frac{LOA_p}{LOA_b} = \frac{T_p}{T_b} \tag{19}$$

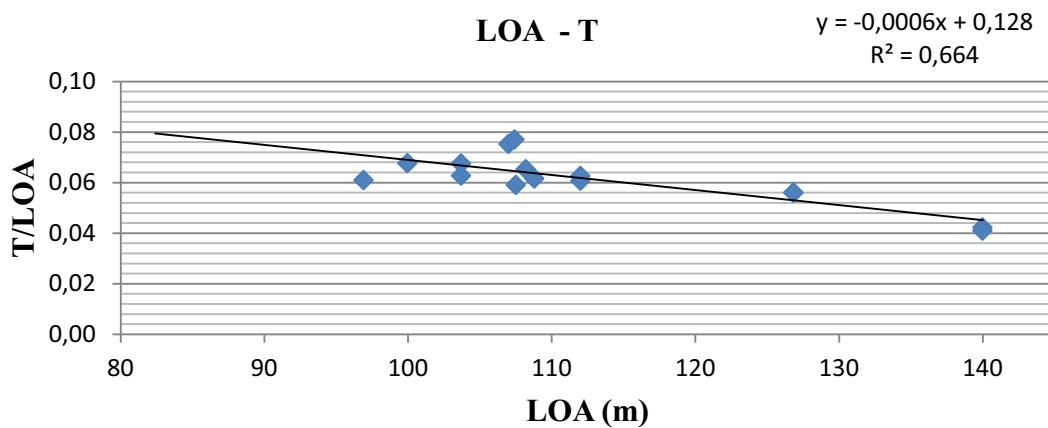


Figura 10. Regresión lineal Eslora Total – Calado.

Tal y como puede apreciarse, la regresión lineal está compuesta por 13 buques de la base de datos, tiene un coeficiente de correlación $R^2=0,664$ y el calado del buque resulta estar comprendido entre:

$$T = f(LOA) = 6,75 - 6,70 m;$$

6 RESUMEN DE LOS VALORES OBTENIDOS LOS DIFERENTES MÉTODOS

En la siguiente tabla se resumen los valores obtenidos por los diferentes métodos y libros, se incluye el cálculo de una media entre ellos para estimar un rango aceptable donde se deben mover las dimensiones del buque a proyectar.

Dimensión	Meizoso		Papanikolau		Regresiones		Media	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Δ (t)	-	-	8030,59	8695,65	6587,20	7306,23	7308,90	8000,94
Vol. (m ³)	-	-	7827,85	8476,12	6420,90	7121,77	7124,38	7798,95
LOA (m)	102,92	106,71	118,31	120,98	118,62	122,54	113,28	116,74
Lpp (m)	97,74	101,34	112,35	114,89	112,34	116,04	107,48	110,76
Lf (m)	93,24	96,68	107,14	110,02	107,17	110,70	102,52	105,80
B (m)	16,38	16,87	17,31	17,70	16,74	17,12	16,81	17,23
D (m)	8,44	8,78	9,60	9,82	8,22	8,40	8,75	9,00
T (m)	6,43	6,77	7,21	7,38	6,14	6,25	6,60	6,80

Tabla 12. Resumen de las dimensiones y coeficientes estimados.

	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
L/B	5,97	6,01	6,49	6,49	6,71	6,78	6,39	6,43
B/D	1,94	1,92	1,80	1,80	2,04	2,04	1,92	1,91
L/D	11,59	11,55	11,70	11,70	13,67	13,81	12,28	12,31
B/T	2,55	2,49	2,40	2,40	2,72	2,74	2,55	2,53
T/D	0,76	0,77	0,75	0,75	0,75	0,74	0,75	0,76

Tabla 13 Resumen de las relaciones entre dimensiones.

7 Estimación del coeficiente de bloque C_B

El coeficiente de bloque representa la relación entre el volumen de carena del buque y el paralelepípedo que lo circunscribe de dimensiones Eslora, Manga y Puntal. Esto se representa en la siguiente fórmula:

$$C_B = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot T} \quad (20)$$

En este punto se conocen todos los valores de esta fórmula por lo que se puede realizar un primer cálculo para un rango y así compararlo con los valores obtenidos en los métodos estadísticos utilizados a continuación, por lo que el rango de valores del coeficiente de bloque con los datos anteriores es 0.627-0.629. Como se puede apreciar está por debajo de los valores dados en la tabla 8 (0.65-0.73).

Para la estimación de este coeficiente existen tres métodos (Papanikolau, 2014)

1. Utilizando fórmulas matemáticas semi-empíricas obtenidas mediante bases de datos de buques construidos (considerando criterios hidrodinámicos y económicos).
2. Utilizando fórmulas matemáticas semi-empíricas obtenidas mediante análisis estadísticos de buques para un “mínimo coste de construcción para un peso muerto y velocidad dados”.
3. Utilizando diagramas basados en fórmulas acordes al primer método o de datos de buques similares.

Las fórmulas semi-empíricas empleadas tienen la siguiente forma (en unidades del sistema métrico)

$$C_B = K_1 - K_2 F_n - K_3 F_n^2 \quad (21)$$

Donde los coeficientes K_1 , K_2 y K_3 se encuentran en la tabla 13 a continuación (hacen referencia la velocidad en pruebas V_T o velocidad de servicio $V_S=0.94 \cdot V_T$)

Formula	K_1	K_2	K_3	Comments
Horn	1.06	1.68	0	Single-screw ships, service speed
Ayre	1.08	1.68	0	Single-screw, trial speed
Ayre	1.09	1.68	0	Twin-screw, trial speed
Heckser	1.00	1.44	0	Single-screw, trial speed
V. Lammeren	1.08	1.68	0.224	Single-screw, trial speed

Tabla 14. . Coeficientes de fórmulas semi-empíricas para el cálculo de C_B .

Las siguientes fórmulas derivan de los estudios de optimización de buques con respecto al mínimo coste de construcción para un peso muerto y una velocidad dadas (Schneekluth, 1985).

$$C_B = \frac{0,14}{F_n} \cdot \frac{L/B + 20}{26} \quad (22)$$

$$C_B = \frac{0,23}{F_n^{2/3}} \cdot \frac{L/B + 20}{26} \quad (23)$$

Las fórmulas son válidas para $0,14 < F_n < 0,32$ y están acotadas para buques con $0,48 < C_B < 0,85$

Finalmente el siguiente diagrama de $C_B=f(F_n)$ como una función del buque tipo(Figura 11) puede ser también utilizado.

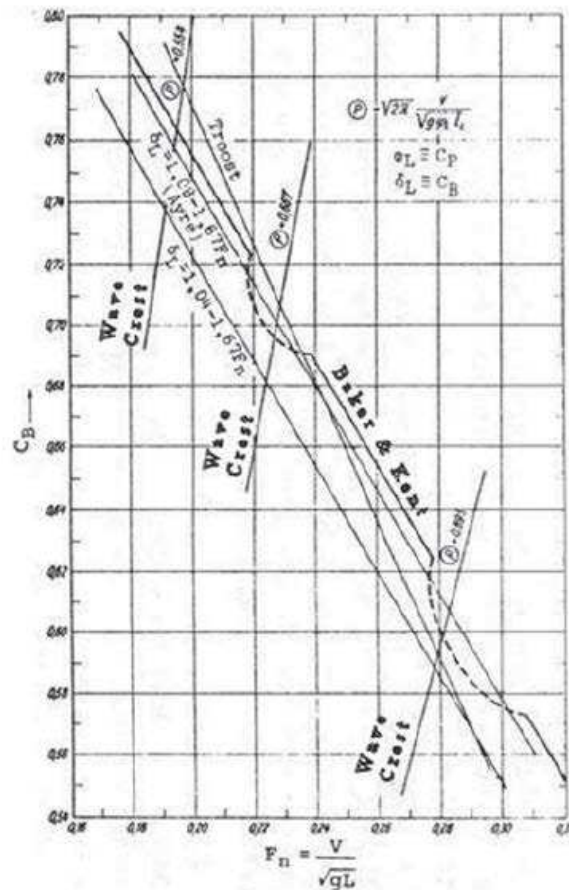


Figura 11. Coeficiente de bloque frente al Número de Froude.

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos mediante los métodos; obteniendo una media de todos ellos para obtener un rango válido para el coeficiente de bloque del buque proyecto:

Por definición		
Cb	0,627	0,629
Fórmulas matemáticas semiempíricas		
Cb (Ayre)	0,698	0,704
Cb (Horn)	0,701	0,707
Cb (Heckser)	0,673	0,678
Cb (V.Lammeren)	0,687	0,693
Fórmula de Coef. Bloque mínimo para el coste de construcción		
Cb	0,626	0,637
Cb	0,627	0,635
Diagramas Ayre		
Cb min	0,661	0,667
Cbmax	0,701	0,707
Media		
Cb	0,656	0,662

Tabla 15. Resumen de valores obtenidos en los diferentes métodos de estimación de coeficiente de bloque.

8 CÁLCULO DE LA CIFRA DE MERITO

8.1 Introducción

Los criterios para la selección de alternativas utilizados con más frecuencia son los siguientes:

- Coste de construcción.
- Inversión total.
- Coste del ciclo de vida.
- Flete requerido.
- Rendimiento neto del Capital Propio.
- Tasa de rentabilidad interna del capital propio.
- Tasas de rentabilidad interna.

La cifra de mérito, será la herramienta que usaremos para seleccionar, de entre todas las alternativas generadas, la más favorable, por lo tanto dicha cifra ha de expresar criterios puramente financieros. En nuestro caso nos situaremos bajo el punto de vista del astillero por lo que el criterio que nos hará decidimos por una u otra alternativa será el coste de construcción, de manera que éste será nuestra cifra de mérito.

8.2 Coste de construcción del buque a estudio

El coste de construcción del buque, CC , se suele calcular por el astillero, como la suma del coste de los **materiales a granel** CMg ; del **coste de los equipos**, CEq ; del **coste de la mano de obra**, CMo ; y de **otros costes aplicados**, CVa :

$$CC = CMg + CEq + CMo + CVa \quad (24)$$

El coste de construcción para el Astillero representa entre un 70%-80% de aportaciones ajenas y un 30%-20% de valor añadido por el propio Astillero. Estos valores pueden variar dependiendo del Astillero y del equipo del buque. El alcance de este proyecto no engloba el coste detallado de construcción, sin embargo si es necesario para este punto.

En los siguientes apartados haremos un estudio detallado de los diferentes costes que constituyen el “coste de construcción del buque”. Concretamente a continuación realizaremos el estudio del coste del buque a estudio. Para ello se tomarán unos valores dentro de los rangos obtenidos de los diferentes parámetros, intentando la máxima proximidad posible al buque base. Estos valores son los siguientes:

Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	Δ (t)	V (kn)	Cb
109,116	16,808	8,752	6,596	7654,918	14	0,659

Tabla 16. Valores para iniciar el cálculo de la cifra de mérito.

8.2.1 Coste de construcción de los materiales a granel

El material a granel más importante es el acero, las chapas y los perfiles que componen la estructura principal del buque.

$$CMg = cmg \times WST = ccs \times cas \times cem \times ps \times WST \quad (25)$$

Donde Cmg es el coeficiente de coste del material a granel; WST es el peso del acero laminado; Ccs es el coeficiente de coste ponderado de las chapas y perfiles de las distintas calidades de acero del buque; cas es coeficiente de aprovechamiento del acero en relación con el pedido de materiales peso bruto/peso neto; cem es el coeficiente de incremento por equipo metálico y ps es el precio unitario del acero para referencia.

Los rangos normales de variación de los coeficientes antes citados son:

- $ccs=1,08(1,05 < ccs < 1,10$ hasta 1,50)
- $cas=1,10(1,08 < cas < 1,15)^*$
- $cem=1,06(1,03 < cem < 1,10)^*$
- $ps=450$ euros/tonelada (Dato 2011 para acero de calidad normal grado A).

**Los mayores coeficientes de cas y cem se deben de usar para buques pequeños*

Una vez de que se conoce el valor estimado de los diferentes coeficientes, pasamos a calcular el valor del peso del acero laminado (WST). Para la determinación del mismo, en las primeras etapas del proyecto, se pueden seguir diferentes fórmulas aproximativas para buques de carga general.

- **Wehkamp – Kerlen** (Papanikolau, 2014).

$$P_{C_{casco}} = 0,0832 \cdot A \cdot e^{-5,73 \cdot A \cdot 10^{-7}} \quad (26)$$

Donde:

$$A = L_{pp}^2 \cdot B \cdot C_B^{1/3} / 12 \quad (27)$$

Obteniendo un resultado:

$$P_{C_{casco}} = 1198,28 \text{ t}$$

Esta expresión no incluye el peso de la superestructura, para el cálculo de esta se utiliza la fórmula de Carreyette (Watson and Gilfillan 1976, RINA):

$$P_{C_{superestructura}} = C_B^{\frac{2}{3}} \left(\frac{L \cdot B}{6} \right) D^{0.72} \cdot 0.002 \cdot \left(\frac{L}{D} \right)^2 + 1 \quad (28)$$

$$P_{C_{superestructura}} = 344,08 \text{ t}$$

La suma del total del peso da el siguiente resultado:

$$P_C = 1542,37 \text{ t}$$

- **Método de J.L.García. (Meizoso, 2004).**

Se han tomado las siguientes fórmulas para estimar el peso del acero. Estas fórmulas pueden usarse para estimaciones iniciales referidas a buques de carga general de L_{pp} entre 60 y 165 m.

$$P_c = 0,02934 \cdot L_{pp}^{1,5} \cdot B \cdot D^{0,5} \quad (29)$$

Obteniendo un valor de:

$$P_c = 1662,84 \text{ t}$$

Calculando una media aritmética sobre los valores anteriores, obtenemos que el valor del peso del acero laminado es = 1602,60 t de acero

Ahora se está en disposición de calcular el coste de los materiales a granel:

$$CMg = cmg \cdot P_c = 1,08 \cdot 1,10 \cdot 1,06 \cdot 450 \cdot 1662,84 = 908.157,41 \text{ €}$$

8.2.2 Coste de los equipos y de su montaje (Meizoso, 2004)

El coste de equipos, incluye el coste de todo el servicio o sistema asociado a dichos equipos y su coste de montaje, CMe.

$$C_{eq} + C_{me} = C_{ec} + C_{ep} + C_{hf} + C_{er} \quad (30)$$

- Coste del equipo de manipulación y contención de la carga y de su montaje (Cec)

Este concepto se considera constante para todos los buques alternativa, por lo tanto no influirá en esta fase de comparación de costes, por lo que podemos no tenerlo en cuenta.

- Coste del equipo de maquinaria propulsora y sus auxiliares montajes incluidos (Cep)

$$C_{ep} = c_{ep} \cdot POT \text{ (Kw)} \quad (31)$$

Donde c_{ep} es el coeficiente de coste unitario con unos valores habituales en el siguiente rango: $300 < c_{ep} < 400 \text{ €/Kw}$, se toma un valor medio = 350 €/Kw y POT es la potencia propulsora total (Kw)

Para el cálculo de la potencia se estudiarán dos métodos para calcular la media entre ambos, uno será una fórmula aproximativa y otra una regresión lineal de una serie pequeña de buques debido a falta de información.

- Fórmula aproximativa ($N=215 \text{ rpm}$)

$$POT = \frac{0,889 \cdot \Delta^{2/3} \cdot \left[40 - \frac{L_{PP}}{61} + 400 \cdot (K - 1)^2 - 12 \cdot C_B \right]}{15000 - 1,81 \cdot N \cdot \sqrt{L_{PP}}} \cdot V^3 \quad (32)$$

$$K = C_B + \frac{0,5 \cdot V}{\sqrt{3,28 \cdot L_{PP}}} = 1,0289134$$

$$POT = 2654,81 \text{ CV} = 1978,63 \text{ kW}$$

- Regresión lineal. Se toman tres buques de los que se tiene la información de peso muerto y potencia utilizados anteriormente para calcular la eslora entre perpendiculares mediante el mismo método.

Buque	Año de Construcción	Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	DW (t)	Velocidad (kn)	Potencia (Kw)
M/V TransCapricorn	2000	111,85	15,2	8,45	6,31	6300		3840
M/V Amelia Desgagnés	1975	103,56	14,94	9,3	7,54	7010	12	2982
M/V Claude A. Desgagnés	2011	130	21		8	9611	15	5400

Tabla 17. Base de datos para estimar potencia.

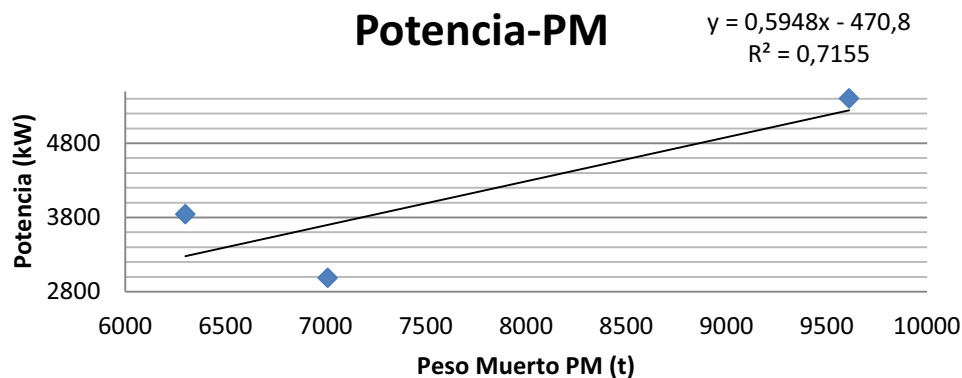


Figura 12. Regresión Potencia-Peso Muerto.

Se obtiene una potencia de 2647,7 kW

Realizando media sobre ambos valores se obtiene un valor de la potencia muy próxima al del buque base definido en el primer capítulo. Este valor es de:

$$POT = 2313,16 \text{ kW}$$

Por lo tanto el coste del equipo de maquinaria propulsora y sus auxiliares montajes incluidos (C_{ep}) resulta un valor de:

$$C_{ep} = 809.607,20 \text{ €}$$

- Coste de la habilitación (CHf)

$$CHf = chf \cdot nch \cdot NT \quad (33)$$

Donde chf está entre 32000-35000€ tripulante. Se tomará un valor intermedio, 33500€/tripulante; ncf está entre 0,90-1,20, se tomará un valor intermedio 1,05 y NT es el número de tripulantes, como se define en el primer capítulo es igual a 14 tripulantes

$$CHf = 351.750 \text{ €}$$

- Coste del equipo restante instalado (Cer)

Se obtiene una primera aproximación como el producto del coste unitario por peso, cer , por el peso del equipo restante, Per .

$$Cer = cer \cdot Per = ceq \cdot ps \cdot Per \quad (34)$$

Donde ceq está comprendido entre 1,25 y 1,35. Se tomará 1,30 y ps toma el valor de 450 €/t

El valor del peso del equipo restante se estima por la siguiente fórmula:

$$Per = 0,045 \cdot L^{1,3} \cdot B^{0,8} \cdot D^{0,3} = 367,71 \text{ t}$$

**Este valor no se debe tener en cuenta en el cálculo del peso en rosca. Sólo se utiliza para la estimación del coste de este concepto.*

Por lo tanto:

$$Cer = 215.110,18 \text{ €}$$

- Coste del equipo total aproximado

$$\begin{aligned} Ceq + Cme &= Cec + Cep + CHf + Cer = 0 + 809607,20 + 351750 + 215110,18 \\ &= \mathbf{1.376.467,38 \text{ €}} \end{aligned}$$

8.2.3 Coste de la mano de obra (Meizoso, 2004)

El coste de la mano de obra directa, se desglosa en dos sumando que se asocian al montaje del material a granel y de los equipos.

$$CMo = CMm + CMe \quad (35)$$

$$CmM = chm \cdot csh \cdot PS \quad (36)$$

Donde CmM es coste de la mano de obra del montaje del material a granel; Cme corresponde al coste de la mano de obra del montaje de los equipos e instalaciones del buque. El valor de Cme se puede estimar de un 10% del coste total de la mano de obra; Chm es el coste horario medio del Astillero. $21/25 < chm < 30/40$ €/hora. Se toma 30€/h; csh es el coeficiente de horas por unidad de peso, está directamente relacionado con la capacidad productiva del astillero. $20/30 < csh < 80/100$ horas/tonelada. Se tomarán 50h/t.

Luego

$$CMo = (30 \cdot 50 \cdot 1662,84) \cdot 1,10 = \mathbf{2.644.297,17 \text{ €}}$$

8.2.4 Otros costes aplicados (Meizoso, 2004)

Son los costes para el astillero de todo aquello que sin intervenir directamente en el proceso de construcción del buque, tiene un coste directo. En este apartado se incluyen los costes de construcción y costes varios del Astillero (Cva)

La fórmula que se utiliza para el cálculo de este grupo es:

$$Cva = cva \cdot CC \quad (37)$$

El parámetro cva está comprendido entre los siguientes valores $0,05 < cva < 0,10$ donde se tomará 0,075.

$$Cva = cva \cdot \left(\frac{CMg + CEp + CMo + CMm}{1 - cva} \right) = 399.642,32 \text{ €}$$

8.2.4.1 Coste total de construcción

Sumando cada uno de los conceptos anteriores se obtiene el coste total de construcción.

$$CC = CMg + CEp + CMo + Cva = 5.088.173,63 \text{ €}$$

9 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS

Se van a generar distintas alternativas a partir de la inicial modificando algunas de sus dimensiones tanto en exceso como en defecto. Por ello se procede de la siguiente forma:

El buque base se ha considerado hasta el momento tiene las siguientes características:

Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	Δ (t)	V (kn)	Cb
109,116	16,808	8,752	6,596	7654,918	14	0,659

Tabla 18. Buque de partida para alternativas.

Por lo tanto para generar las distintas alternativas se han tomado las siguientes características:

$$L \rightarrow 107,1 - 111,1 \rightarrow \Delta L = \pm 2\text{m}$$

$$B \rightarrow 16,3 - 17,3 \rightarrow \Delta B = \pm 0,5 \text{ m}$$

$$D \rightarrow 8,4 - 9,0 \rightarrow \Delta D = \pm 0,3 \text{ m}$$

$$T \rightarrow 6,3 - 6,9 \rightarrow \Delta T = \pm 0,3 \text{ m}$$

La elección del buque óptimo está basada principalmente en la medida económica, el coste de construcción. Además de tener en cuenta el coste de construcción, se debe considerar otra serie de alores que limitan las dimensiones del buque.

RELACIONES DE DIMENSIONES PRINCIPALES

En primer lugar se seleccionarán como mejores alternativas aquellas que cumplan la siguiente tabla de relaciones entre las dimensiones principales del buque, recogida del libro “Proyecto Básico del Buque Mercante”.

PM	L/B		B/D		B/T		L/D		T/D		FN	
<2000	6,00	7,00	1,80	2,10	2,70	3,30	12,00	14,00	0,60	0,72	0,19	0,21
2000 4000	5,80	6,80	1,85	2,15	2,50	3,00	11,50	13,50	0,65	0,78	0,19	0,22
>4000	5,30	6,30	1,90	2,20	2,30	2,80	11,00	12,50	0,73	0,81	0,19	0,21

Tabla 19. Rango de relaciones.

PESO MUERTO

En este proyecto la característica más importante del buque es el peso muerto y se tomará el valor medio del rango propuesto al principio del capítulo (5500 t). Por lo tanto las alternativas que generemos deben cumplir que $\rightarrow PR+PM < \Delta$

Donde:

$$\Delta = Cb \cdot L \cdot B \cdot T \cdot 1,026$$

$$PR = 0,0254 \cdot Lpp^{1,5} \cdot B \cdot D^{0,5} + 8 \cdot MCO^{0,49963} + 0,11994 \cdot (Lpp \cdot B)^{0,99983}$$

$$PM = 5500 \text{ t}$$

COEFICIENTES A CALCULAR

- Número de Froude: $Fn = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}}$
- C. Bloque: Se utilizará el mismo método anteriormente definido para cada una de las alternativas.
- C. Maestra: $C_M = \frac{A_M}{B \cdot T}$

Para la estimación del coeficiente de la cuaderna maestra se utilizan las siguientes fórmulas para grandes buques sin astilla muerta:

Van Lammeren

$$C_M = 0.9 + 0.1 \cdot C_B \quad (38)$$

Kerlen (1979)

$$C_M = 1,006 - 0,0056 \cdot C_B^{-3.56} \quad (39)$$

Laboratorio HSVA (Hamburgo)

$$C_M = 1/(1 + C_B)^{3.5} \quad (40)$$

- C. Prismático: El coeficiente prismático relaciona el volumen de carena con el paralelepípedo que se crea al multiplicar el área de la maestra por la eslora. Se puede calcular como la relación entre el coeficiente de bloque y el coeficiente de la maestra debido a su definición como se puede apreciar en el siguiente razonamiento:

$$C_P = \frac{\nabla}{A_M \cdot L} = \frac{\frac{\nabla}{L \cdot B \cdot T}}{\frac{A_M}{B \cdot T}} = \frac{C_B}{C_M} \quad (41)$$

10 SELECCIÓN DEL BUQUE ÓPTIMO

De entre todas las alternativas generadas, ver ANEXO I, la que cumple los anteriores requisitos y además tiene el Coste de Construcción más bajo son las Alternativas 276 y 277, la única diferencia entre ellas es el calado, algo que variará en función de la carga por lo que se tomará el más alto como calado de proyecto y tener así un margen. Por lo tanto las características del buque generado se resumen en la Tabla 19.

ALT. 276		
Lpp	109,12	m
B	16,31	m
D	8,15	m
T	6,00	m
Cb	0,69	
Δ	7.518,91	t
Cm	0,98	
Cp	0,70	
V	14,00	kn
Fn	0,22	
CC	5.191.700,24	€
PR	1.944,81	t

Tabla 20. Alternativa seleccionada.

Con estos valores se procede a la generación de formas del buque, de la forma definida en los siguientes apartados.

CAPÍTULO III – FORMAS

CAPITULO III – FORMAS

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN A LOS PROGRAMAS DE DISEÑO	4
1.1	Maxsurf.....	5
1.2	Rhinoceros	6
2	OBTENCION DE FORMAS	9
2.1	Introducción	9
2.2	Generación de formas	9
2.3	Datos hidrostáticos preliminares.....	11
2.4	Migración.....	12
3	MEJORA DE FORMAS EN RHINOCEROS	13
3.1	Referencias y alisado	13
3.2	Bulbo.....	14
3.2.1	Tipos de bulbos	14
3.2.2	Conveniencia de la instalación de un bulbo	16
3.2.3	Selección del tipo de bulbo	17
3.2.4	Definición de los parámetros del bulbo.....	17
3.3	Codaste.....	19
4	PLANO DE FORMAS.....	22
5	RENDERIZADO	22
6	REVISIÓN DE LA CARENA Y COMPROBACIÓN DEL PM	23
6.1	Cálculo de los nuevos datos hidrostáticos	23
7	CONCLUSIONES	24

FIGURAS

Figura 1. Formas seleccionadas.....	10
Figura 2. Transformación paramétrica.	11
Figura 3. Comprobación mediante tubo fluorescente.....	13
Figura 4. Tipos de bulbos en función de su integración con la carena.....	15
Figura 5. Bulbo tipo Δ o gota de agua.	15
Figura 6. Bulbo tipo O o elíptico.....	16
Figura 7. Bulbo tipo ∇ o peonza.	16
Figura 8. Gráfico para la obtención de Sb.....	18
Figura 9. Ubicación de la sección SC20.....	18
Figura 10. Dimensiones bulbo.....	19
Figura 11. Huelgos de codaste.....	20
Figura 12. Cotas del codaste en mm.....	21

TABLAS

Tabla 1. Valores Hidrostáticos de Maxsurf de la carena base para una densidad de fluido de 1,0259 t/m ³	12
Tabla 2. Valores hidrostáticos de la carena definitiva para una densidad 1,0259 t/m ³ ..	23

1 INTRODUCCIÓN A LOS PROGRAMAS DE DISEÑO

Hace décadas, los ingenieros dibujaban con instrumentos de dibujo tradicionales: lápiz, regla, etc. Pero la utilización del ordenador se ha extendido de tal modo que el uso de equipos informáticos se ha vuelto imprescindible en la realización de dibujos.

Su desarrollo empezó en Estados Unidos hace 60 años. El Dr. Patrick Hanratty concebía en 1957 el primer software CAM llamado "PRONTO" por eso el Dr. Hanratty ha sido muchas veces llamado el padre del CAD/CAM.

A principios de los 60 Iván Sutherland inventa en el laboratorio Lincoln (MIT) el primer sistema gráfico CAD llamado "Sketchpad". Por el alto precio de estos ordenadores solo algunas compañías de aviación o automóviles desarrollaron en los 60 estos tipos de software.

Durante los años 70 este tipo de software comenzó su migración de la pura investigación hacia su uso comercial. Aunque todavía el software fuera desarrollado por grupos internos de grandes fabricantes de automoción y aeroespaciales como General Motors, Mercedes-Benz, Renault, Nissan, Toyota, Lockheed, McDonnell-Douglas, Dassault. Dassault empresa Francesa de aviación desarrolla el primer programa CAD/CAM llamado DRAPO, iniciales de definición y realización de aviones por ordenador.

En los años 80 el empleo del CAD/CAM se generaliza en las empresas industriales. Había comenzado como un tema de investigación que fue floreciendo comercialmente con el avance de los ordenadores, pero se convirtió en una dura competencia entre diferentes firmas comerciales.

A partir de los 90 la industria del CAD/CAM genera un volumen de mercado de miles de millones de euros con empresas como la francesa Dassault Systèmes con su famoso software "CATIA" o las estadounidenses Parametric Technology y Autodesk entre otras muchas más.

Las fresadoras de control numérico por computadora (CNC) se han desarrollado en base a las fresadoras convencionales. En estas fresadoras convencionales las herramientas son desplazadas al menos en 3 ejes (X, Y, Z...) gracias a unas manivelas movidas a mano.

La base de los controles numéricos es bastante simple, se reemplaza las manivelas por motores de posicionamiento y algo de electrónica para controlar la posición de la herramienta. Existen bastantes "kits" para transformar una fresadora convencional en una de control numérico.

Los primeros controles numéricos no utilizaban interfaz, controlaban la posición de las herramientas gracias a una banda perforada. Pronto se controlaron estas máquinas con un pequeño ordenador, un teclado y una pantalla. Entonces el operador podía teclear la secuencia de movimientos (G-codes o programa numérico) que debía realizar la máquina.

El siguiente paso fue utilizar un ordenador personal conectado al controlador CNC a través de un cable serie o USB. Por lo tanto, en este caso el operador puede hacer funcionar la fresadora CNC mientras prepara el siguiente programa numérico.

Los sistemas de CAD sirven para definir virtualmente las formas de cualquier objeto. Los primeros sistemas de CAD que se crearon fueron los sistemas en 2D, denominados tableros electrónicos.

Posteriormente se crearon los sistemas en 3D, tanto los Modeladores de Superficies como los Modeladores de Sólidos muy básicos, estos últimos se han desarrollado de tal manera que son la base para el desarrollo de producto, aportan mayor rapidez de generación de los modelos y que se pueden parametrizar, es decir que en el proceso de creación y desarrollo del producto se puede cambiar cualquier parámetro (dimensión o relación tecnológica como función a optimizar) que afecte a la forma geométrica de la pieza o producto, aunque en los modeladores de superficies ahora se puede utilizar algo similar a la parametrización que es la asociatividad.

Lo que todavía no han logrado los modeladores de sólidos es ser lo suficientemente flexibles y adaptables en cuanto formas libres, por lo tanto esta parte, por ahora es exclusiva y justifica la utilización de modeladores de superficies.

Lo que es interesante es el grado de conexión entre un modelador de superficies y un modelador de sólidos, como se verá más adelante.

Todo el proceso de creación de un producto - un barco, un avión, un coche, o una tostadora, etc. - se puede definir desde su estado conceptual hasta la fabricación del utillaje en el ordenador con sistemas de CAD/CAM/CAE/PDM-PLM/FEM, es decir definición y creación de las formas virtualmente exactas, realizar los cálculos de ingeniería necesarios para su desarrollo, y por ultimo definir el sistema o sistemas de mecanizado para la realización del utillaje en su caso o conectarlo con los procesos de fabricación necesarios. En este proyecto se va a estudiar cada una de los diferentes programas informáticos que pueden ayudar a la creación de un barco.

1.1 Maxsurf

Este software se basa en superficies NURBS en el cual siempre recalcula cuando redibuja.

Posee un dibujado de la malla altamente personalizable y operaciones estándar para la modificación de superficies (adición, borrado, traslación, rotación, duplicado, modificación de atributos, agrupamiento). También posee operaciones estándar sobre los puntos de control (inserción y borrado por columnas, entrada manual o por ratón, control fácil) y permite realizar cálculos básicos (curva de áreas, hidrostáticas básicas).

A pesar de ello no incorpora cálculos de estabilidad, renderizado, ajuste a formas definidas por el usuario, módulos específicos para apéndices y velas. Maxsurf proporciona una rápida, flexible e intuitiva manera de modelar todo tipo de cascos, superestructuras y apéndices. Se pueden utilizar un número ilimitado de superficies

trimadas de tipo NURBs para modelar cualquier tipo de buque, desde veleros hasta las embarcaciones más grandes que existen.

El módulo de diseño de Maxsurf, provee al ingeniero, arquitecto, constructor o diseñador naval, las herramientas de diseño necesarias para crear formas suaves y optimizadas, de manera rápida, precisa y con poco tiempo de entrenamiento. Cualquier número de superficies NURBs puede ser unido, cortado y manipulado para crear un modelo completo listo para el análisis hidrostático o generar planos de detalles constructivos.

Una gama de comandos facilita la manipulación interactiva directa de la forma de la superficie con el ratón o el teclado. Maxsurf permite la transformación automática de la forma del casco para obtener las dimensiones y las características hidrostáticas deseadas. Los puntos de control se pueden arrastrar con el ratón, ajustar numéricamente, o manipular con una variedad de comandos de suavizado.

Entre las características principales de Maxsurf se destacan:

- Número ilimitado de las superficies tipo NURBs.
- Trimado dinámico de superficies.
- Superficies desarrollables.
- Superficies cónicas.
- Transformación de la forma del casco.
- Escalado proporcional del modelo.
- Intersección de superficies.
- Cambio dinámico del contorno de superficies.
- Visualización coloreada de las curvaturas de las superficies.
- Visualización de la curvatura de cualquier línea en cualquier superficie.
- Rotación tridimensional dinámica del modelo.
- Movimiento interactivo de los puntos de control.
- Unión, agrupación y enmascarado de entidades de diseño.
- Múltiples vistas dinámicas.
- Edición gráfica o numérica.
- Combinar varios modelos.
- Cálculo de áreas superficiales y volúmenes.
- Curva interactiva de áreas.
- Importación y exportación vía DXF e IGES.
- Copiar y pegar desde y a Microsoft Office.

1.2 Rhinoceros

Rhinoceros 3D es una herramienta de software para modelado en tres dimensiones basado en NURBS. Es un software de diseño asistido por ordenador creado por Robert McNeel&Associates, originalmente como un agregado para AutoCAD de Autodesk. El programa es comúnmente usado para el diseño industrial, la arquitectura, el diseño

naval, el diseño de joyas, el diseño automotriz, CAD/CAM, prototipados rápidos, ingeniería inversa, así como en la industria del diseño gráfico y multimedia.^{1 2}

Rhinoceros 3D se especializa principalmente en el modelado libre mediante NURBS. Hay disponibles varios agregados (add-ons), también desarrollados por Robert McNeel&Associates, para el renderizado fotorrealístico raytracing (Flamingo) y Keyshot, en renderizado no fotorrealístico (Penguin) y la animación (Bongo). Existen también componentes como Grasshopper 3D, que se ha popularizado por su capacidad para generar diseño paramétrico. Como muchas aplicaciones de modelado 3D, Rhinoceros incorpora el lenguaje llamado RhinoScript, basado en Visual Basic.

Rhino 3D se ha ido popularizando en las diferentes industrias, por su diversidad, funciones multidisciplinarias y el relativo bajo costo. Las vastas opciones para importación y exportación en el programa es una razón del crecimiento de su uso. La gran variedad de formatos con los que puede operar, le permite actuar como una herramienta de conversión, permitiendo romper las barreras de compatibilidad entre programas durante el desarrollo del diseño.

Rhino puede crear, editar, analizar, documentar, renderizar, animar y traducir curvas NURBS*, superficies y sólidos, nubes de puntos y mallas poligonales. No hay límite de complejidad, grado o tamaño, aparte del que posea su hardware.

Características especiales:

- **Ilimitadas herramientas** de modelado 3D de forma libre, que solo se encuentran en productos que cuestan de 20 a 50 veces más. Con Rhino se puede modelar cualquier forma imaginable.
- **Precisión** necesaria para el diseño, los prototipos, la ingeniería, el análisis y la fabricación de cualquier producto, desde aviación hasta joyería.
- **Compatibilidad** con la mayoría de programas de diseño, dibujo, CAM, ingeniería, prototipado, análisis, renderizado, animación e ilustración.
- **Lee y repara** complicadas mallas y archivos IGES.

Creación de modelos mediante:

- **Puntos:** puntos, nubes de puntos, rejilla de puntos, extraer de objetos, marcar (intersección, división, extremos, más cercano, focos)
- **Curvas:** línea, polilínea, curva de forma libre, círculo, arco, elipse, rectángulo, polígono, hélice, espiral, cónico, texto TrueType, interpolación de puntos, puntos de control (vértices), trazado a mano alzada.
- **Curvas a partir de otros objetos:** a través de puntos, a través de polilínea, extender, continuar curva, empalmar, achaflanar, desfasar, mezclar, mezclar arco, desde dos vistas, perfiles de sección transversal, intersección, contorno en malla o superficie NURBS, sección en malla o superficie NURBS, borde, silueta, extraer curva isoparamétrica, extraer gráfico de curvatura, proyectar, atraer, trazado a mano alzada, estructura alámbrica, desasociar recorte, crear dibujos 2D con cotas y texto, desplegar superficies desarrollables.

- **Superficies:** desde 3 o 4 puntos, desde 3 o 4 curvas, desde curvas planas, desde red de curvas, rectángulo, plano deformable, extrusión, cinta, superficie reglada, superficie de transición con igualación de tangencia, desarrollable, barrido a lo largo de un carril con igualación de borde, barrido a lo largo de dos carriles con continuidad de borde, revolución, revolución por carril, mezclar, parche, drapear, cuadrícula de puntos, mapa de alturas, empalmar, achaflanar, desfasar, plano a través de puntos, texto TrueType y Unicode (doble byte).
- **Sólidos:** caja, esfera, cilindro, tubo, tubería, cono, cono truncado, pirámide, pirámide truncada, elipsoide, toroide, extruir curvas planas, extruir superficies, tapar agujeros planos, unir superficies, región, fusión no múltiple, texto TrueType.

Y la edición de estos modelos es gracias a:

- **Herramientas generales:** eliminar, eliminar duplicados, unir, fusionar, recortar, deshacer recorte, partir, descomponer, extender, empalmar, chaflán, propiedades de objeto, historial.
- **Herramientas de transformación:** cortar, copiar, pegar, mover, rotar, simetría, escalar, estirar, alinear, matriz, retorcer, doblar, ahusar, cortar, desfasar, orientar, deslizar a lo largo de una curva, atraer, proyectar, edición de caja, aplastar, aplanar avanzado.
- **Puntos y curvas:** puntos de control, puntos de edición, guías, suavizar, alisar, cambiar el grado, añadir/suprimir nodos, añadir puntos de torsión, reconstruir, reajustar, igualar, simplificar, modificar peso, hacer periódica, ajustar tangencia final, ajustar costura, orientar en borde, convertir a arco, polilínea o segmentos de línea.
- **Superficies:** puntos de control, guías, cambiar el grado, añadir/suprimir nodos, igualar, extender, fusionar, unir, deshacer el recorte, dividir superficie en curvas isoparamétricas, reconstruir, reducir, hacer periódica, operaciones booleanas (unión, diferencia, intersección), desplegar superficies desarrollables, matriz a lo largo de curva en superficie.
- **Sólidos:** empalmar bordes, extraer superficie, vaciar, operaciones booleanas (unión, diferencia, intersección).

2 OBTENCION DE FORMAS

2.1 Introducción

Una vez obtenidos los datos de las dimensiones del buque a analizar se procede a la generación de las formas del mismo. Para ello se utilizará el software Maxsurf, concretamente la versión “*MaxSurf 20 V8i*” en su módulo de creación de modelos “*MaxSurf Modeler*”. Este módulo permite un número ilimitado de superficies en cualquier diseño ofreciendo un buen enfoque para la creación de una amplia gama de formas de casco.

En este programa se pueden conseguir las formas del buque de diferentes formas:

- Trabajando con marcas: especialmente cuando se planea ajustar una superficie NURB a un conjunto de puntos.
- Trabajando con curvas: son las características de las superficies usadas en *Maxsurf Modeler*.
- Trabajando con puntos de control: herramientas disponibles para la manipulación de puntos de control o grupos de puntos de control para alcanzar la forma de la superficie deseada.
- Input data: esto permite importar superficies ya creadas en otros programas.
- Transformaciones paramétricas: modificación numérica de parámetros de diseño críticas.

En este caso se realizara la generación de formas mediante la derivación de formas, por lo que se escoge de las formas de los buques disponibles la más adecuada y que puede cumplir mejor a priori la misión del buque proyecto. La transformación paramétrica es una herramienta ideal para realizar pequeños ajustes partiendo de un diseño previo. No está pensada para realizar grandes modificaciones, sino está enfocada a pequeños cambios así como para buques con formas habituales. Cuanto más extremo sea el diseño en sus formas menos calidad tendrán las transformaciones.

2.2 Generación de formas

Se opta por la transformación paramétrica disponible en el programa Maxsurf. Se seleccionan las formas de un buque similar al buscado con unos datos dimensionales cercanos al buque objetivo. Esencialmente esta opción utiliza el método Lackenby, consiste en el movimiento iterativo de columnas a proa y popa sin cambiar las formas de las secciones, excepto en caso de que ser escaladas, hasta obtener los valores que se buscan.

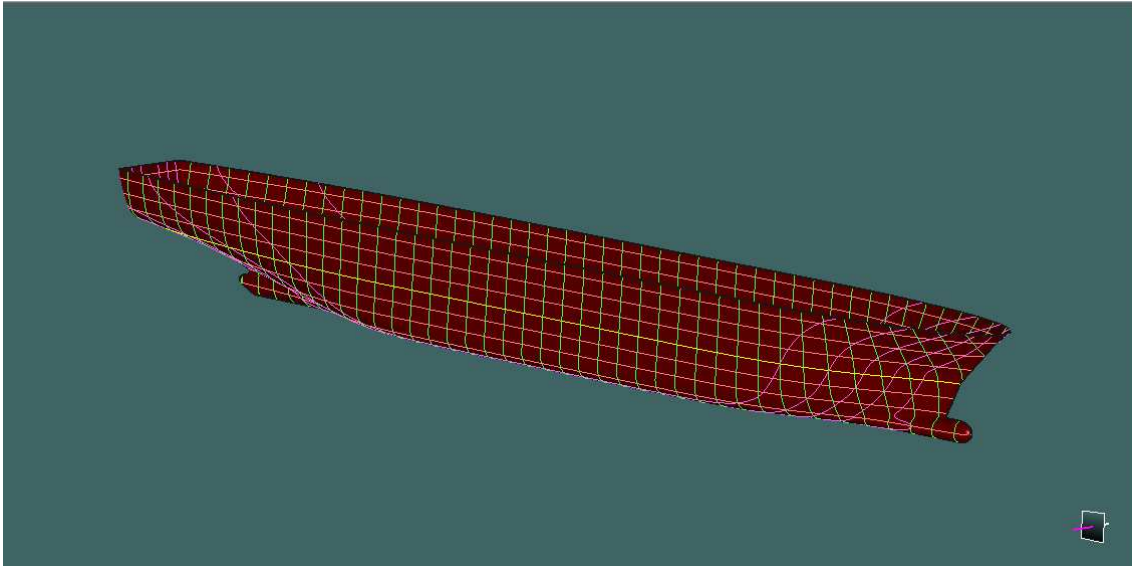


Figura 1. Formas seleccionadas.

Antes de realizar la transformación se deben asegurar los siguientes pasos:

- Definición de las líneas de referencia: Línea base, perpendiculares y calado.
- Asegurar que se parte de un modelo coherente para el cual pueden ser calculadas las hidrostáticas.
- Desbloquear todas las superficies que tenga el buque previo.
- Ocultar toda la superestructura y otras superficies que no definan las formas del buque.

A continuación se realiza una transformación afin, para ello es preciso abrir la pestaña *Data* → *Parametric transformation*.

Una vez en la ventana de transformación se observan tres grupos en los que se modificaran valores en dos de ellos. No es posible introducir a la vez todos los datos de escala (*Escale to: Eslora, Manga, Calado y Desplazamiento*), sólo pueden ser introducidos tres parámetros de los cuatro posibles. La obtención del cuarto se conseguirá mediante los coeficientes de búsqueda (*Search for*).

Se introducen los valores buscados y se presiona en el botón “*Search*”.

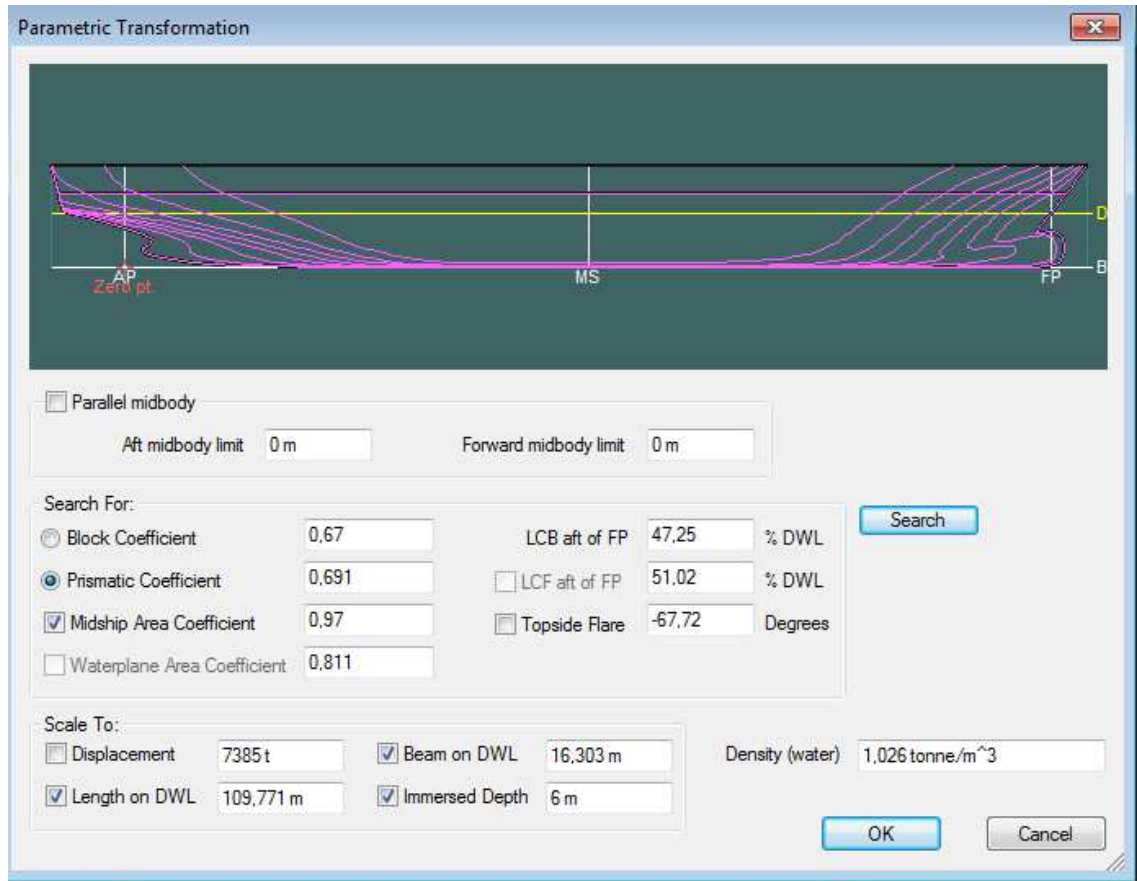


Figura 2. Transformación paramétrica.

Una vez realizada la transformación paramétrica se vuelve a establecer los puntos y líneas de referencia para tener estas correctamente establecidas, además se crean las secciones, longitudinales y líneas de agua para el cálculo de las hidrostáticas.

2.3 Datos hidrostáticos preliminares

En este punto, se está en disposición de calcular las hidrostáticas del buque para comprobar si los datos obtenidos se acercan a los buscados, tomando el valor habitual de la densidad del agua de mar 1.026 t/m^3 . En la tabla XXX se resumen los valores obtenidos.

Medida	Valor	Unidad
Desplazamiento	7510	t
Volumen (Desplazado)	7326,47	m ³
Calado Sección Media	6	m
Eslora de flotación	109,117	m
Manga máxima en la flotación	16,310	m
Área mojada	2368,045	m ²
Área sección máxima	95,897	m ²
Área de la flotación	1455,394	m ²
Coef. Primitico (Cp)	0,691	
Coef. Bloque (Cb)	0,686	
Coef. Cuaderna Maestra (Cm)	0,980	
Coef. Flotación (Cwp)	0,818	
LCB	54,039	Desde Ppp (+ a proa) m
LCF	54,498	Desde Ppp (+ a proa) m
LCB %	54,106	Desde Ppp (+ a proa) % Lwl
LCF %	49,944	Desde Ppp (+ a proa) % Lwl
KB	3,214	m
BMt	3,703	m
BML	144,47	m
KMt	6,918	m
KML	147,685	m
ITC	14,918	t/cm
MTC	104,392	t·m
Relación Eslora/Manga	6,69	
Relación Manga /calado	2,718	
Relación Eslora/Vol ^{0.333}	5,618	

Tabla 1. Valores Hidrostáticos de Maxsurf de la carena base para una densidad de fluido de 1,0259 t/m³.

Como se puede apreciar, tras la transformación paramétrica, el desplazamiento se queda muy cerca del buscado, lo que nos indica que la transformación ha sido satisfactoria. El error cometido es:

Desplazamiento objetivo	7518,91	t
Desplazamiento obtenido	7510	t
Error	0,12%	

2.4 Migración

Por lo tanto, dando por bueno el modelo de buque obtenido se procede a exportar la superficie en formato *.3dm* para poder añadirle cubiertas y superestructuras necesarias para la generación completa del modelo en el software de edición de superficies “*Rhinoceros V5*”.

Para ello se abre la pestaña *File* → *Export* → *Rhino .3dm*.

3 MEJORA DE FORMAS EN RHINOCEROS

3.1 Referencias y alisado

Este apartado trata de realizar un optimizado de las formas y completar algunas de las superficies fundamentales necesarias para terminar el modelo del buque.

En primer lugar, en el software Rhinoceros se definen las líneas de referencia que servirán de apoyo a todos los demás trabajos a realizar en este. Estas son línea base, calado y en base a esta, la perpendicular de proa coincidiendo con el punto donde la línea de flotación corta el casco en su parte más a proa. La perpendicular de popa se obtiene estableciendo un espaciado entre cuadernas de referencia de 5.0 m para obtener un total de 21 cuadernas, se añaden más adicionales en las zonas de proa y popa que permitan su total definición en el plano de formas. La perpendicular de popa (Cuaderna 0) define la posición de la mecha del timón.

Las líneas de agua se establecen cada metro en dirección vertical, así como los longitudinales se ponen cada dos metros en la dirección de la manga del casco.

Tras esto se comprueban las dimensiones del modelo para corroborar que estas sean correctas. Para ello se utiliza el comando “_Distance” y se comprueban todas las dimensiones. Existen ciertas diferencias pero son aceptables.

Además se comprueba que el buque esté alisado mediante las herramientas de control de superficies. Presenta algún problema de fácil solución mediante el uso de las herramientas del programa como “_MoveUVN” o la ayuda del “Toque Ligero”. La siguiente imagen muestra la superficie alisada.

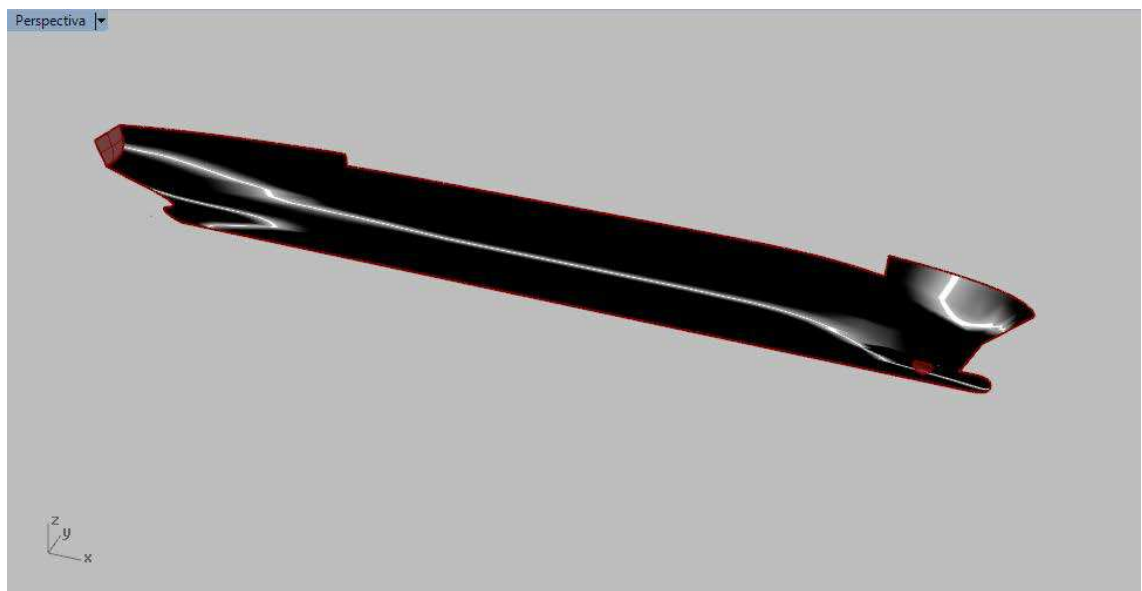


Figura 3. Comprobación mediante tubo fluorescente.

3.2 Bulbo

Ente caso no se conocen con detalle las formas sin embargo este tipo de buques suelen llevar bulbo por lo que debe analizarse la conveniencia de disponerlo o no y realizar un esbozo de sus formas teniendo en cuenta su presencia para por último generar el modelo y añadirlo al del buque.

Un bulbo adecuadamente diseñado provoca una variación de las características físicas y punto de partida del tren de olas generado. En palabras más precisas, un bulbo genera un tren de olas propio, entre su propia proa o perfil de ataque y su intersección con el casco, que interfiere con el sistema de olas del buque, desincronizando el sistema de crestas y senos proa-popa. Por este efecto disminuye la resistencia por formación de olas del tren secundario merced a una modificación dinámica de su comportamiento característico en la curva de resistencia R_w , llevando al buque a una situación favorable con respecto a la superficie libre en su velocidad de proyecto, evitando sistemas de interferencia de ondas contraproducentes.

Es debido a esta concepción para unas condiciones muy concretas que su aplicación es conveniente únicamente en buques que naveguen, en un gran porcentaje de su vida útil, a una velocidad concreta, expresada como la velocidad de proyecto. También así, se impone que sean aplicados en buques a partir de cierta eslora, a fin de compensar la relación R_f vs R_w , que naveguen en números de Froude medios-bajos, concretamente en números de no planeo y, preferiblemente, en condiciones de calado muy definidas.

3.2.1 Tipos de bulbos

Existen diferentes tipos de bulbos, según su integración con la carena existen dos tipos de bulbos atendiendo a su integración al buque:

Bulbos integrados: son los que se unen con la carena de forma continua y suave.

Bulbos postizos: son aquellos que han sido añadidos a una carena previa sin bulbo, de forma que en la intersección del bulbo con la carena existe una línea de discontinuidad. Estos son más económicos que los anteriores, y su comportamiento hidrodinámico puede ser excelente si han sido bien proyectados.

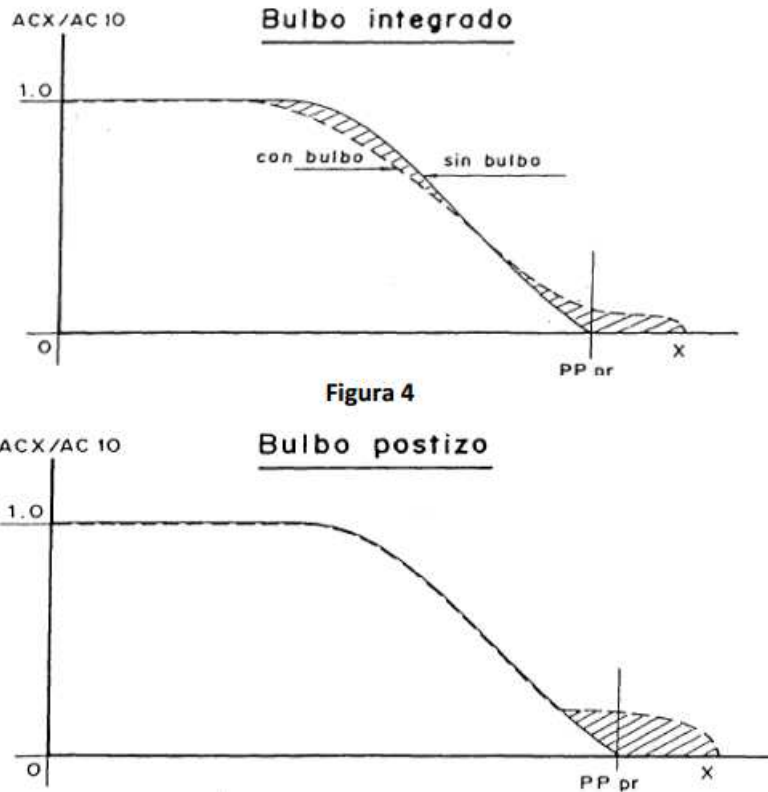


Figura 4

Figura 4. Tipos de bulbos en función de su integración con la carena.

Atendiendo a la forma de su sección transversal en la perpendicular de proa existen tres tipos de bulbos clasificados según Kracht (1978):

Tipo Δ : esta forma de bulbo tiene una sección transversal en forma de gota de agua, con el centro de área en la mitad inferior. Su volumen se encuentra concentrado cerca a la base. El bulbo de Taylor y los bulbos en forma de pera pertenecen a este tipo. Se consideran apropiados para buques con grandes variaciones de calado. Reduce su efecto a medida que aumenta el calado y produce malos resultados en navegaciones con calados reducidos y mala mar.

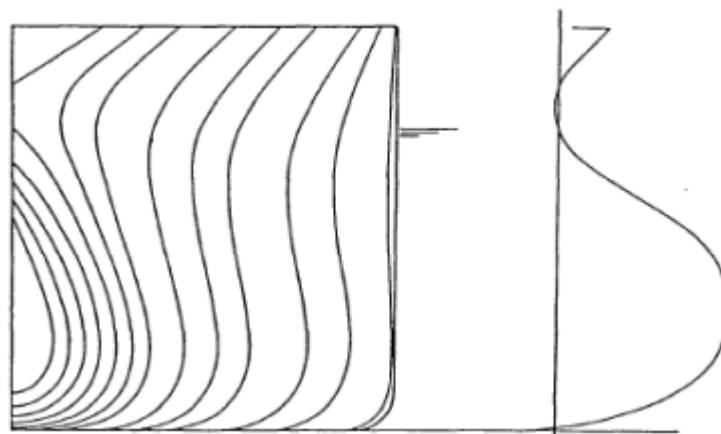


Figura 5. Bulbo tipo Δ o gota de agua.

Tipo O: Su sección transversal es de forma ovalada y su centro de área se encuentra ubicado en el medio de esta. Su volumen se concentra en su parte media. Los

bulbos circulares, elípticos y en forma de lenteja así como también los cilíndricos pertenecen a este tipo. Apropriados para buques que navegan habitualmente en condiciones de mala mar.

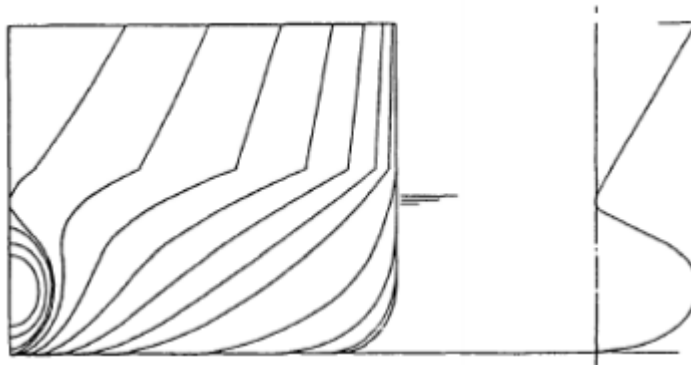


Figura 6. Bulbo tipo O o elíptico.

Tipo V: Tiene una sección transversal en forma de gota de agua invertida, con su centro de área situado en la mitad de la parte superior. Su volumen se encuentra concentrado cerca de la superficie libre. Debido a sus favorables propiedades de comportamiento en la mar en buques que navegan en dos situaciones de calado claramente diferenciadas (plena carga y lastre), este bulbo es el más usado hoy en día.

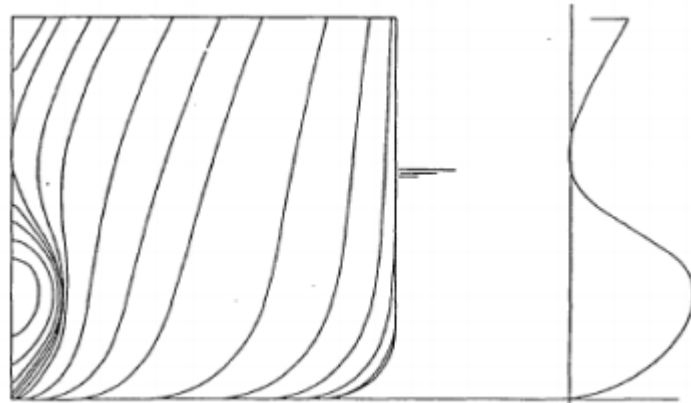


Figura 7. Bulbo tipo V o peonza.

3.2.2 Conveniencia de la instalación de un bulbo

Está demostrado que si el barco está entre algunos de los siguientes márgenes es conveniente la instalación de un bulbo:

$$0,65 < C_b < 0,81$$

$$5,5 < \frac{L_{pp}}{B} < 7$$

$$0,24 < Fn < 0,57$$

$$\text{Coeficiente de afinamiento global} = \frac{C_b \cdot B}{L_{pp}} < 0,135$$

Para el caso del buque de proyecto:

$$C_b = 0,690$$

$$L_{pp}/B = 6,692$$

$$Fn = 0,220$$

$$\text{Coeficiente de afinamiento} = 0,103$$

Cumple tres condiciones de cuatro posibles, por lo que como ya se conocía de antemano, este buque debe llevar bulbo.

3.2.3 Selección del tipo de bulbo

Para el buque del presente proyecto se tomará una solución de compromiso para una reducción de resistencia al avance en ambas condiciones de navegación (carga y lastre) y permita un comportamiento en la mar adecuado.

Esta solución consiste en secciones elípticas en la zona de proa para ir pasando a gota de agua en las secciones más a popa de una forma integrada con la carena. Esta solución se toma descartando la posibilidad de slamming en este tipo de buques de gran porte. Las secciones elípticas dotarán de una menor resistencia en la condición de transporte de carga, mientras que en condición de lastrado las formas de gota de agua aportarán estabilidad y una menor resistencia por formación de olas rompientes.

3.2.4 Definición de los parámetros del bulbo

Altura (h): es la ordenada sobre la línea de base del punto de protuberancia máxima. Para adimensionalizarla, el parámetro más conveniente es el calado (T). La relación h/T está íntimamente relacionada con la efectividad del bulbo y será denominada como H.

$$0,35 \cdot T < h < 0,45 \cdot T$$

Donde T=6,0 m, por lo tanto

$$2,10 \text{ m} < h < 2,70 \text{ m}$$

Protuberancia (x): es la abscisa del punto más a proa del contorno longitudinal del bulbo, referida a la perpendicular de proa. Se adimensionaliza con la eslora, x/L_{pp} denominada X. Esta será obtenida a partir de ecuaciones empíricas.

$$X = 0,2642 \cdot C_b \cdot \frac{B}{L} - 0,0046 \quad (1)$$

$$X = 0,02252$$

Por lo tanto el valor de protuberancia se obtiene multiplicando por la eslora:

$$x = 2,458 \text{ m}$$

Área, SC20: es el área de la sección transversal del bulbo por la perpendicular de proa. Se adimensionaliza con el área de la sección media, SC10/SC20 cuya relación se denota por S_b . En la siguiente imagen se muestra el gráfico del cual puede obtenerse una aproximación a S_b en función de $L/B=6,69$ (ordenadas) y $C_b=0,69$ (Abcisas).

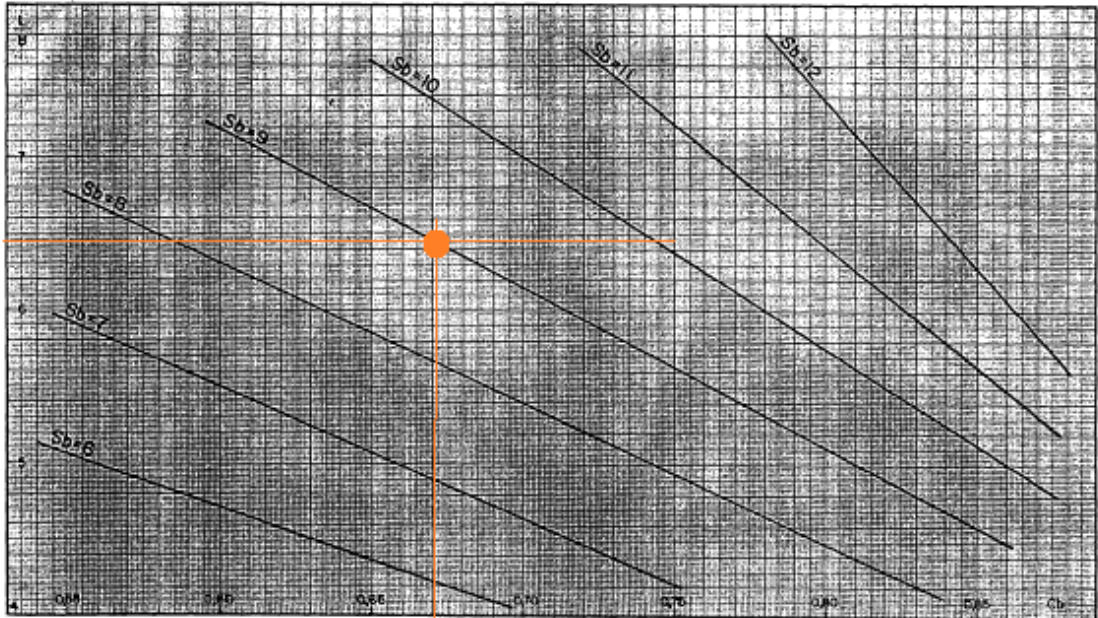


Figura 8. Gráfico para la obtención de S_b .

Por lo tanto S_b se aprecia que tiene un valor de 9 aproximadamente. Tomando el valor del área de la cuaderna maestra obtenida anteriormente en los datos de Maxsurf con un valor de $SC10= 95,355 \text{ m}^2$ se puede hallar el valor de la sección transversal del bulbo:

$$SC20= 10,595 \text{ m}^2$$

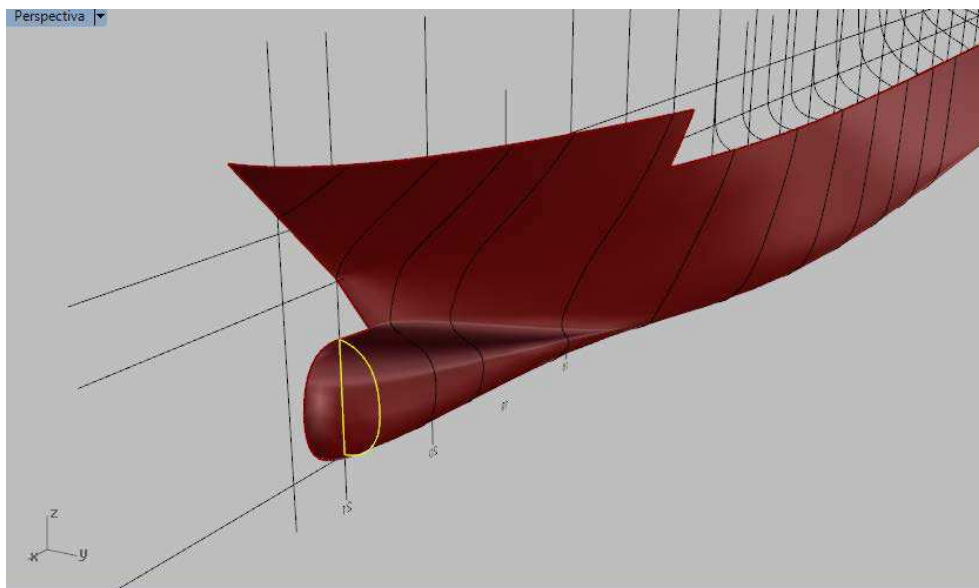


Figura 9. Ubicación de la sección SC20.

Parámetros adicionales: de menor peso en cuanto a su influencia en la acción del bulbo pero que se emplearán en el proceso de proyecto del mismo, son los siguientes:

Manga del bulbo (b): definida como la manga máxima de la sección transversal del bulbo por la perpendicular de proa. Esta dimensión se adimensionaliza con la manga, b/B , y este cociente debe estar comprendido entre 0.15-0.20. Tomando un valor de compromiso (0.175):

$$b = 2,854 \text{ m}$$

Altura total (Z): es la altura de la sección transversal del bulbo por la perpendicular de proa. Este se puede suponer con suficiente aproximación mediante el área de la elipse.

$$SC20 = 0,785 \cdot Z \cdot b \quad (2)$$

Luego:

$$Z = 4,729 \text{ m}$$

Con estos valores se está en condiciones de realizar el modelado del bulbo en Rhinoceros.

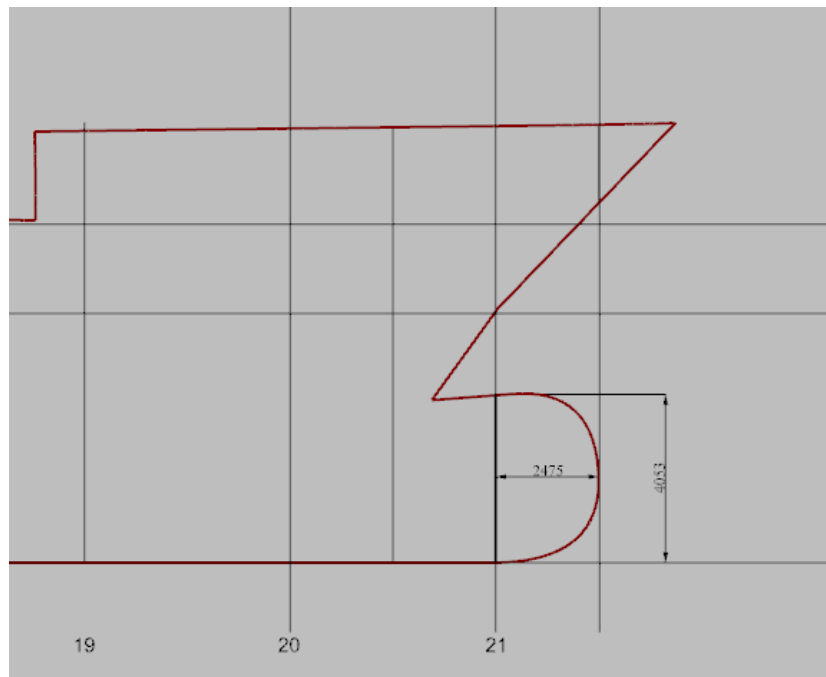


Figura 10. Dimensiones bulbo.

3.3 Codaste

El diseño del codaste viene determinado en gran medida por el diámetro máximo de la hélice para optimizar su rendimiento y los huelgos o espacios que deben existir entre esta y el casco. Las claras hélice-carena tienen una gran influencia en la excitación ejercida por las fluctuaciones de par y empuje de la hélice, pudiendo ser motivo, en el caso de adoptarse claras insuficientes, de fuertes vibraciones transmitidas al casco y/o a la línea de ejes. Unas claras insuficientes pueden, por otra parte, afectar negativamente

al funcionamiento de la hélice, al propiciar un aumento en los fenómenos de cavitación del propulsor. La siguiente figura muestra esquemáticamente las claras que deberán estudiarse en este caso.

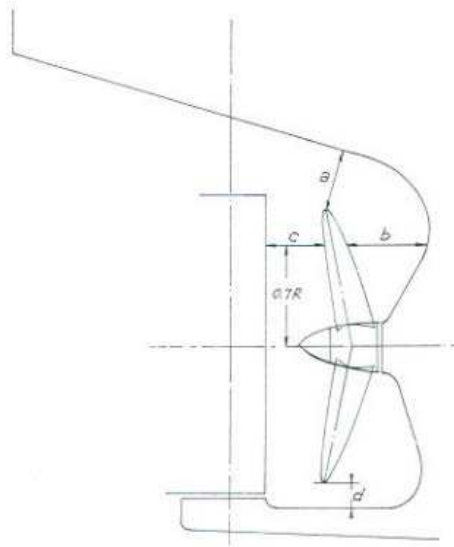


Figura 11. Huelgos de codaste.

Se limitará el diámetro máximo a $D_{m\acute{a}x} = 0,50 \cdot T = 3,0 \text{ m}$ con el fin de asegurar que la hélice no emergerá en ninguna condición de carga y garantizar que el fenómeno de cavitación no aparezca; se seleccionan el número de palas $Z = 4$ revisando buques similares de igual porte. En el corte del eje con el casco se crea una bocina para acompañar la salida del mismo hasta la hélice.

Según la Sociedad de Clasificación escogida para este proyecto (DNV) estas medidas mínimas son definidas mediante las siguientes expresiones:

$$a = (0,12 - 0,01 \cdot Z) \cdot D_{m\acute{a}x} = 0,240 \text{ m} \quad (3)$$

$$b = (0,15 - 0,02 \cdot Z) \cdot D_{m\acute{a}x} = 0,210 \text{ m} \quad (4)$$

$$c = 0,1 \cdot D_{m\acute{a}x} = 0,300 \text{ m} \quad (5)$$

$$d = 0,035 \cdot D_{m\acute{a}x} = 0,105 \text{ m} \quad (6)$$

Como se puede apreciar en la siguiente imagen, el codaste diseñado para el buque de proyecto cumple con estas distancias mínimas:

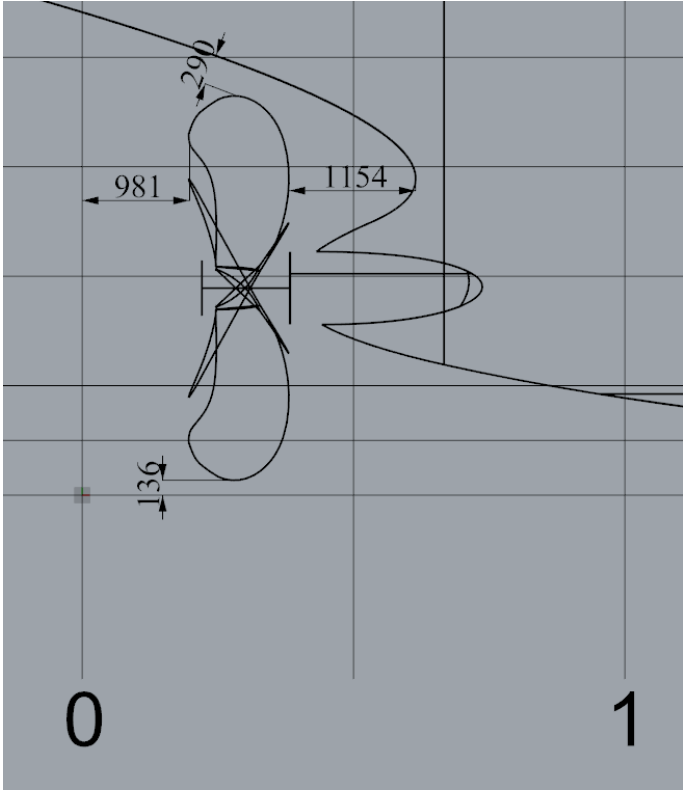


Figura 12. Cotas del codaste en mm.

4 PLANO DE FORMAS

El plano de formas se encuentra adjunto en el ANEXO II. y en el archivo adjunto *PFC001.pdf*.

5 RENDERIZADO

Este término es utilizado en jerga informática para referirse al proceso de generar una imagen o video mediante el cálculo de iluminación partiendo de un modelo en 3D.

Rhinoceros, en concreto uno de sus plug-ins, Flamingo nXt, permite la generación de imágenes renderizadas de las superficies y sólidos creados, permitiendo la visualización del producto de una forma atractiva muy útil a la hora de comercializar el producto desarrollado antes de su construcción.

Este software permite editar las imágenes agregándoles un valor añadido importante, se puede añadir cielo y suelo, agua en este caso para simular el buque flotando. Permite que la ubicación de los focos simule el sol y su posición a la hora y ubicación sobre el globo terráqueo permitiendo una amplia variedad de imágenes.

La biblioteca de materiales es muy amplia, además de permitir la generación de nuevos materiales por lo que la capacidad de creación es ilimitada.

A continuación se presentan algunas imágenes renderizadas de la carena desarrollada. Se le han añadido un puente genérico, obtenido de la infinidad de páginas de diseño CAD que existen en internet con modelos de cualquier elemento necesario, como por ejemplo, los contenedores, botes, anclas, escotillas, etc. También se pueden realizar las marcas de calado, así como cualquier serigrafía que se desee ubicar en el casco. Los pasamanos son generados mediante la opción tubería de Rhinoceros.

En el ANEXO III se adjuntan algunos ejemplos de estos renderizados, realizados en un tiempo muy reducido gracias a la utilización de este software.

6 REVISIÓN DE LA CARENA Y COMPROBACIÓN DEL PM

6.1 Cálculo de los nuevos datos hidrostáticos

Para revisar la carena modificada se vuelve a importar las superficies en formato .igs para introducirlas de nuevo en Maxsurf y analizar los cambios realizados. Los datos hidrostáticos que tiene la nueva y definitiva carena se resumen en la siguiente tabla:

Medida	Valor	Unidad
Desplazamiento	7384	t
Volumen (Desplazado)	7196,9	m ³
Calado Sección Media	6,0	m
Eslora de flotación	109,771	m
Manga máxima en la flotación	16,302	m
Área mojada	2364,258	m ²
Área sección máxima	94,89	m ²
Área de la flotación	1450,423	m ²
Coef. Primitico (Cp)	0,691	
Coef. Bloque (Cb)	0,67	
Coef. Cuaderna Maestra (Cm)	0,97	
Coef. Flotación (Cwp)	0,811	
LCB	52,163	Desde Ppp (+ a proa) m
LCF	47,979	Desde Ppp (+ a proa) m
LCB %	47,52	Desde Ppp (+ a proa) % Lwl
LCF %	43,708	Desde Ppp (+ a proa) % Lwl
KB	3,229	m
BMt	3,716	m
BML	146,916	m
KMt	6,945	m
KML	150,145	m
ITC	14,881	t/cm
MTC	106,603	t·m
Relación Eslora/Manga	6,733	
Relación Manga /calado	2,717	
Relación Eslora/Vol ^{0.333}	5,686	

Tabla 2. Valores hidrostáticos de la carena definitiva para una densidad 1,0259 t/m³.

El error acumulado en este caso es algo mayor debido al alisado realizado y modificación de bulbo y codaste. Sin embargo este error está por debajo del 2%, valor aceptable para los fines del proyecto

Desplazamiento objetivo	7518,91	t
Desplazamiento obtenido	7384	t
Error	1,79%	

7 CONCLUSIONES

En el desarrollo de este capítulo se han realizado diferentes cálculos mediante fórmulas semi-empíricas, regresiones lineales partiendo de bases de datos y se ha tomado una decisión con respecto a las dimensiones del buque mediante el cálculo de una cifra de mérito (Coste de construcción del buque). Posteriormente se eligió una carena que cumpliera con las formas de un carguero polivalente, se ajustaron las dimensiones seleccionadas, para terminar con el modelado en detalle del casco. Tras todo esto y como se puede apreciar, recordando que el valor del peso muerto buscado durante todo este capítulo es de **5537 t**, además de haberse establecido un rango de valores válidos (**5250 t - 5750 t**) se comprueba que el buque cumple con el requisito principal de diseño de capacidad de carga siendo este de 5440 t tomando como peso del buque el calculado a la hora de estimar la cifra de mérito. Esto se corrobora en el siguiente capítulo.

A lo largo de este capítulo se ha presentado una vía para la modelización de una carena partiendo de un buque base parecido al buscado para su posterior modificación paramétrica y conseguir de este modo el buque dimensionado. Sin embargo, existen diferentes partes del buque que requieren de su modificación para conseguir unas formas óptimas. Estas partes son en especial el bulbo de proa y el codaste donde se aloja la hélice y el timón.

Para la primera parte, la modificación paramétrica de un buque existente en la base de datos que posee a modo de ejemplos, el software Maxsurf Modeler permite modificar las dimensiones de la carena en eslora, manga y calado manteniendo las formas y obtener un desplazamiento y coeficientes (C_p) cercanos a los buscados de una manera muy eficiente. Sin embargo a la hora de buscar un bulbo y un codaste adecuados, se ve limitado debido a las herramientas de modificación de puntos de control, cálculo de áreas de secciones y distancias entre puntos, por lo que se requiere de un programa diferente para realizar esta tarea de forma eficiente.

Tanto la modelización de las partes mencionadas anteriormente como el alisado de la superficie y creación del plano de formas es más eficiente y eficaz en software de modelización de superficies y sólidos Rhinoceros. Esto es debido a su capacidad de alteración de superficies mediante el movimiento de puntos de control, gracias a sus herramientas de **toque ligero** (movimiento de un punto mediante los cursores una distancia establecida) y **movimiento UVN** (movimiento del punto en dirección horizontal, vertical y normal a la superficie a la que pertenece el punto) apoyándose en la visualización de la inversa del radio de curvatura de cada curva creada de la intersección del casco con las diferentes secciones. A pesar de estar moviendo puntos de control de una superficie, las curvas generadas por las intersecciones se actualizan inmediatamente gracias a su herramienta **Historial**, que establece relaciones entre las superficies (Padres) y las curvas creadas (Hijos). En la actualidad se utiliza el término “Inteligente” para denominar esta cualidad de los programas, cada más presente en la ingeniería para facilitar y acortar plazos en todo tipo de trabajos. Estas herramientas permiten alisar el casco de una manera eficaz.

La generación del plano de formas es muy sencilla gracias a las vistas inteligentes que permiten la visualización desde diferentes puntos de vista de las líneas, superficies u objetos que se deseen representar.

Para el modelado del bulbo y el codaste se requiere del cálculo de áreas y diferentes distancias como se puede apreciar en los apartados 4.2 y 4.3 del presente capítulo. Rhinoceros permite la obtención de áreas y distancias de forma inmediata por lo que lo hace perfecto para estos fines.

Sin embargo este software tiene deficiencias a la hora de calcular datos hidrostáticos, así como en la generación de espacios como tanques y bodegas, capacidades que se ven superadas por el Software de Bentley (Maxsurf). No obstante, existen diferentes Plug-in o módulos de este software que permite la realización de este tipo de cometidos (Orca 3D) que permite la obtención de los datos hidrostáticos y de arquitectura naval, además de realizar una estimación del peso de la estructura una vez modelizada. De todas formas esto se encuentra fuera del alcance de este PFC.

Por lo tanto y a modo de resumen:

Maxsurf Modeler

Ventajas

- Base de datos de diferente tipos de buques (ejemplos)
- Modificaciones paramétricas
- Cálculo de datos hidrostáticos

Inconvenientes

- Mala gestión de superficies
- Edición de puntos de control complicada
- Calculo de áreas de secciones dificultosa
- Generación del plano de formas poco detallada

Rhinoceros

Ventajas

- Buena edición de superficies mediante movimiento de puntos de control
- Alisado eficaz
- Inteligente en superficies, curvas y vistas
- Cálculo de áreas y distancias inmediata
- Buena representación para el plano de formas

Inconvenientes

- No tiene base de datos
- No realiza transformaciones paramétricas
- No calcula datos hidrostáticos

CAPÍTULO VI – CÁLCULO DE RESISTENCIA AL AVANCE

CAPÍTULO IV – CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN AL CÁLCULO MEDIANTE SOFTWARE.....	7
1.1	Fundamentos para los cálculos de resistencia al avance.....	7
1.2	MaxsurfResistance	9
1.3	Compass Tdyn	9
1.4	Ansys CFX.....	10
2	CFDs (CUMPUTACIONAL DLUIDS DYNAMICS).....	11
2.1.1	¿Dónde se usan los CFD?.....	11
2.1.2	Ventajas e inconvenientes de las herramientas CFD	12
2.1.3	Clasificación De Las Herramientas CFD	12
2.1.4	Modelo Físico-Matemático empleado en este caso.....	13
2.1.5	Técnicas Básicas de CFD.....	13
2.1.6	Características Básicas De Los Programas CFD.....	15
3	TEORIA DE CFDS (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS) APLICADO A PROBLEMAS MARINOS.....	17
3.1	Ecuaciones fundamentales	17
3.1.1	Conservación de la masa	18
3.1.2	Conservación de la cantidad de movimiento.....	21
3.2	Ecuaciones de Navier-Stokes para un fluido Newtoniano e incompresible	24
3.3	La turbulencia y su asunción en las ecuaciones de Navier-Stokes. Las ecuaciones RANS	25
3.4	Modelos de turbulencias	28
4	DATOS DE REFERENCIA.....	31
5	ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE MEDIANTE MAXSURF RESISTANCE.....	32
5.1	Métodos	32
5.1.1	Holtrop	33
5.1.2	Slender Body.....	34
5.2	Cálculo de la resistencia y potencia necesaria	35
5.2.1	Validación de los resultados.....	36

5.2.2	Rango de velocidades.....	36
5.2.3	Eficiencia.....	37
5.2.4	Resultados	39
6	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE MEDIANTE TDYN COMPASS	42
6.1	Datos iniciales del problema.....	42
6.2	Discretización espacial	43
6.2.1	Geometría	43
6.2.2	Volumen de control o Volumen de Fluido (VDF).....	43
6.2.3	Importación del modelo y creación del volumen de control.....	44
6.2.4	Identificación de las entidades geométricas	45
6.3	Campo de velocidades y presiones	45
6.3.1	Modelos de turbulencia	46
6.4	Parámetros inicialización.....	46
6.4.1	Tratamiento de la pared.....	47
6.5	Discretización temporal	48
6.6	Creación de la malla y selección del modelo de turbulencia.....	48
6.6.1	Cálculo de la resistencia.....	49
6.6.2	Mallados	49
6.6.3	Valoración de mallados.....	49
6.6.4	Selección del modelo de turbulencia.....	50
7	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE CON CFX.....	54
7.1	Introducción	54
7.2	ANSYS Workbench.....	54
7.3	ANSYS Design Modeler – Editor de geometría.....	54
7.4	ANSYS Mesh - Definición del modelo	56
7.4.1	Mallado.....	56
7.5	ANSYS Setup – Definición del problema	57
7.5.1	Modelado de la turbulencia	58
7.5.2	Expresiones	58
7.5.3	Condiciones iniciales y de frontera	59
7.5.4	Parámetro de inicialización	60
7.6	Parámetros de solución	61
7.7	Validación de los resultados	61

7.8	ANSYS Results – Resultados	62
8	CONCLUSIONES	65

FIGURAS

Figura 1. Desglose de la resistencia de una casco por Hughes y Froude.	8
Figura 2. Proceso de cálculo con un código CFD.	16
Figura 3. Transición de régimen laminar a turbulento.	17
Figura 4. Elemento del fluido para las leyes de conservación.....	18
Figura 5. Caudales máxicos entrando y saliendo del elemento	19
Figura 6. Recorrido de una partícula en movimiento.	20
Figura 7. Esfuerzos cortante y normal.....	21
Figura 8. Componentes de la fuerza en la dirección x.....	22
Figura 9. Diferentes tamaños de eddies formados como consecuencia del flujo turbulento por CFD.....	25
Figura 10. Descomposición de Reynolds de la velocidad en un punto.	26
Figura 11. Diferencia de contornos de intensidad de turbulencia. DNS (arriba) y RANS (abajo).....	28
Figura 12. Escalado en la resolución y modelado para los diferentes métodos.	29
Figura 13. Selección de los métodos de cálculo.....	33
Figura 14. Valores para la malla en el método analítico.	35
Figura 15. Malla en la zona del bulbo.	35
Figura 16. Validación de datos para diferentes métodos.....	36
Figura 17. Rango de velocidades.....	36
Figura 18. Resistencia total vs velocidad.	41
Figura 19. Potencia vs velocidad.....	41
Figura 20. Definición del problema en la ventana de inicio.....	43
Figura 21. Superficies y Volumen de Control.....	44
Figura 22. Entidades geométricas.....	45
Figura 23. Volumen fluido generado.....	45
Figura 24. Esquema de modelos de turbulencia.	46
Figura 25. Número de elementos frente a Resistencia obtenida.....	50
Figura 26. Fluctuación de la fuerza de presión.....	51
Figura 27. Fluctuación de la fuerza viscosa.	51
Figura 28. Comparativa entre las componentes de los modelos de turbulencia.....	52
Figura 29. Comparación entre modelos turbulentos y resistencias al avance obtenidas.	53
Figura 30. Cuadro de diálogo del WorkBench de ANSYS CFX.	54
Figura 31. Geometría y VDF tras la sustracción booleana.....	56
Figura 32. Tree Outline (Árbol de operaciones).	56
Figura 33. Detalle de la zona del espejo de popa en su intersección con la superficie libre en crujía.	57
Figura 34. Detalle de una sección cercana a proa del buque.....	57
Figura 35. Expresiones.	58
Figura 36. Vista general del dominio con las condiciones de frontera.....	60
Figura 37. Parámetros de inicialización	61
Figura 38. Captura de pantalla del informe para $v=18\text{kn}$	62
Figura 39. División de la resistencia mediante ANSYS.....	63
Figura 40. Comparativa resultados ANSYS - TDyn.....	64

Figura 41. Comparativa entre métodos utilizados..... 65

TABLAS

Tabla 1. Ejemplos de modelos de turbulencia según el número de ecuaciones adicionales.	29
Tabla 2. Rango de aplicación para Holtrop.	34
Tabla 3. Aproximación Revoluciones – Desplazamiento.	38
Tabla 4. Rendimientos cuasi-propulsivo mediante diferentes fórmulas.	38
Tabla 5. Métodos Holtrop mediante artículo y el obtenido por Maxsurf además, el método Slenderbody.	39
Tabla 6. Potencias calculadas.	40
Tabla 7. Datos de entrada.	42
Tabla 8. Dimensiones para el VDF.	44
Tabla 9. Coordenadas para el VDF.	44
Tabla 10. Valores para la modelización de la turbulencia.	47
Tabla 11. Valores para el tratamiento de la pared.	48
Tabla 12. Valores para la discretización temporal.	48
Tabla 13. Tamaños máximos de elementos en mm para distintos refinamientos de mallas.	49
Tabla 14. Número de elementos, tiempo y Resistencia total para la elección de la malla adecuada.	50
Tabla 15. Valores de la resistencia obtenidos mediante Tdyn con diferentes modelos de turbulencia.	52
Tabla 16. Dimensiones para el VDF.	55
Tabla 17. Coordenadas para el VDF.	55
Tabla 18. Datos de la malla generada.	57
Tabla 19. Parámetros de las condiciones de frontera impuestas.	59
Tabla 20. Resultados simulaciones ANSYS.	63
Tabla 21. Comparación la resistencia total obtenida entre ambos software.	64

1 INTRODUCCIÓN AL CÁLCULO MEDIANTE SOFTWARE

Tras la creación de los modelos se procede al análisis de estos mediante software los cuales realizan los cálculos necesarios para la resistencia al avance con el propósito de poder establecer una planta propulsora suficiente para hacer avanzar el buque a la velocidad requerida.

Los programas informáticos utilizan los datos almacenados en los archivos de los modelos para, o bien calculando volúmenes y aplicando los métodos de teoría del buque o bien mediante CFDs (Computational Fluid Dynamic), obtener la resistencia al avance.

1.1 Fundamentos para los cálculos de resistencia al avance

Existen un número de métodos basados en regresiones y un método analítico para la predicción de potencia.

En arquitectura naval es normal dividir la resistencia en componentes que responden a diferentes leyes. Maxsurf Resistance puede calcular las diferentes componentes de la resistencia en forma de coeficientes.

La resistencia que ofrece un casco al avanzar por el agua puede desglosarse en dos componentes, según el enfoque de Froude:

- Resistencia de fricción: Es la suma de todas las componentes longitudinales de los esfuerzos cortantes actuando sobre la superficie del casco. Es debido a la viscosidad.
- Resistencia residual: Es la suma de las presiones desarrolladas por el empuje del agua durante el avance. Es debido a la presión de origen viscoso (forma del casco) y la formación de olas.

Este enfoque, en los modelados de resistencia de buques en canales de ensayo, reconoció en primer lugar que la resistencia residual de un modelo podía escalarse para dar con la del buque a escala normal, utilizando el principio de similitud de Newton. Estipuló que la resistencia producida por la formación de olas dependía únicamente del nº de Froude:

$$Fn = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}} \quad (1)$$

Donde v es la velocidad del casco, g la aceleración de la gravedad, y L_{wl} la eslora en la línea de flotación.

La resistencia de fricción, sin embargo, sigue sus propias leyes y no puede tratarse de la misma manera. En vista de esto, Froude desarrolló una aproximación empírica a partir de un estudio con placas planas. Así, determinada la resistencia de fricción de un modelo, se sustrae de la resistencia total obtenida en el canal de ensayo para obtener la residual. Esta última es escalada para el barco en tamaño real, y la resistencia de fricción calculada empíricamente se añade para dar con la resistencia total del casco.

La resistencia de fricción, influenciada por la viscosidad, depende únicamente del nº de Reynolds:

$$Rn = \frac{\rho \cdot v \cdot L_{WL}}{\mu} \quad (2)$$

Donde ρ es la densidad del fluido, v es la velocidad del casco, L_{wl} la eslora en la línea de flotación y μ la viscosidad dinámica.

Hughes hace una proposición en los años sesenta de corregir la hipótesis de las placas planas de Froude añadiendo un factor de forma (existen varios métodos para obtenerlo) y desglosando la resistencia total desde otro punto de vista. En resumen:

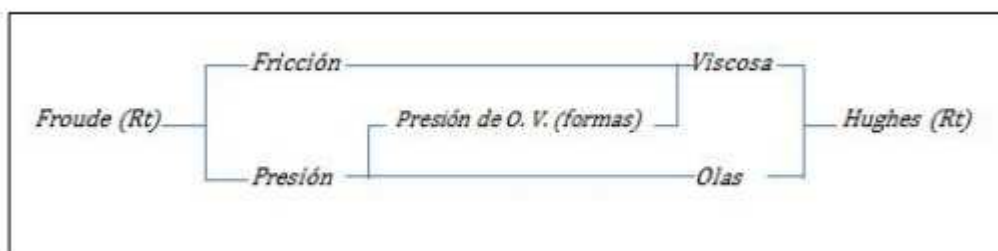


Figura 1. Desglose de la resistencia de una casco por Hughes y Froude.

En definitiva, apelando al enfoque de Froude:

$$R_T = R_F + R_R \quad (3)$$

Y cualquier tipo de resistencia dependerá de unos parámetros fijados y de su propio coeficiente adimensional, por ejemplo en la total:

$$R_T = 0,5 \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \cdot C_T \quad (4)$$

La obtención del coeficiente residual como ya se ha dicho se obtiene a partir un ensayo de canal ($C_r = C_T - C_f$) y el coeficiente de fricción por formulación empírica a partir de la curva de regresión ITTC.

El gran coste que comporta un ensayo de canal ha contribuido a la rápida evolución de modelos numéricos para poder predecir la resistencia con igual solvencia que un ensayo a escala. Es por esto que en los últimos años se han publicado centenares de estudios que comparan simulaciones numéricas con ensayos de canal; actualmente como ya se ha mencionado se tiene fijado en el punto de mira el modelado de la turbulencia y su balance entre el coste computacional y las predicciones físicas reales.

En el software empleado la resistencia total se divide en resistencia viscosa (fuerzas tangenciales) y resistencia de presión (fuerzas normales).

1.2 MaxsurfResistance

Maxsurf Resistance permite calcular la predicción de potencia del casco de un buque. Un archivo de Maxsurf Modeler será leído automáticamente obteniendo las dimensiones y parámetros requeridos para cada tipo de análisis, o bien introducir los parámetros sin necesidad de la existencia de un modelo 3D. Si el rendimiento propulsivo es conocido o se puede estimar, este software permite conocer la potencia necesaria que se debe instalar en el buque para que navegue a la velocidad necesaria.

Para unos datos dados, el programa estimará la resistencia al avance mediante diferentes métodos para un rango de velocidades dado. Los resultados son representados en forma tabular y gráficamente.

Además de estimar la resistencia al avance, el software puede generar el patrón de olas creado por el buque para una velocidad dada.

Debe ser remarcado que la predicción de potencia no es una ciencia exacta y que los algoritmos implementados en este programa, aunque son útiles para la estimación de resistencia al avance de un casco, no darán resultados exactos.

1.3 Compass Tdyn

Tdyn incluye un completo conjunto de herramientas de simulación que permite dar solución a casi cualquier necesidad de cálculo en ingeniería. El producto ofrece una solución única para problemas de cálculo de estructuras, dinámica de fluidos, transferencia de calor, problemas acoplados, multi-física y comportamiento de la mar, en un solo paquete integrado. Tdyn está concebido para poder ser integrado con sus procesos de ingeniería, aumentando su productividad y ayudando a la optimización de sus diseños e incorpora una variedad de herramientas para analizar con los resultados del cálculo, permitiendo tener un control perfecto sobre el proceso de diseño.

Tdyn incluye un completo conjunto de herramientas de simulación, en un único entorno de trabajo, que permite dar solución a casi cualquier necesidad de análisis en ingeniería, incluyendo problemas de cálculo de estructuras, dinámica de fluidos, transferencia de calor, problemas acoplados, multi-física y de comportamiento de la mar. Tdyn ha sido concebido para integrarse con sus procesos de proyecto, incrementando la productividad y facilitando la optimización del diseño. Además, Tdyn dispone de una gran variedad de herramientas que permiten tener un control completo de todo el proceso de análisis.

Tdyn integra tres paquetes de análisis: Tdyn CFD+HT, Ram Series y Sea FEM, que ofrecen 12 módulos de simulación para dar solución a cualquier necesidad de análisis. Los diferentes módulos integrados en Tdyn están disponibles en una única interfaz gráfica (GUI) para definición de la geometría y datos, así como para la generación de malla y postproceso de los resultados del análisis. La interfaz gráfica de Tdyn está basada en una flexible estructura de árbol de datos, que permite una fácil gestión de todo el proceso.

El entorno de trabajo de Tdyn permite seleccionar y configurar de manera sencilla el tipo de análisis que se va a llevar a cabo (análisis estructural, CFD, multi-física, interacción fluido-estructura, etc.) de manera que se minimice el tiempo necesario para preparar la simulación.

Además, la tecnología de mallado de Tdyn incluye un conjunto de herramientas que permiten crear mallas de gran calidad de manera automática, tanto estructuradas, semiestructuradas, no estructuradas, e incluyendo mallas de capa límite.

La gran diversidad de herramientas que ofrece Tdyn permite tener un control perfecto sobre todo el proceso, y verificar su calidad. En particular, Tdyn dispone de una completa variedad de utilidades de visualización, que permiten de manera sencilla extraer toda la información de la física del modelo y permitiendo así una mayor confianza y rapidez en la toma de decisiones. A continuación se realiza un estudio tanto de capacidad y utilidad como un estudio matemático de estos procesos de cálculo.

1.4 Ansys CFX

En esta parte del proyecto se explicará brevemente la herramienta de simulación de ANSYS y sus distintas opciones de cálculo. ANSYS Inc. fundada en 1970 (Swanson Analysis Systems, Inc.), desarrolla y presta soporte a la ingeniería introduciendo nuevos métodos para conseguir productos y procesos de fabricación más innovadores – logrando una reducción tanto de los costes como del tiempo invertido hasta la comercialización del producto – con programas de elementos finitos destinados a la simulación, que predicen cómo funcionará y reaccionará determinado producto bajo un entorno real.

Para el desarrollo de esta parte del proyecto se ha utilizado el software ANSYS CFX (versión 15), siendo un software de simulación en CFD para ingeniería incluido en el paquete de software de ANSYS, utilizado para la creación de mallas y la simulación de los distintos casos.

2 CFDs (CUMPUTACIONAL DLUIDS DYNAMICS)

Los siguientes programas utilizan los CFD para el cálculo de la resistencia al avance pero en primer lugar se expone una breve definición de que se trata este método relativamente nuevo que resuelve las ecuaciones del movimiento de fluido en pequeñas regiones del espacio.

Como sus iniciales nos indican, los “CFD” son las siglas de “Computational fluid Dynamics”. Se trata de una herramienta que nos ayuda a resolver las ecuaciones que describen los movimientos del fluido, las cuales, en su mayoría no se pueden resolver analíticamente. Así pues, su objetivo es la búsqueda de una solución aproximada de las ecuaciones que gobiernan los movimientos de los fluidos, discretizando el dominio de cálculo y resolviendo allí las ecuaciones.

2.1.1 ¿Dónde se usan los CFD?

Aunque parezca extraño, este tipo de herramientas tienen aplicación en casi todos los campos de la técnica actual desde la medicina a la ingeniería. Así mismo ocurre en la hidrodinámica, aquí aparece en los siguientes campos:

- Resistencia y propulsión: Las aplicaciones CFD se centran fundamentalmente en ese campo. Aquí sobre todo, se suelen utilizar cálculos potenciales donde se desprecian los efectos de la viscosidad y formación de olas en superficie libre. Esto proporciona unos cálculos simples, rápidos y más o menos acertados. Sin embargo, con el tiempo y ya a finales de los 90, empezaron a considerarse todos estos efectos siendo el caballo de batalla.
- Maniobrabilidad: Este aspecto, cada día gana más en importancia con las nuevas regulaciones de la IMO tras accidentes marítimos de buques tanques. Así pues, el análisis mediante herramientas CFD de los flujos alrededor de apéndices del buque permiten calcular los distintos momentos producidos y así, evaluar la maniobrabilidad del buque.
- Comportamiento en el mar: Aquí los códigos CFD, constituyen una parte poco madura en este campo, aunque cada día más existen códigos comerciales que permiten el cálculo de los movimientos del buque frente a un determinado estado de mar. Sin embargo, éste problema presenta una gran dificultad ya que es necesario disponer una malla de diferente tamaño según la altura de ola y diferentes características del mar, así como un dominio computacional grande que permita representar los estados del mar así como fenómenos de difracción de oleaje, embarque de agua en cubierta... Otra aplicación dentro de este campo es el "Offshore", campo con gran visión de futuro; aquí el estudio de las cargas de oleaje y viento sobre las estructuras resulta de suma importancia para un buen diseño.
- Diseño de propulsores: En campo de los CFD las técnicas utilizadas son viscosas ya que permiten un mejor cálculo del rendimiento del propulsor para una mejor aproximación a los resultados de experimentos reales. Aquí se emplean técnicas BEM ("BoundaryElementMethods") u otras como superficies sustentadoras.

Para finalizar se puede hablar de otras aplicaciones como lo son:

- Flujos de aire
- Flujos en el interior de tuberías y conductos...

2.1.2 Ventajas e inconvenientes de las herramientas CFD

Las **ventajas** del análisis con técnicas CFD puede ser resumido básicamente en las siguientes ventajas:

- Reducción sustancial en tiempo y costes en los nuevos diseños.
- Posibilidad de analizar sistemas y condiciones muy difíciles de simular experimentalmente.
- Capacidad de estudiar sistemas bajo condiciones peligrosas o más allá de sus condiciones límites de funcionamiento, por ejemplo, accidentes con sustancias tóxicas.
- Nivel de detalle prácticamente ilimitado. Los métodos experimentales son tanto más caros cuanto mayor es el número de puntos de medida, mientras que los programas CFD pueden generar gran cantidad de información sin coste añadido y con posibilidad de hacer estudios paramétricos.
- Valor añadido del producto. Existe la capacidad de generación de gráficos que permiten una mejor comprensión del resultado y así estimular la compra del producto.

Sin embargo, no todo pueden ser ventajas en este tipo de herramientas, uno de los principales **inconvenientes** de las técnicas CFD, es el gran conocimiento de las ecuaciones que modelan ciertos fenómenos físicos, necesitando personal con grandes conocimientos en la materia.

- Otra desventaja es que no siempre es posible llegar a resultados lo suficientemente precisos, dando lugar a grandes errores en cuestiones básicas.
- Simplificación del fenómeno a estudiar para que el hardware y el software puedan abordarlo. El resultado será tanto más preciso cuanto más adecuadas hayan sido las hipótesis y simplificaciones realizadas.

2.1.3 Clasificación De Las Herramientas CFD

Dentro del ámbito naval, las herramientas CFD, pueden ser clasificadas dentro de dos grandes grupos: aquellas que consideran flujo potencial; es decir, las que no tienen en cuenta la viscosidad del fluido, además dentro de éstas, tendremos con y sin superficie libre. En el otro gran grupo tendremos las herramientas que consideran flujo viscoso, que como su nombre indica, son aquellas que, consideran la viscosidad del fluido, dividiéndose a su vez con y sin superficie libre.

2.1.4 Modelo Físico-Matemático empleado en este caso

Las ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento resultan más complejas de lo que parecen. Existen términos no lineales, acoplados y difíciles de resolver. La experiencia ha demostrado que las ecuaciones de Navier-Stokes describen con exactitud el movimiento del fluido, sin embargo, sólo han sido capaces de resolverse unos pocos casos en geometrías simples y cuya aplicación a la industria resulta limitada.

Para este caso se tomará un modelo para la resolución de las turbulencias, el número de Reynolds de un flujo da una medida de la importancia relativa de las fuerzas de inercia, asociadas con los efectos convectivos, y las fuerzas viscosas. Ya sabemos que para valores inferiores al Reynolds crítico el flujo es intrínsecamente estable y las capas de fluido adyacentes se deslizan unas sobre otras de forma ordenada llamando a este régimen laminar.

Si el flujo tiene un valor del número de Reynolds por encima del crítico, se manifiestan en éste unas perturbaciones que dan lugar a un cambio radical en el comportamiento del flujo. El movimiento se vuelve intrínsecamente no estacionario, incluso con condiciones de contorno constantes. Este régimen lo denominamos flujo turbulento.

La turbulencia se define como el estado de movimiento de un fluido en el que las distintas variables relevantes (presión, velocidad, etc.) fluctúan de una forma desordenada. Se trata de un estado no estacionario desde el punto de vista macroscópico en el que las distintas variables adoptan valores dependientes tanto de la posición como del tiempo y estos valores varían de una forma aleatoria y desordenada.

La descripción del movimiento de las partículas fluidas debido al efecto de la turbulencia resulta altamente compleja y constituye un problema aún sin solución desde el punto de vista de los métodos numéricos. Así pues, la simulación de las turbulencias constituye una de los principales obstáculos de los CFD.

2.1.5 Técnicas Básicas de CFD

- **BEM (Boundary Element Methods): Método de los elementos de contorno.**

Estas técnicas son empleadas básicamente en el cálculo de flujos potenciales. Así pues, en aplicaciones prácticas en hidrodinámica los métodos BEM reciben el nombre de métodos de los paneles. Este método divide la superficie del buque en pequeños paneles, así cada uno de estos paneles cumple la ecuación de la Laplace del potencial de velocidades $\nabla^2\phi = 0$.

- **FDM ("Finite Difference Methods"): Método de las diferencias finitas**

En este caso, el dominio fluido es discretizado en todos sus puntos. Así, las derivadas parciales son aproximadas mediante diferencias finitas, para posteriormente resolver un sistema de ecuaciones resultante. El error cometido por este tipo de métodos

puede llegar a ser importante. Así, cada vez, son menos utilizados, siendo sustituidos por métodos como los que se presentan en los siguientes puntos.

- **FEM ("Finite Element Methods"): Método de los elementos finitos.**

El método de los elementos finitos predomina fundamentalmente en los cálculos estructurales. En hidrodinámica el rol no es menos importante así que, presentemos muy escuetamente este método.

El MEF es un procedimiento de aproximación de problemas continuos en donde se divide el sistema en un número finito de partes (elementos), cuyo comportamiento se especifica mediante un número finito de parámetros, siendo la resolución del sistema completo, mediante el ensamblaje de los elementos, similar a un problema discreto.

Para analizar el comportamiento de una estructura continua mediante el MEF se procede de la siguiente manera:

1. El continuo se divide, mediante líneas o superficies imaginarias, en un número de elementos
2. Se supone que los elementos están conectados entre sí mediante un número discreto de puntos, llamados nodos, situados en sus contornos. Los desplazamientos de estos nodos serán las incógnitas del problema, como ocurre en el análisis de estructuras.
3. Se elige un conjunto de funciones que definan de manera única el campo de fluido, dentro de cada "elemento finito", en función de las condiciones de contorno.
4. A partir de aquí el problema se resuelve como un sistema discreto. Es decir, se ensamblan las matrices de cada elemento, se imponen las condiciones de contorno y se resuelve el sistema de ecuaciones de equilibrio del campo fluido, con lo que se determinan los vectores velocidad, tensiones... Sin embargo, en hidrodinámica muchas de las asunciones tomadas para el cálculo elemental, así como las funciones elementales no pueden usarse para el cálculo del error en las integrales de la misma manera que en el método de Galerkin, con lo que el método pierde elegancia.

- **FVM ("Finite Volume Methods"): Método de los volúmenes finitos**

Este método al igual que los métodos anteriores, es utilizado para la discretización tanto temporal como espacial del problema en cuestión. Sin embargo, éstos integran las ecuaciones de conservación de masa y de momentum sobre toda la celda antes de aproximar el valor en el nodo central. Así, se permite que el error cometido en la cara de salida se cancele con el error de la cara vecina, permitiendo la conservación de masa y momentum. Por ello muchos de los códigos comerciales emplean este método para la resolución de las ecuaciones. Este método es el utilizado por estos programas.

2.1.6 Características Básicas De Los Programas CFD

Actualmente, existen gran variedad de programas de programas destinados al cálculo CFD desde códigos libres hasta códigos comerciales de gran potencia. Actualmente podríamos agruparlos en varios bloques:

Códigos generales: Éstos podrán englobar aquellos códigos que disponen herramientas al servicio del usuario para: generar la geometría, aplicar condiciones de contorno, discretizar el dominio espacial (en general a este paso se le llama "mallar la geometría"), resolución del problema y presentación de resultados. Ejemplos de ellos tenemos: Tdyn, CFX, Fluent, Phoenix, Open FOAM... En este proyecto se utilizan dos de ellos **Tdyn** y **ANSYS CFX**.

Códigos específicos: Son aquellos, los cuales van destinados a una parte concreta del proceso de aplicación de un código CFD. Aquí podemos dividirlos en: códigos para la generación de la geometría y aplicación de las condiciones de contorno, códigos para la generación de mallado, códigos encargados del cálculo específico y códigos para la visualización del resultado. De todos los anteriormente mencionados, podría decirse que son los encargados de los cálculos los puramente códigos CFD. Al igual que ocurría con los anteriores dentro de éstos existe una gran variedad como: Paraview, ezVIZ, VTK, FieldView...

A continuación, veremos qué proceso es seguido para realizar un análisis mediante códigos generales. Con estos tipos de programas la experiencia y conocimientos del usuario son factores sumamente importantes para llevar a buen puerto los estudios realizados.

Los códigos generales suelen dividirse normalmente en tres partes fundamentales: un preprocesador, un módulo encargado del cálculo y un postprocesador.

El preprocesador, es aquella parte del programa que se encarga de realizar todos aquellos trabajos necesarios para un correcto cálculo de las ecuaciones a resolver del problema específico.

El módulo de cálculo, es la parte del programa cuya función es resolver numéricamente mediante determinadas partes las ecuaciones planteadas mediante el preprocesador.

Por último, el postprocesador, es la otra parte del programa, que una vez resuelto el problema, se encarga de mostrar de forma gráfica o similar, los resultados obtenidos en el cálculo.

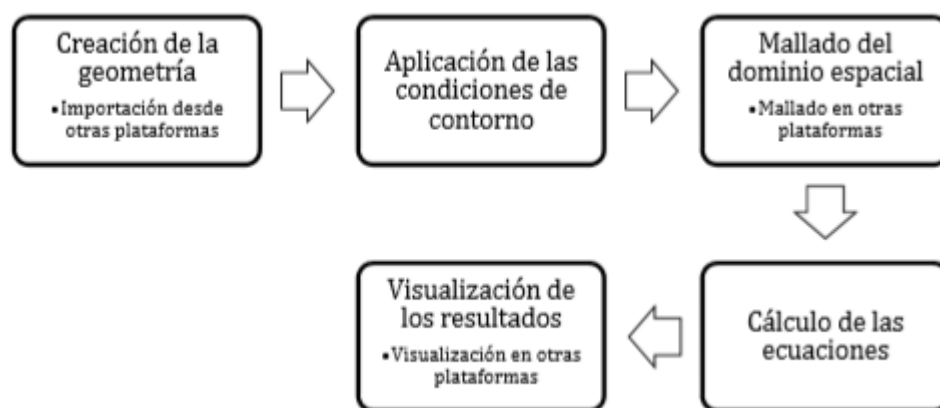


Figura 2. Proceso de cálculo con un código CFD.

La primera parte de todo este proceso de cálculo consiste en la generación de la geometría de estudio, en lo que nos concierne será un buque. Normalmente esta ya será exportada desde otras plataformas mediante archivos de intercambio como puedan ser: iges, 3dm, dxf, acis, parasolid... Así, solamente será necesario generar un volumen de control para el problema a estudiar, en el caso de un buque será un espacio paralelepípedo formado por dos mitades; es decir, el agua y el aire.

A continuación una vez que el usuario ya tiene definida la geometría de estudio, junto con su volumen de control, pasará a la asignación de las condiciones de contorno necesarias para la resolución del problema, ésta pueden ser de tipo Neumann o Dirichlet por ejemplo. Estas condiciones serán tales como: la velocidad del fluido, rugosidad del casco, tipo de capa límite, campos de presiones y velocidades, aceleración de la gravedad, espectro de oleaje...

El siguiente paso a realizar por el especialista, es de suma importancia ya que dependiendo de la discretización del dominio espacial los resultados serán más o menos aproximados a la realidad. En este estadio, el usuario mallará toda la geometría realizada en el primer paso. Cuanto más fino sea esta discretización, o sea, el mallado, en aquellas zonas importantes mejor será los resultados. Sin embargo, no podremos mallar tan fino como queramos, ya que éste depende de la memoria RAM del ordenador y de las prestaciones de cálculo por lo que si el mallado es demasiado fino el cálculo se alargará indefinidamente.

Una vez mallado el problema, se procederá a su cálculo, para finalmente visualizar los resultados. En esta parte se pueden obtener una variedad inmensa de resultados gráficos, desde líneas de corriente hasta videos del problema en movimiento. La mayoría de los códigos CFD permiten la exportación de los mismos, de manera que el usuario pueda trabajarlos en otras plataformas.

3 TEORIA DE CFDS (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS) APLICADO A PROBLEMAS MARINOS

En 1904 Prandtl demostró que los efectos de la fricción dentro del fluido están presentes sólo en una capa muy delgada cerca de la superficie, la denominada capa límite. Si la velocidad en un fluido es lo suficientemente alta, a medida que el tiempo avanza el flujo en esta capa experimenta un desorden, formándose remolinos sin sentido alguno, lidiando al llamado régimen turbulento. La transición de flujo laminar a turbulento se investigó por primera vez por Reynolds en 1883, haciendo experimentos de desarrollo del flujo de agua en conductos de vidrio, inyectando tinta como delator. Encontró que el estado de movimiento de un fluido podía determinarse únicamente por un parámetro adimensional que es, lógicamente, el famoso número de Reynolds. El Rn es una medida de la relación entre las fuerzas de inercia y viscosas en el flujo, por lo que un alto Rn viene a predecir un alto rango de las fuerzas de inercia.

El comportamiento de un fluido es gobernado por las ecuaciones de Navier-Stokes, nombradas después de que sus autores las formularan en 1845. Éstas son ecuaciones diferenciales en derivadas parciales no lineales dependientes del tiempo, y solo existen algunas soluciones analíticas para estados de flujo simples. Para flujos turbulentos no existen soluciones analíticas por lo que se han de llevar a cabo simulaciones numéricas para resolver las ecuaciones.

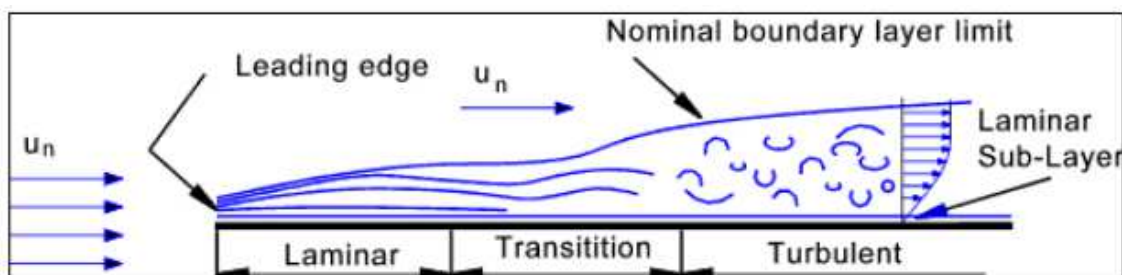


Figura 3. Transición de régimen laminar a turbulento.

3.1 Ecuaciones fundamentales

Las ecuaciones que gobiernan el comportamiento de un fluido son una representación matemática de las leyes de la conservación de la física:

- La masa de un fluido se conserva
- El índice de rapidez en variación de la cantidad de movimiento es igual a la suma de fuerzas en una partícula del fluido ($F = m \cdot a$)
- La energía se conserva

El fluido se considera como continuo. Hay que apuntar que en dinámica de fluidos se estudia el comportamiento desde una perspectiva macroscópica, por lo que este comportamiento se describe en términos de sus propiedades macroscópicas como la velocidad, la presión, la densidad y la temperatura, así como la derivación del espacio y el tiempo. De esta manera, una partícula del fluido es el elemento más pequeño del fluido a estudiarse sin que sus propiedades se vean afectadas por su estructura

“microscópica” (estructura molecular). Es ahí donde se desglosan estas leyes de la física.

La siguiente partícula puede considerarse como un elemento de costados δx , δy , δz :

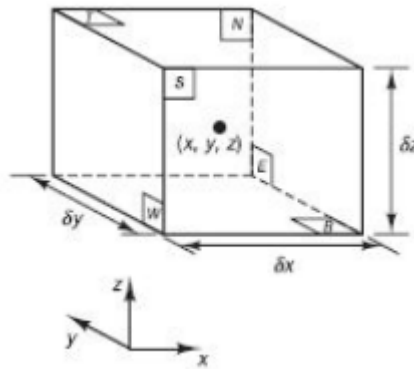


Figura 4. Elemento del fluido para las leyes de conservación

El elemento, además de estar marcado con su centro (X, Y, Z) y sus direcciones positivas, viene identificada en cada cara por N (north), S (south), E (east), W (west), T (top) y B (bottom). Una explicación sistemática en los cambios de la masa, la cantidad de movimiento y la energía del elemento debido al flujo atravesando su contorno (y, cuando se da el caso, debido a la actividad de las fuentes internas del elemento), deja paso a las ecuaciones de flujo del fluido.

Todas las propiedades de un fluido son función del espacio y el tiempo, expresándose:

$$\rho(x, y, z, tt); p(x, y, z, tt); T(x, y, z, tt); uu(x, y, z, tt)$$

Refiriéndose a la densidad, presión, temperatura y el vector velocidad respectivamente. Nótese que las ecuaciones y expresiones siguientes en base a estos términos, sus dependencias con el espacio y el tiempo vendrán dadas de una manera implícita. Por ejemplo, la derivada de la coordenada X de la presión p en (X, Y, Z) y tiempo tt vendrá anotado por $\partial p / \partial x$.

El elemento en consideración es tan pequeño que las propiedades del fluido en sus caras pueden expresarse de una manera suficientemente precisa por medio de los dos primeros términos de una serie de Taylor expansiva. Por ejemplo, la presión en las caras W y E, donde las dos están a una distancia de $1/2 \delta x$ del centro, puede expresarse como:

$$p - \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \delta x \quad yp + \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \delta x \tag{5}$$

3.1.1 Conservación de la masa

El primer punto a tener en cuenta en la derivación de la ecuación de la conservación de la masa es hacer un balance másico del fluido en el elemento designado:

Índice del aumento de la masa en el elemento = Índice neto del caudal másico a través del elemento

El primera parte de la anterior igualdad depende únicamente de la densidad:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\delta x \delta y \delta z) = \frac{\partial \rho}{\partial t} \delta x \delta y \delta z \quad (6)$$

El segundo estamento viene determinado por el producto de la densidad, el área y la componente de la velocidad normal a la cara establecida del elemento.

$$\begin{aligned} & \left(\rho u - \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \delta x \right) \delta y \delta z - \left(\rho u + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \delta x \right) \delta y \delta z \\ & + \left(\rho v - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \cdot \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z - \left(\rho v + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \cdot \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z \\ & + \left(\rho w - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \cdot \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y - \left(\rho w + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \cdot \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y \end{aligned} \quad (7)$$

El flujo que entra en el elemento produce un aumento de la masa y adquiere un signo positivo, mientras que el flujo que sale adquiere un signo negativo.

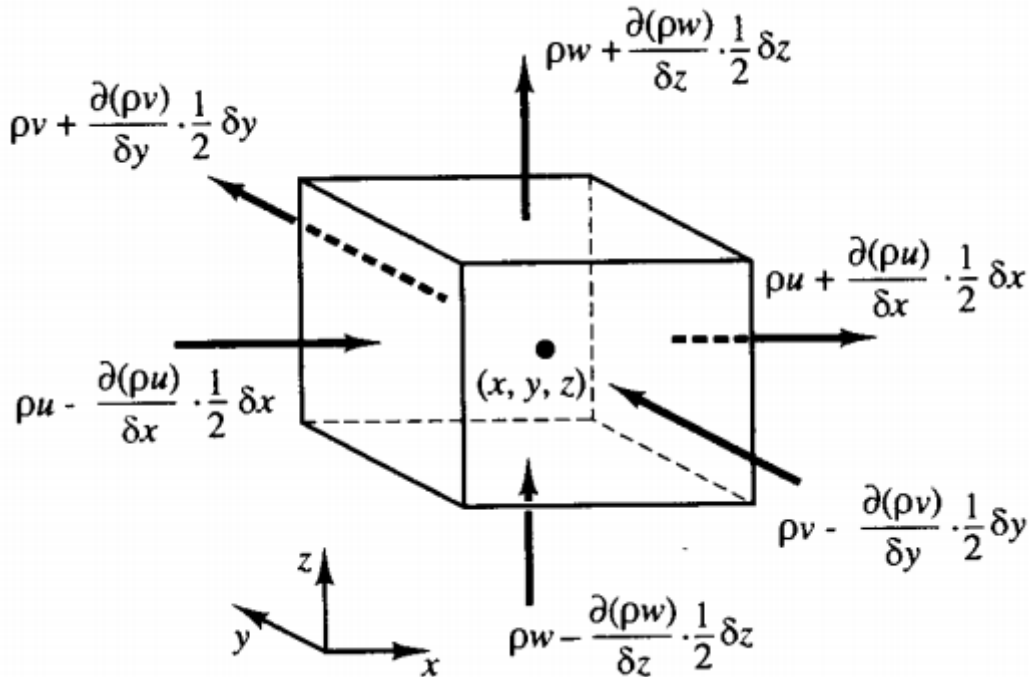


Figura 5. Caudales másicos entrando y saliendo del elemento

El índice de incremento de la masa dentro del elemento ahora se iguala al balance de caudal másico del elemento a través de sus caras (ecuación 7). Nótese que la ecuación está dividida por el volumen del elemento δx , δy , y δz :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (8)$$

O con una notación vectorial más compacta:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U}) = 0 \quad (9)$$

Ésta es la llamada **ecuación de la conservación de la masa** o **ecuación de la continuidad** en un punto para un fluido compresible. El primer término se refiere al cambio de la densidad respecto del tiempo. El segundo término describe el balance del caudal másico que atraviesa el elemento por medio de sus contornos; se denomina término convectivo.

Para un fluido incompresible y de densidad constante la ecuación 9 se simplifica en:

$$\boxed{\nabla \cdot U = 0} \quad (10)$$

Cambios en las propiedades de una partícula de fluido

Las leyes de conservación de la energía y de la cantidad de movimiento establecen sus ecuaciones a partir del cambio en las propiedades de una partícula de fluido. Esto se define como la aproximación de Lagrange. Cada propiedad de la partícula es una función de la posición (x, y, z) de esta partícula y del tiempo t . Considérese el valor de una propiedad por unidad de masa la notación f . La derivada total de una partícula que se desplaza con respecto del tiempo, Df/Dt , es:

$$\frac{Df}{Dt} = \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t} \quad (11)$$

Ya que la partícula sigue el flujo, $dx/dt = u$, $dy/dt = v$, $dz/dt = w$. De esta manera:

$$\frac{Df}{Dt} = \frac{\partial f}{\partial t} + (U \cdot \nabla)f \quad (12)$$

Así, Df/Dt define la rapidez en el cambio de una propiedad por unidad de masa f . Es posible determinar con métodos numéricos el comportamiento de un fluido a partir de la aproximación Lagrangiana, esto es, rastreando el movimiento de una partícula (ver figura 6). A pesar de ello, es más común desarrollar las ecuaciones sobre un conjunto de elementos de un fluido que conforman una región fijada en el espacio, como una tubería, bomba centrífuga, etc. Esto está definido por el método de Euler .

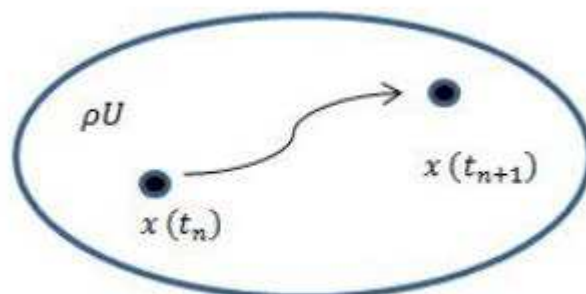


Figura 6. Recorrido de una partícula en movimiento.

Como en el caso de la conservación de la masa, aquí interesa el desarrollo de las ecuaciones en los cambios por unidad de volumen:

$$\rho \frac{Df}{Dt} = \rho \frac{\partial f}{\partial t} + \rho(U \cdot \nabla)f \quad (13)$$

3.1.2 Conservación de la cantidad de movimiento

Cuando la segunda ley de Newton se aplica en un elemento como el escogido, dice que la suma de fuerzas en el elemento es igual al índice de aumento del movimiento en esta partícula (masa × aceleración). Ya que esta afirmación es una relación vectorial, se puede descomponer en tres relaciones escalares mediante los ejes (X, Y, Z). Considerando solo la componente x:

$$F_x = ma_x \quad (14)$$

En primer lugar, considérese la parte izquierda de la ecuación 14. Partiendo de la afirmación de que el elemento experimenta una fuerza en la dirección x, las fuentes de esta fuerza pueden dividirse en 2 tipos:

1. Fuerzas de superficie: fuerzas viscosas, de presión, que actúan directamente en la superficie del elemento del fluido.
2. Fuerzas del cuerpo: fuerza centrífuga, la gravedad, Coriolis, fuerzas electromagnéticas, que actúan directamente en la masa del volumen del elemento en cuestión.

El estado en que el elemento del fluido se encuentra sometido a un esfuerzo en su superficie está definido en términos de presión y los nueve componentes de esfuerzo viscoso. La presión, un esfuerzo normal, se denomina p. Los esfuerzos viscosos vienen denominados por τ , agrupados en la matriz del tensor σ representado en la siguiente figura (ecuación 15). La anotación habitual de los dos sufijos τ_{ij} se aplica para indicar la dirección de tales esfuerzos. El sufijo j señala el esfuerzo viscoso actuando en esa dirección, en una superficie normal a la dirección i.

$$\sigma = \begin{bmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{bmatrix} \quad (15)$$

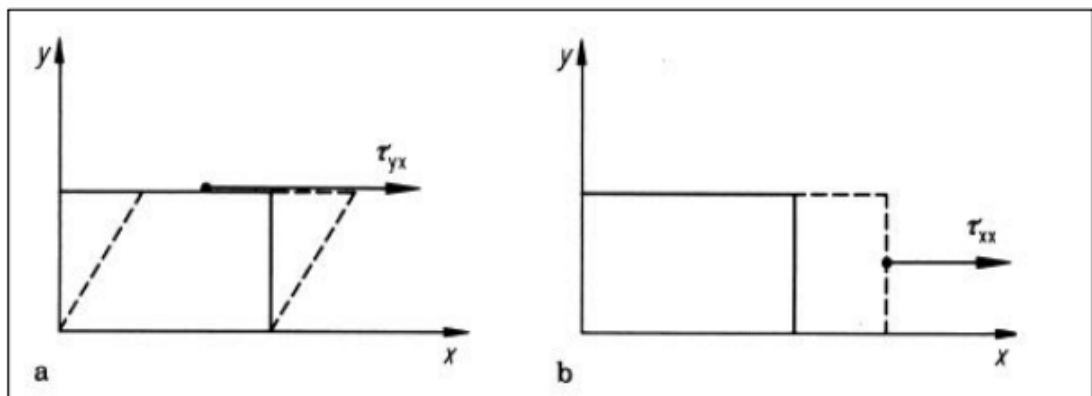


Figura 7. Esfuerzos cortante y normal.

Los esfuerzos cortante y normal en un fluido están relacionados con la deformación del elemento del fluido a través del tiempo, como se puede ver en la anterior figura. Aquí, el esfuerzo cortante (a) está relacionado con la deformación cortante en el tiempo, mientras que el esfuerzo normal (b) está relacionado con el cambio de volumen del elemento en el tiempo.

Como resultado, estos dos esfuerzos, así como la presión, dependen de los gradientes de velocidad en el fluido. En la mayoría de los fluidos viscosos, los esfuerzos normales son mucho más pequeños que los esfuerzos cortantes, por lo que en muchas ocasiones son despreciados. Los esfuerzos normales (como τ_{xx}), ganan más protagonismo cuando los gradientes de velocidad en la dirección normal (como $\partial u/\partial x$) son muy grandes, como por ejemplo dentro de una ola.

En el eje X de un sistema de coordenadas tridimensional se encuentran pues las fuerzas debidas a la presión p , y los componentes de esfuerzo τ_{xx} , τ_{yx} y τ_{zx} , mostrándose en la figura 8. Puede verse que las fuerzas alineadas con la dirección normal de un eje reciben un signo positivo y aquellas en la dirección opuesta reciben un signo negativo. La fuerza resultante en la dirección x es la suma de las fuerzas en los componentes actuando en el elemento.

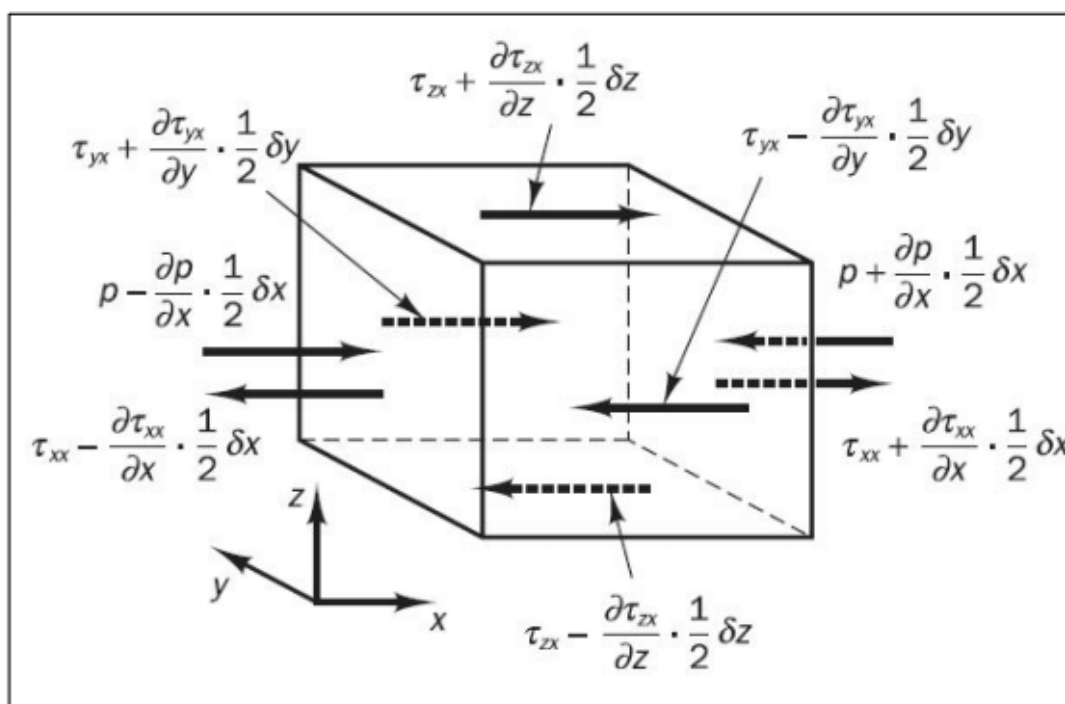


Figura 8. Componentes de la fuerza en la dirección x.

Aquí la presión es la magnitud de fuerza resultante del producto entre fuerza y superficie.

Después de hacer un balance de fuerzas entre caras opuestas, se suman las resultantes para dar:

$$\frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zx}}{\partial z} \quad (16)$$

Estas, como se ha mencionado, son las fuerzas en la superficie. Luego, denótese f_x la fuerza del cuerpo por unidad de masa actuando sobre el elemento en cuestión en la dirección x . Un ejemplo podría ser la gravedad, en la dirección z . Asumiendo que el volumen de un elemento es (dx, dy, dz) :

$$\rho f_x(dx dy dz) \quad (17)$$

Si se juntan estos dos últimos términos, se obtiene que la fuerza resultante en la dirección x es, por unidad de volumen:

$$f_x = \left(\frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zx}}{\partial z} \right) dx dy dz + \rho f_x dx dy dz \quad (18)$$

Ahora, volviendo al lado derecho de la ley de Newton, la masa del elemento en cuestión está fijada y es igual a:

$$m = \rho dx dy dz \quad (19)$$

Y por último, nótese que la aceleración de la partícula no es más que el cambio en el tiempo de su velocidad. Ya que se está siguiendo el movimiento del elemento del fluido, este cambio en el tiempo de la velocidad está dado por la derivada total. Recordando que se está trabajando en la dirección x :

$$a_x = \frac{Du}{Dt} \quad (20)$$

Finalmente, combinando estas ecuaciones, la conservación de la cantidad de movimiento viene dada por:

- Componente x :

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_x \quad (21)$$

- Componente y :

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial\tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zy}}{\partial z} + \rho f_y \quad (22)$$

- Componente z :

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial\tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-p + \tau_{zz})}{\partial z} + \rho f_z \quad (23)$$

La presión recibe signo negativo ya que está establecido que los esfuerzos de tensión mantengan el signo positivo, y la presión es un esfuerzo a compresión.

Aplicando la ecuación 20a todo lo desarrollado, se resume en:

$$\rho \frac{DU}{Dt} = \rho \frac{\partial U}{\partial t} + \rho(U \cdot \nabla)U = -\nabla p + \nabla \sigma + \rho \vec{f} \quad (24)$$

Flujo no viscoso

Si el flujo con el que se trabaja no es viscoso, no habrá esfuerzos viscosos ($\sigma=0$), por lo que la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento quedará simplificada:

$$\rho \frac{DU}{Dt} = -\nabla p + \rho \vec{f} \quad (25)$$

Esta es la denominada ecuación de Euler. Esta ecuación es muy utilizada en turbomáquinas.

Conservación de la energía

Esta ecuación esta fuera del entorno de estudio de este trabajo, puesto que no afecta al problema que se presenta. Mencionar que normalmente la energía de un fluido se define como la suma de la energía interna (térmica), la energía cinética $1/2 (u^2 + v^2 + w^2)$, y la energía potencial acumulada por la acción de la gravedad.

3.2 Ecuaciones de Navier-Stokes para un fluido Newtoniano e incompresible

En un fluido Newtoniano los esfuerzos viscosos son proporcionales a la deformación. La ley de Newton de la viscosidad para fluidos no compresibles en tres dimensiones incluye solo una constante de proporción: la viscosidad dinámica μ , que relaciona esfuerzos con deformaciones lineales. Así, los nueve componentes de fuerzas viscosas ya vistas son, cumpliéndose la simetría entre 6 de ellas:

$$\tau_{xx} = 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} ; \tau_{yy} = 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} ; \tau_{zz} = 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \quad (26)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (27)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad (28)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (29)$$

La sustitución de estos esfuerzos cortantes en la ecuación de la conservación de la cantidad de movimiento da paso a las denominadas ecuaciones de Navier-Stokes:

En la componente X, por ejemplo, desarrollando la expresión quedaría:

$$\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (30)$$

Finalmente, y asumiendo la fuerza \vec{f} como la gravedad, las ecuaciones de Navier-Stokes pueden representarse de la siguiente manera:

$$\boxed{\begin{aligned} \rho \frac{Du}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \cdot \nabla \cdot u + \rho g \\ \rho \frac{Dv}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \cdot \nabla \cdot v + \rho g \\ \rho \frac{Dw}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \cdot \nabla \cdot w + \rho g \end{aligned}} \quad (31)$$

Y recuperando la ecuación de la conservación de la masa para un fluido incompresible y densidad constante:

$$\boxed{\nabla \cdot U = 0} \quad (32)$$

Así, finalmente quedan 4 ecuaciones con 4 incógnitas (p, u, v, w).

3.3 La turbulencia y su asunción en las ecuaciones de Navier-Stokes. Las ecuaciones RANS

Mientras que las ecuaciones hasta ahora expuestas son suficientes para describir un fluido incompresible y laminar y, siendo una descripción para la continuidad en principio aplicable a toda escala, también son no-lineales y están sujetas a la inestabilidad. De manera natural, esta inestabilidad forma el fenómeno de la turbulencia. Prácticamente esto hace imposible resolver las ecuaciones analíticamente y requiere nuevas formulaciones de métodos numéricos para la solución de un estado particular del flujo. Normalmente estas formulaciones se realizan en un flujo estacionario, es decir, cuando el flujo ya está completamente desarrollado.

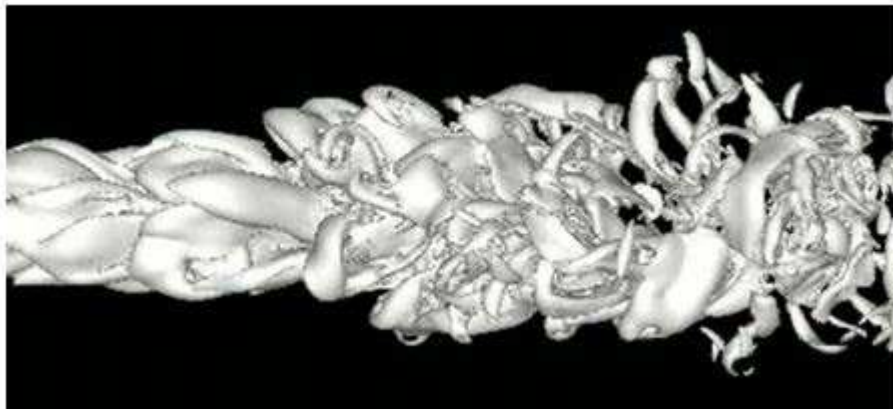


Figura 9. Diferentes tamaños de eddies formados como consecuencia del flujo turbulento por CFD.

La turbulencia es un régimen en que las propiedades de un fluido en un estado estacionario se manifiestan de manera aleatoria y caótica. Incluso en fluidos donde las principales presiones y velocidades tienen lugar en un espacio 2-D, las fluctuaciones turbulentas siempre tienen un carácter tridimensional. Además, si se mira un flujo desarrollado en régimen turbulento, se podrá apreciar formaciones de estructuras rotatorias, arremolinadas, los denominados torbellinos o “eddies”, con una amplia gama de tamaños.

Una típica medida de la velocidad en un punto es muy probable que presente una forma como la en la figura siguiente:

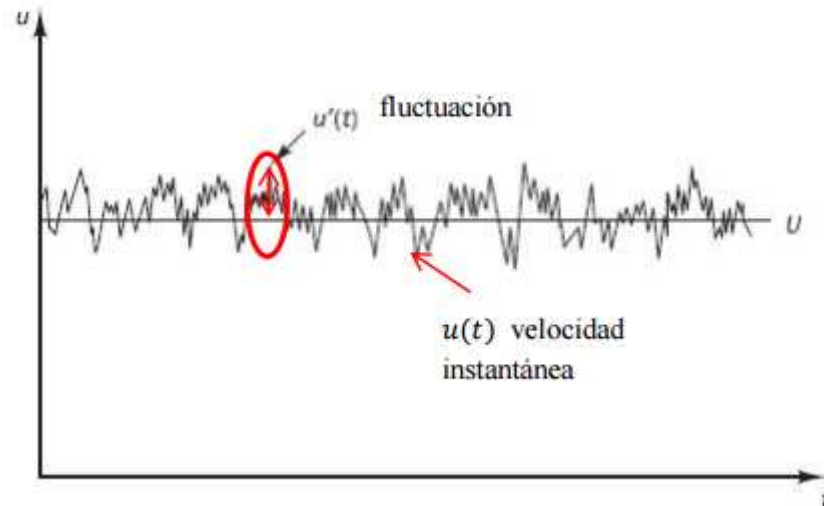


Figura 10. Descomposición de Reynolds de la velocidad en un punto.

La velocidad instantánea $u(t)$ en la figura 10 es descompuesta en un valor medio estable \bar{u} (U en la figura) con una componente de fluctuación denominada $u'(t)$, superpuesta en la velocidad:

$$u(t) = \bar{u} + u'(t) \quad (33)$$

Esta es la denominada descomposición de Reynolds. Ahora un fluido en régimen turbulento puede describirse con valores de las diferentes propiedades del fluido (\bar{u} , \bar{v} , \bar{w}), y algunas propiedades estadísticas de sus fluctuaciones (u' , v' , w' , p'). Dicho de otra manera, las velocidades instantáneas por las que se rigen las ecuaciones de Navier-Stokes no sirven en la predicción ya que varían mucho en el tiempo. Las ecuaciones RANS (“Reynolds Averaged Navier-Stokes”) utilizan las velocidades medias para un periodo de tiempo determinado en vez de valores instantáneos para poder describir el flujo.

Una vez descompuesto, se aplica el promedio en el tiempo (“time-averaged”), en este caso la variable velocidad. Para un periodo de tiempo determinado T , la velocidad media puede expresarse:

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_T u dt \quad (34)$$

Ahora, la velocidad media de la fluctuación u' está en torno a 0:

$$u' = u - \bar{u} ; \quad \bar{u}' = \frac{1}{T} \int_T (u - \bar{u}) dt = \frac{1}{T} \int_T u dt - \frac{1}{T} \bar{u} T = 0 \quad (35)$$

Aplicándose a Navier-Stokes:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial u'}{\partial x} \quad (36)$$

Y siguiendo lo anterior, para calcular la media de estas variaciones

$$\frac{1}{T} \int_T \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial x} = \frac{1}{T} \int_T \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} - \frac{\partial u'}{\partial x} \right) dt = \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \quad (37)$$

De modo generalizado, la ecuación de la conservación de la masa con términos promedios se resume en:

$$\nabla \cdot \bar{\mathbf{U}} = 0 \quad (38)$$

Y también se aplica en las ecuaciones de la conservación de la cantidad de movimiento. Todo esto se resume en la siguiente tabla:

Navier-Stokes	RANS
$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$	$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0$
$\rho \frac{DU}{Dt} = -\nabla p + \mu \cdot \Delta \cdot \mathbf{U} + \rho g$	$\rho \frac{D\bar{\mathbf{U}}}{Dt} = -\nabla \bar{p} + \mu \cdot \Delta \cdot \bar{\mathbf{U}} + \rho g + \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma}_T$

Dentro del último término $\nabla \cdot \boldsymbol{\sigma}_T$ se encuentran los llamados “Reynolds stresses”, estos son esfuerzos extras que surgen del flujo turbulento. Para la componente x , este término vendrá compuesto por:

$$\left[\frac{\partial(-\overline{pu'^2})}{\partial x} + \frac{\partial(-\overline{pu'v'})}{\partial y} + \frac{\partial(-\overline{pu'w'})}{\partial z} \right] \quad (39)$$

Estos esfuerzos extras se asumen como 6 esfuerzos adicionales, diferenciados como:

- del tipo normal

$$\tau_{xx} = -\overline{pu'^2} \quad ; \quad \tau_{yy} = -\overline{pv'^2} \quad ; \quad \tau_{zz} = -\overline{pw'^2} \quad (40)$$

- del tipo cortante

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = -\overline{pu'v'} \quad ; \quad \tau_{xz} = \tau_{zx} = -\overline{pu'w'} \quad ; \quad \tau_{yz} = \tau_{zy} = -\overline{pv'w'} \quad (41)$$

Los del tipo normal incluyen la variación de las fluctuaciones de velocidad en x , y , z . Siempre son $\neq 0$ ya que contienen fluctuaciones de velocidad cuadráticas. Los de tipo cortante contienen movimientos secundarios asociados con las correlaciones entre los diferentes componentes de la velocidad. Como se especifica en la ecuación 38 si un valor de fluctuación como por ejemplo u' se comporta de manera aleatoria e independiente de sus otras componentes de velocidad, el promedio en el tiempo $\overline{u'v'}$ será 0. Sin embargo, la formación de “eddies” en el flujo turbulento aseguran que las correlaciones entre pares de componentes de velocidad también sean $\neq 0$, y de hecho pueden llegar a ser mayores que los esfuerzos viscosos.

3.4 Modelos de turbulencias

No es de extrañar que a causa de los fluidos estacionarios turbulentos se hayan investigado y desarrollado durante décadas (y aún hoy en día sigue) varios métodos para predecir este flujo turbulento. Existen tres métodos en los que se basan los diferentes modelos aplicables:

1. **Modelos para las ecuaciones de RANS.** Está focalizado en el fluido principal y la magnitud en el desarrollo de las fluctuaciones del flujo turbulento. Los esfuerzos extra de Reynolds se abordan con modelos clásicos de turbulencia: los más conocidos son los $k-\epsilon$, $k-w$ y el modelo de Reynolds Stress. Este método necesita capacidades de cálculo modestas, y siendo una aproximación no tan exacta de la turbulencia como los siguientes dos métodos, hace que sea el más utilizado por ingenieros.
2. **Large Eddy Simulation (LES).** Este sería como el término intermedio del cálculo de la turbulencia en que representa el comportamiento de los eddies de mayor escala. La malla del dominio ha de ser mucho más pequeña que en los modelos basados en RANSs, y ya que no se utiliza promedios en el tiempo, requiere de pequeños intervalos de tiempo para el seguimiento. El flujo resuelto comprende el flujo principal y los eddies de mayor longitud, aunque las fluctuaciones pequeñas también son incluidas ya que este método utiliza una submalla escalada previamente para ello. Aunque el hecho de que aquí haya que resolverse las ecuaciones de inestabilidad temporal y por eso requiera mucha memoria y coste computacional, en los últimos años este método está ganando atención, sobre todo para geometrías complejas.
3. **DirectNumericalSimulation (DNS).** Con esta técnica se es capaz de resolver todo tipo de fluctuaciones además del flujo principal. Sin embargo para ello la malla ha de ser ultra fina y los intervalos de tiempo muy pequeños. Como es lógico es muy susceptible al incremento del número de Reynolds. El uso de esta técnica solo está reservado para investigaciones de alto nivel con supercomputadores.

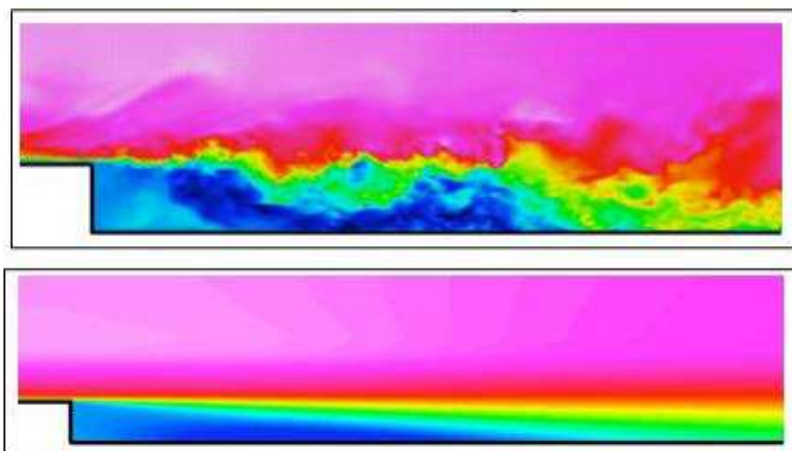


Figura 11. Diferencia de contornos de intensidad de turbulencia. DNS (arriba) y RANS (abajo).

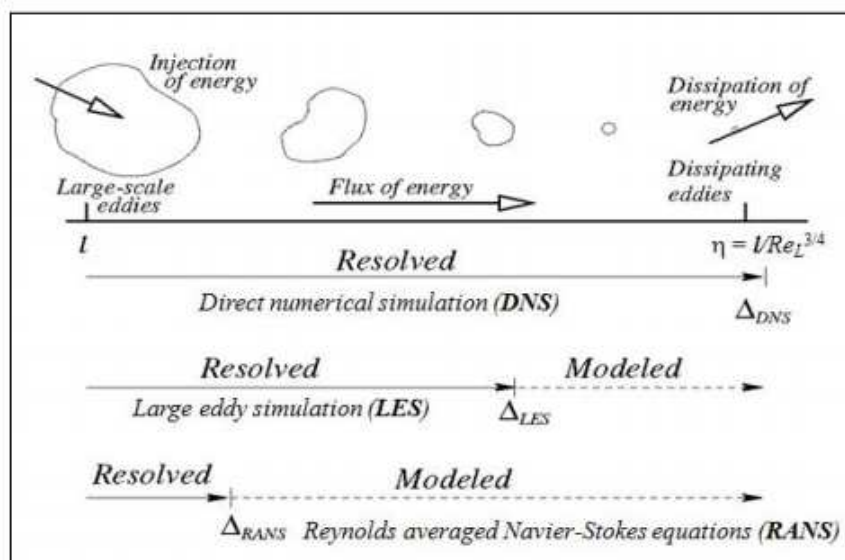


Figura 12. Escalado en la resolución y modelado para los diferentes métodos.

La aproximación de Boussinesq en RANSs

En 1877, Boussinesq propuso que los esfuerzos de Reynolds podían ser proporcionales a los principales rangos de deformación. Usando esta aproximación los 6 esfuerzos desconocidos pasaban a ser dos variables desconocidas, μ_t , y k , donde la primera se define como una analogía de los esfuerzos viscosos en las ecuaciones de la conservación de la cantidad de movimiento, la denominada viscosidad turbulenta (Eddy viscosity, unidad $Pa \cdot s$), y la segunda es la energía cinética turbulenta (turbulent kinetic energy) por unidad de masa, definida como $k = \frac{1}{2}(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2})$.

$$-\rho \overline{u_i u_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \tag{42}$$

El número de ecuaciones necesarias para determinar estas dos variables desconocidas recae en el tipo de modelo escogido. En la siguiente tabla puede verse algunos ejemplos:

Nº de ecuaciones	Modelo
Una	Spalart-Allmaras
Dos	$k - \varepsilon$ (Standard, RNG y Realizable)
	$k - w$ (Standard, SST)
Siete	Reynolds Stress

Tabla 1. Ejemplos de modelos de turbulencia según el número de ecuaciones adicionales.

En el modelo $k-\varepsilon$, la energía cinética turbulenta y el rango de disipación de esta energía tiene sus propias ecuaciones de transporte. La viscosidad turbulenta viene definida (y limitada) como:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \tag{43}$$

La ventaja de un modelo de dos ecuaciones como este sobre los de una ecuación es que permiten que las fluctuaciones y las escalas de longitud de los “eddies” se determinen de manera independiente.

La variación del modelo “Stándar” frente al “Realizable” recae en la ecuación de la disipación de la energía turbulenta, ϵ , en el segundo caso se utiliza una ecuación nueva modelada a partir de los promedios de las fluctuaciones.

En el modelo $k - w$, w es la disipación específica de la turbulencia, también con su propia ecuación de transporte. Aquí la viscosidad turbulenta viene definida como:

$$\mu_t = \rho \frac{k}{w} \quad (44)$$

4 DATOS DE REFERENCIA

En primer lugar se define el fluido que se considera en todos los cálculos a realizar en el presente capítulo. Este será agua salada a 15°C con unos valores dados por la ITTC57 los cuales se definen a continuación:

- Salinidad 3,5%
- Densidad (ρ) 1025,9 kg/m³
- Viscosidad cinemática (ν) 1,1883x10⁻⁶ m²/s
- Viscosidad dinámica (μ) 1,22E-03 kg/m·s

En el cálculo del problema multi-fásico, es necesaria la introducción de aire como fase adicional. Los valores de referencia serán los siguientes.

- Densidad (ρ) 1,225 kg/m³
- Viscosidad cinemática (ν) 1,79x10⁻⁵ m²/s
- Viscosidad dinámica (μ) 2,19x10⁻⁵ kg/m·s

Además se tendrán en cuenta los siguientes valores de propiedades medioambientales:

- Gravedad (g) 9,81m/s²

Para este proyecto la acción del aire se considera despreciable frente a la importancia de la resistencia al avance generada por el agua. El alcance de este se centra en la interacción entre el casco y el fluido por el que se desplaza.

Para el estudio de la resistencia al avance se establece un calado de 6,5 m para tener un margen en la capacidad de carga y los posibles efectos provocados por el oleaje sobre el casco y así calcular un caso más desfavorable.

5 ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE MEDIANTE MAXSURF RESISTANCE

5.1 Métodos

Partiendo del modelo creado en el capítulo anterior e introduciéndolo en el módulo de MaxsurfResistance se procede a la estimación de la resistencia al avance mediante los diferentes métodos disponibles en el programa. Los diferentes métodos disponibles se resumen en la siguiente lista:

- Métodos para buques de planeo:
 - Savitsky (pre-planing).
 - Savitsky (planing).
 - Blount y Fox.
 - Lahtiharju.
 - Wyman.
- Métodos para buques de desplazamiento:
 - Wyman.
 - Holtrop.
 - Compton.
 - Fung.
 - Van Oortmerssen.
 - Series 60.
 - Korean Register os Shipping (KR) Barge.
- Métodos aplicables para yates:
 - Delf Series I, II y III.
- Métodos analíticos:
 - Slender Body.

Para el caso que ocupa a este proyecto se seleccionan los métodos relacionados con los buques de desplazamiento, en concreto el método de Holtrop aplicable a buques de carga general y el método analítico Slender Body. Este último está basado en el cálculo la resistencia por formación de olas y añadiéndole la resistencia viscosa calculada mediante la línea de la ITTC 57 y un factor de forma calculado mediante las regresiones generadas en el método de Holtrop.

Select methods to be computed ×

Planing

Savitsky pre-planing

Savitsky planing

Blount and Fox

Lahtiharju

Wyman

Displacement

Holtrop

Compton

Fung

van Oortmerssen

Series 60

KR Barge resistance

Yachts

Delft I, II

Delft III

Analytical

Slender Body

Form factor (1+k), including viscous interaction for multihulls

Method

Use 19th ITTC modified formula for CA

Figura 13. Selección de los métodos de cálculo.

5.1.1 Holtrop

Es un método estadístico obtenido a partir de regresiones matemáticas de los resultados de los ensayos del Canal de Wageningen y de resultados de pruebas de mar de buques construidos, que proporciona estimaciones de la resistencia bastante satisfactorias.

La muestra de buques que se ha tomado para este método abarca petroleros, bulkcarriers, buques de carga general, pesqueros, remolcadores, portacontenedores y fragatas entre otros. El procedimiento de predicción de potencia es válido para buques de una o dos hélices. Su rango de aplicación viene expresado en la siguiente tabla:

Tipo de buque	$F_{r_{m\acute{a}x}}$	C_p		L/B		B/T	
		Min.	Max.	Min.	Max.	min	Max.
Petroleros, bulkcarriers	0,24	0,73	0,85	5,1	7,1	2,4	3,2
Arrastreros, costeros, remolcadores	0,38	0,55	0,65	3,9	6,3	2,1	3,0
Portacontenedores	0,45	0,55	0,67	6,0	9,5	3,0	4,0
Cargueros	0,30	0,56	0,75	5,3	8,0	2,4	4,0
Roll-on Roll-off, ferries	0,35	0,55	0,67	5,3	8,0	3,2	4,0

Tabla 2. Rango de aplicación para Holtrop.

La resistencia al avance se calcula mediante el procedimiento tridimensional de Hughes, utilizando la línea básica de fricción de la ITTC57. La resistencia total se divide en las siguientes componentes:

$$R_T = R_V + R_{AP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \quad (45)$$

- R_T = Resistencia total
- R_V = Resistencia viscosa
- R_{AP} = Resistencia de los apéndices
- R_W = Resistencia por formación de olas
- R_B = Resistencia de presión producida por el bulbo
- R_{TR} = Resistencia de presión de la popa de estampa cuando está sumergida
- R_A = Resistencia debida al coeficiente de correlación modelo-buque, CA

5.1.2 Slender Body

Un método de cuerpos esbeltos, basados en los trabajos de Tuck et al (1999) y Course et al (1996) está disponible en el software MaxSurf Resistance. Este método utiliza un enfoque basado en las aproximaciones de Michell (1898) utilizadas para el cálculo de la resistencia por formación de olas a babor y estribor en monocascos simétricos.

Puede ser utilizado en diferentes tipos de formas, incluidos los multicascos. Sin embargo, estos cascos deben ser esbeltos, es decir, tener una manga estrecha en comparación con su eslora, además deben ser simétricos respecto a su línea de crujía. Las fuerzas de planeo son despreciadas en este método. En general se pueden obtener resultados sensibles para una amplia gama de velocidades para diferentes tipos de buques operando a números de Froude normales.

Este método compila la energía generada por el patrón de olas creado por el buque en su avance por el agua y obtiene la resistencia por formación de olas del buque. Para calcular la resistencia total, Maxsurf calcula y añade la resistencia viscosa utilizando la línea de fricción de la ITTC57 y el factor de forma específico.

Para este método, Maxsurf Resistance crea una malla rectangular alrededor de la carena generando secciones y líneas de agua. Para editar la malla el programa dispone de una ventana en la que se puede establecer el número de elementos de la malla y sus

dimensiones para que abarque correctamente al buque. A mayor número de elementos en la malla mayor será el tiempo de cálculo pero también mayor su precisión. Los datos para la malla se presentan en la siguiente tabla:

	Name	Col	Surfa	Num.	Trans.y-ordinate origin m	Aft m	Fwd m	A port m	A starb. m	A top m	A bott. m
1	Default			501	0,000	-5,710	105,700	-8,237	8,237	6,500	0,000

Figura 14. Valores para la malla en el método analítico.

En la siguiente imagen se aprecia como la malla se adapta a la zona de proa de la carena:

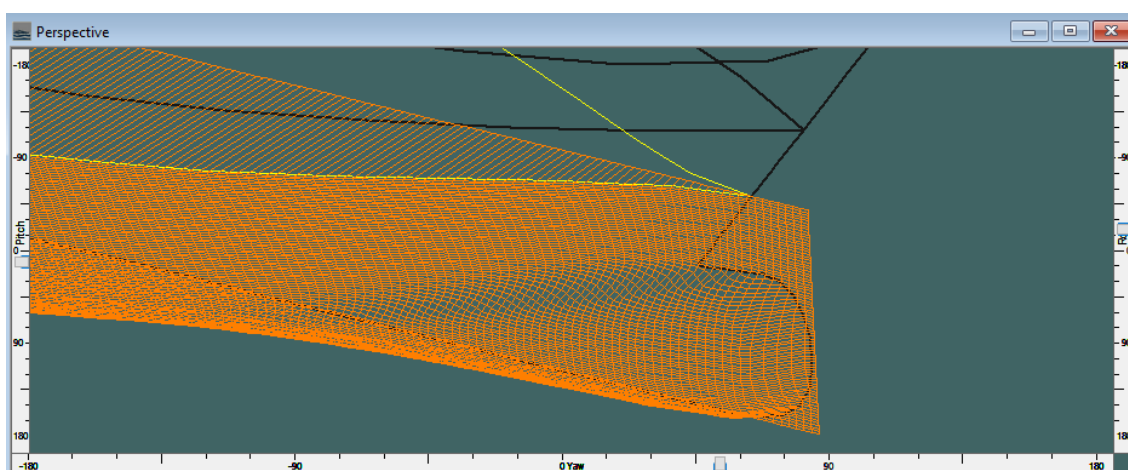


Figura 15. Malla en la zona del bulbo.

En la ventana Data, aparecerá una columna para cada método con la información relevante de cada uno, con espacios para introducir datos, de ser necesario. En general estos métodos no utilizan todos los datos disponibles aportados por la carena, tan solo los datos relevantes aparecerán en estas columnas.

En la ventana de resultados aparecerán dos columnas con los datos de salida de cada método, una para la predicción de resistencia y otra para la potencia requerida.

Si se desea utilizar la fórmula modificada en la 19ª ITTC para CA (coeficiente de correlación aditivo) se debe marcar la casilla correspondiente. Esta fórmula se utiliza para el cálculo del coeficiente relacionado con la rugosidad de la superficie del casco.

5.2 Cálculo de la resistencia y potencia necesaria

Antes de visualizar los resultados se deben validar los datos y seleccionar el rango de velocidades. Una vez establecidos estos parámetros los resultados serán calculados automáticamente mediante los algoritmos integrados en el programa para cada método.

5.2.1 Validación de los resultados

En la ventana de Data aparecen los datos a utilizar. Si alguno de estos está fuera de los rangos aplicables a los métodos se remarcarán como se puede apreciar en la siguiente imagen:

	Item	Value	Units	Holtrop	Van Oortmerssen	Compton	Slender body
1	LWL	111,335	m	111,335	111,335 (high)	111,335 (low)	--
2	Beam	16,304	m	16,304	16,304 (low)	16,304 (low)	--
3	Draft	6,5	m	6,5	6,5 (low)	6,5	--
4	Displaced volume	7939,534	m³	7939,534	7939,534 (high)	7939,534 (high)	--
5	Wetted area	2473,13	m²	2473,13	2473,13 (high)	2473,13	2473,13
6	Prismatic coeff. (Cp)	0,692		0,692	0,692	--	--
7	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,826		0,826	--	--	--
8	1/2 angle of entrance	23,3	deg.	23,3	23,3	--	--
9	LCG from midships(+ve for	-0,267	m	-0,267	-0,267	-0,267 (high)	--
10	Transom area	0	m²	0	--	--	--
11	Transom w/ beam	0	m	--	--	--	--
12	Transom draft	0	m	--	--	--	--
13	Max sectional area	103,04	m²	--	103,04 (high)	--	--
14	Bulb transverse area	8,131	m²	8,131	--	--	--
15	Bulb height from keel	2,044	m	2,044	--	--	--
16	Draft at FP	6,5	m	6,5	--	--	--
17	Deadrise at 50% LWL	0,2	deg.	--	--	--	--
18	Hard chine or Round bilge	Round bilge		--	--	Round bilge	--
19							
20	Frontal Area	0	m²				
21	Headwind	0	kn				
22	Drag Coefficient	0					
23	Air density	0,001	tonne/				
24	Appendage Area	0	m²				
25	Nominal App. length	0	m				
26	Appendage Factor	1					
27							
28	Correlation allow.	0,0004		Calculate	0,0004	0,0004	0,0004
29	Kinematic viscosity	0,0000011	m²/s				
30	Water Density	1,026	tonne/				

Figura 16. Validación de datos para diferentes métodos.

Como se puede apreciar para los métodos de van Oortmerssen y Coptom los valores aparecen resaltados y con un indicativo (low [Rojo] o high [Naranja]) para indicar por donde es sobrepasado el rango, sin embargo para el método de Holtrop y SlenderBody no tiene ninguna apreciación por lo que son utilizables.

5.2.2 Rango de velocidades

Se establece el rango de velocidades entre 0 y 20 kn.

Speed Range ✕

Minimum

Maximum

Figura 17. Rango de velocidades.

5.2.3 Eficiencia

Para el cálculo de la potencia necesaria para que el buque navegue a una velocidad determinada es necesario conocer el rendimiento propulsivo. Este rendimiento se define como la relación entre la potencia útil empleada en vencer la resistencia a la marcha a una cierta velocidad, y que queda representada por la potencia efectiva (EHP) calculada por el programa por los diferentes métodos, y la potencia instalada en el motor de propulsión de combustión interna expresada en forma de potencia al freno (BHP). Por lo tanto se puede resumir esto en la siguiente expresión:

$$\eta_P = \frac{EHP}{K_S \cdot BHP} = \eta_{mec} \cdot \eta_D = \eta_{mec} \cdot \eta_H \cdot \eta_{RR} \cdot \eta_0 \quad (46)$$

El rendimiento propulsivo nos da una idea de la eficiencia propulsiva del buque y se compone de cuatro factores, el rendimiento del casco (η_H), el rendimiento del propulsor aislado (η_0), el rendimiento rotativo relativo (η_{RR}), siendo el producto de estos el rendimiento cuasi-propulsivo, calculado como tal a continuación; y el rendimiento mecánico de la línea de ejes (η_{mec}).

Normalmente en motores diésel el punto de funcionamiento del propulsor se fija en un porcentaje de la potencia instalada ($K_S =$ entre el 85 y el 90%) al 100% de las revoluciones nominales. Para la estimación del rendimiento cuasi-propulsivo existen diversas fórmulas para buques de una hélice, las cuales se presentan a continuación:

Fórmula de Lap

$$\eta_D = 0,885 - 0,00012 \cdot N \cdot \sqrt{L_{pp}} \quad (47)$$

Fórmula de Parga

$$\eta_D = 0,84 - \frac{N \cdot \sqrt{L_{pp}}}{18000} + \frac{\left(\frac{v}{C_B}\right)^2}{24000} \quad (48)$$

Fórmula del Canal del Pardo

$$\eta_D = 0,973 - 0,000187 \cdot N \cdot \sqrt{L_{pp}} + 0,023 \cdot \frac{B}{T} - 0,2 \cdot C_B + 0,00013 \cdot N \cdot C_B \quad (49)$$

Cuando no se conocen las revoluciones de la hélice, en una primera estimación, podemos aproximarla de acuerdo a la siguiente tabla.

Desplazamiento (Tm.)	Revoluciones (rpm)
Menos de 1000	500
de 1000 a 2000	400
de 2000 a 3000	300
de 3000 a 5000	200
de 5000 a 7500	150
de 7500 a 12000	125
de 12500 a 25000	115
de 25000 a 50000	110
más de 50000	100

Tabla 3. Aproximación Revoluciones – Desplazamiento.

Por lo tanto se puede decir que el buque tratado en este proyecto estará comprendido entre 150 y 125 rpm, por lo que se obtendrán con cada fórmula unos valores del rendimiento propulsivo como aparece en la siguiente tabla, calculando la media de estas se obtiene un rango en el que se moverá este rendimiento y se tomará un valor intermedio como buena aproximación:

N	125	150
Fórmula de Lap	0,7320	0,7014
Fórmula de Parga	0,7730	0,7589
Fórmula C. Pardo	0,6548	0,6095
Media	0,7320	0,7014

Tabla 4. Rendimientos cuasi-propulsivo mediante diferentes fórmulas.

Por lo tanto se tomará el valor de 0,7167 para el rendimiento cuasi-propulsivo. Además se estima que el rendimiento mecánico se puede estimar en el 0,98. Por lo tanto el rendimiento propulsivo a tomar en este buque queda de la siguiente forma.

$$\eta_p = 0,7024$$

Es decir, la potencia que debe tener el motor para que navegue a la velocidad requerida será la siguiente:

$$BHP = \frac{EHP}{0,85 \cdot 0,7024} = \frac{EHP}{0,60} = \frac{R_t \cdot v}{0,60} \quad (47)$$

Con esto se puede pasar a la visualización de los resultados.

5.2.4 Resultados

Antes de visualizar los resultados se realiza una primera estimación mediante una hoja de cálculo con el método de Holtrop y Mennen programado con anterioridad para estimar la resistencia al avance y comprobar la validez y coherencia con los datos obtenidos mediante el software.

Para visualizar los resultados obtenidos se debe abrir la ventana “Results” y en esta aparecerán los resultados del cálculo mediante Holtrop directamente, tan solo con introducir los valores del buque en la ventana “Data”. Sin embargo para el método de Slender Body es necesario iniciar el “solver” del programa para que compile toda la información de la malla.

A continuación se presentan los datos obtenidos mediante el artículo de Holtrop y los resultados obtenidos en el programa Maxsurf. En ambos casos se presenta en forma tabulada (Tabla 4 y 5) y en gráficos (Figura 22 y 23). Además se puede visualizar la estela creada por el buque como se verá en este apartado.

- Resultados tabulados:

RESISTENCIA AL AVANCE					
Velocidad (kn)	N. Froude LWL	N. Froude Volumen	Holtrop (Artículo) (kN)	Holtrop (Maxsurf) (kN)	Slenderbody (Maxsurf) (kN)
1	0,016	0,037	1,255	1,100	1,100
2	0,031	0,074	4,592	4,000	4,100
3	0,047	0,110	9,826	8,600	9,100
4	0,063	0,147	16,863	14,800	16,300
5	0,078	0,184	25,678	22,600	32,700
6	0,094	0,221	36,237	31,900	53,700
7	0,110	0,257	48,540	42,700	72,100
8	0,125	0,294	62,703	55,100	84,500
9	0,141	0,331	79,055	69,400	94,400
10	0,157	0,368	98,241	85,900	111,400
11	0,172	0,405	121,241	105,400	134,600
12	0,188	0,441	148,694	128,900	160,000
13	0,204	0,478	186,847	157,600	233,400
14	0,219	0,515	222,874	193,100	310,200
15	0,235	0,552	293,947	236,800	475,700
16	0,251	0,588	350,090	287,600	468,600
17	0,266	0,625	392,753	351,800	846,900
18	0,282	0,662	508,944	440,000	1520,400
19	0,298	0,699	724,182	544,300	1942,400
20	0,314	0,736	926,062	639,200	1951,000

Tabla 5. Métodos Holtrop mediante artículo y el obtenido por Maxsurf además, el método Slenderbody.

Como se puede apreciar existe una diferencia importante en el cálculo de la resistencia al avance mediante Holtrop, siendo inferior la potencia dada por el programa a la calculada mediante el artículo.

Aplicando el rendimiento propulsivo se obtiene la potencia necesaria a instalar en el buque:

POTENCIA NECESARIA				
Velocidad (kn)	N. Froude LWL	Holtrop (Artículo) (kW)	Holtrop (Maxsurf) (kW)	Slenderbody (Maxsurf) (kW)
1	0,016	1,081	0,944	0,937
2	0,031	7,914	6,927	7,058
3	0,047	25,397	22,280	23,395
4	0,063	58,116	51,095	56,280
5	0,078	110,620	97,331	140,920
6	0,094	187,327	164,865	277,783
7	0,110	292,748	257,633	434,912
8	0,125	432,191	380,056	582,695
9	0,141	613,017	537,959	732,294
10	0,157	846,434	739,920	959,916
11	0,172	1149,051	998,720	1275,464
12	0,188	1537,358	1332,558	1654,705
13	0,204	2092,806	1765,497	2614,836
14	0,219	2688,357	2329,447	3741,742
15	0,235	3798,908	3061,202	6148,733
16	0,251	4826,124	3965,534	6460,353
17	0,266	5752,642	5152,875	12405,627
18	0,282	7892,995	6824,186	23581,594
19	0,298	11854,959	8911,735	31799,380
20	0,314	15957,646	11015,886	33622,599

Tabla 6. Potencias calculadas.

Como se puede apreciar en las tablas y en los comentarios anteriores se observa una diferencia en la potencia calculada. Sin embargo, la potencia calculada mediante el artículo y la dada por el método de Slender Body están próximas para la velocidad de proyecto por lo que se consideran estas como las válidas para seguir con las comparaciones entre programas.

- Resultados en gráfico:

Resistencia al avance (kN) - Velocidad (kn)

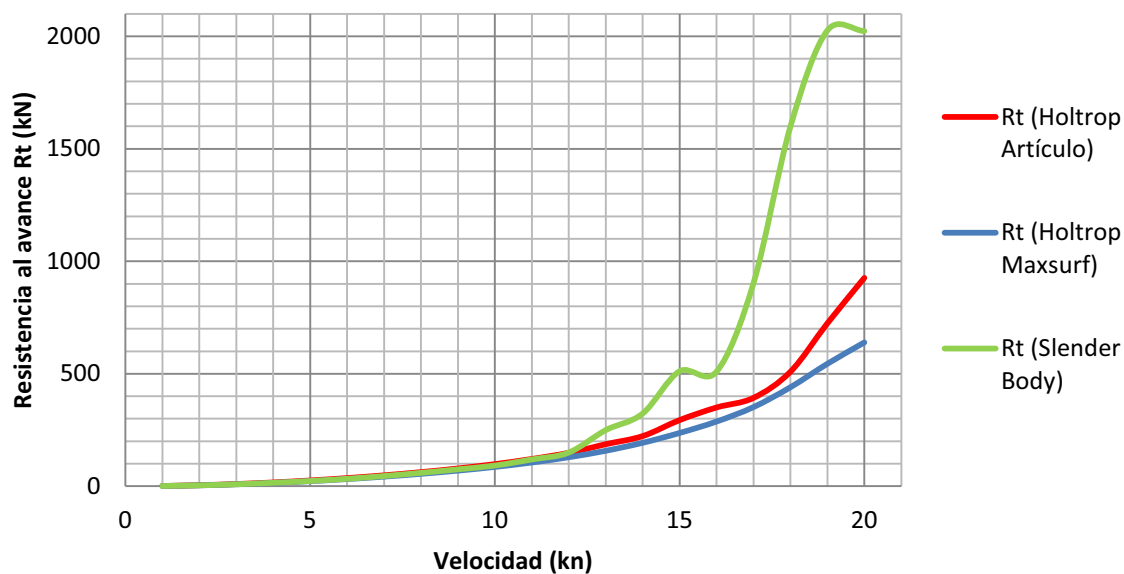


Figura 18. Resistencia total vs velocidad.

BHP (kW) - Velocidad (kn)

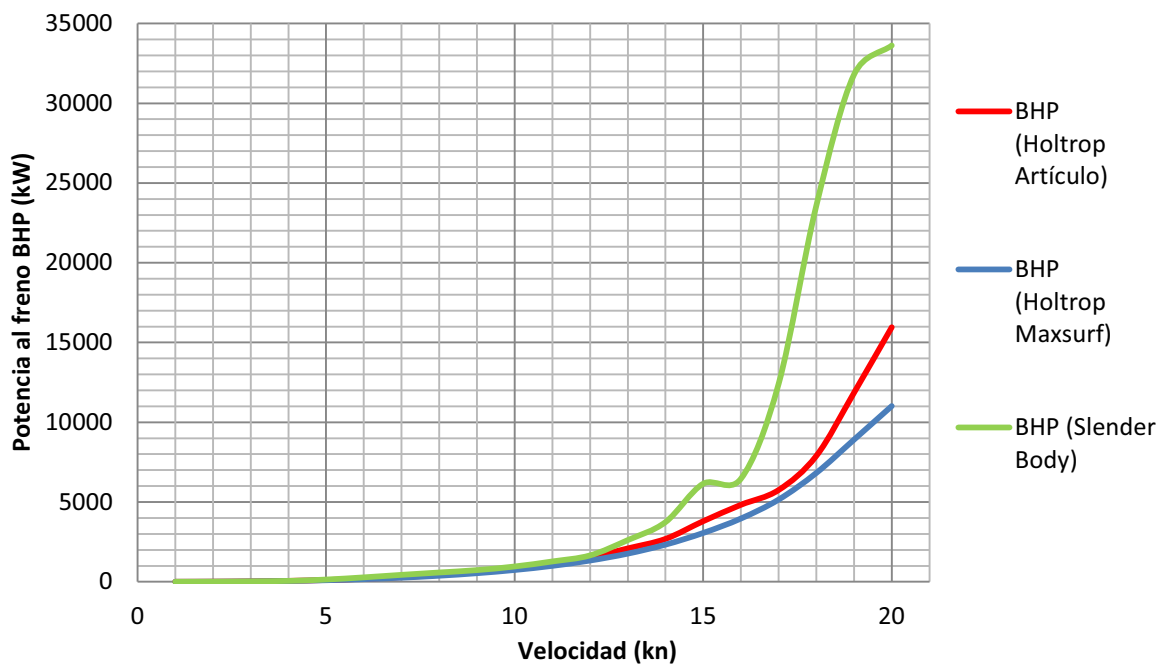


Figura 19. Potencia vs velocidad.

6 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE MEDIANTE TDYN COMPASS

El programa Tdyn está basado en la teoría CFD. Utiliza herramientas numéricas para resolver las ecuaciones de cantidad de masa, movimiento y momento que describen el movimiento de los fluidos.

Será necesario disponer las ecuaciones de los fenómenos físicos de los modelos, de manera que el ordenador sea capaz de resolverlas, ya que muchas de ellas son ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, muchas con términos no lineales, que dificultarán su resolución. Otro aspecto a discretizar será la geometría de estudio, cuya simplificación ayudará a la resolución del fenómeno. Aunque el campo fluido sea continuo, las ecuaciones no pueden ser resueltas en tantos puntos de fluido como se desee, así que será necesario discretizar el dominio en un número determinado de puntos, donde serán resueltas las ecuaciones, a este paso se le llama **discretización espacial**.

Por otro lado, cuando el fenómeno está regido por ecuaciones que dependen del tiempo, tampoco es posible el estudio del fenómeno de forma continua, así que será necesaria una **discretización temporal**.

Por último, de las ecuaciones de gobierno se eliminarán aquellos términos que no sean necesarios o despreciables, con lo que tendremos un nivel más de aproximación, al que llamaremos **aproximación dinámica**.

6.1 Datos iniciales del problema

El fluido para el Volumen de Control elegido es el agua de mar definido al principio del capítulo. A la velocidad de crucero definida (14 kn) para una eslora del buque dada se obtienen unos números de Reynolds y Froude mediante las expresiones definidas en las ecuaciones (1) y (2) del presente capítulo.

La siguiente tabla muestra un resumen de los datos de entrada que se utilizarán en el resto del apartado:

Datos de entrada		
Eslora	111,331	m
Densidad del agua	1025,9	kg/m ³
Viscosidad cinemática	1,19E-06	m ² /s
Viscosidad dinámica	1,22E-03	kg/m·s
Velocidad	14	kn
	7,202	m/s
Gravedad	9,81	m/s ²
Superficie mojada	2472,32	m ²
Rn	6,75E+08	-
Fn	0,218	-

Tabla 7. Datos de entrada.

Para este caso, se seleccionan los siguientes tipos de problemas a solucionar por el programa en la ventana inicial:

- 3D: modelo en tres dimensiones.
- Flow in Fluids: flujo de un fluido a definir.
- Transpiration: tipo de superficie libre, en este caso será plana, sin oleaje.

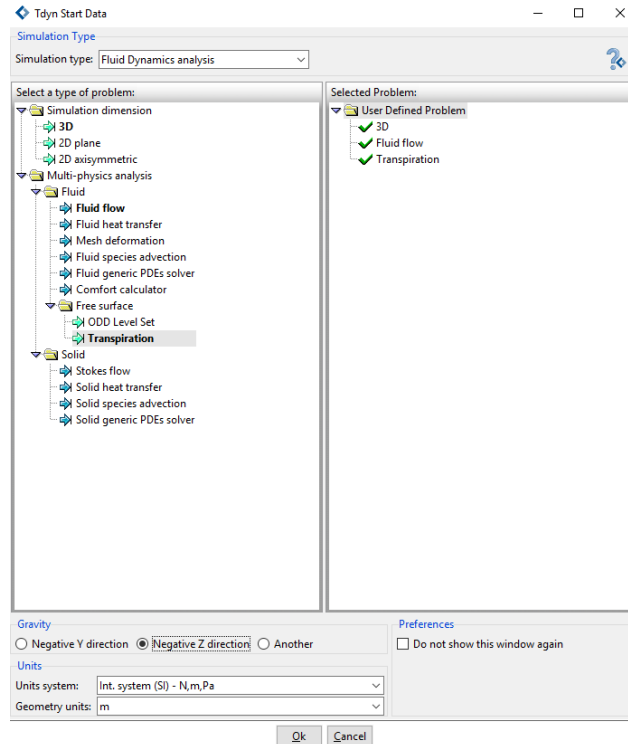


Figura 20. Definición del problema en la ventana de inicio.

6.2 Discretización espacial

6.2.1 Geometría

El archivo “.igs” creado anteriormente se debe adaptar a las condiciones de simulación de este software, para ello se debe crear un nuevo modelo, que consista en el mismo modelo cortado por crujía, de modo que solo se analice la mitad de este, además de la creación de una “cuchara” en popa de una longitud determinada que se definirá más adelante en la determinación de los parámetros necesarios para el problema.

6.2.2 Volumen de control o Volumen de Fluido (VDF)

El VDF tendrá los mismos criterios de tamaño que anteriormente con algunas diferencias, en este caso si se contempla superficie libre, y al tratarse solo con uno de los costados las coordenadas varían para reducir este a la mitad como sigue:

Volumen de control		
Aguas abajo (A popa) (140%L)	153,6794	m
Aguas arriba (A proa) (70%L)	76,8397	m
Anchura(80%L)	87,8168	m
Profundidad (80%L)	87,8168	m

Tabla 8. Dimensiones para el VDF.

Por lo tanto tomando el origen de coordenadas como anteriormente:

Coordenadas de los vertices	x	y	z
Pared de entrada	186,611	87,817	6,500
	186,611	87,817	-87,817
	186,611	0,000	-87,817
	186,611	0,000	6,500
Pared salida	-153,679	87,817	6,500
	-153,679	87,817	-87,817
	-153,679	0,000	-87,817
	-153,679	0,000	6,500

Tabla 9. Coordenadas para el VDF.

6.2.3 Importación del modelo y creación del volumen de control

Una vez conocidos todos los datos necesarios para crear la geometría a estudio se crea el modelo conforme a lo definido anteriormente y se importa en el programa. Tras este paso se introducen los puntos que conformarán los vértices del Volumen de Control y estos se unen mediante líneas, se crean las superficies del prisma y con estas y la superficie del buque se crea el volumen interior como se aprecia en las siguientes imágenes:

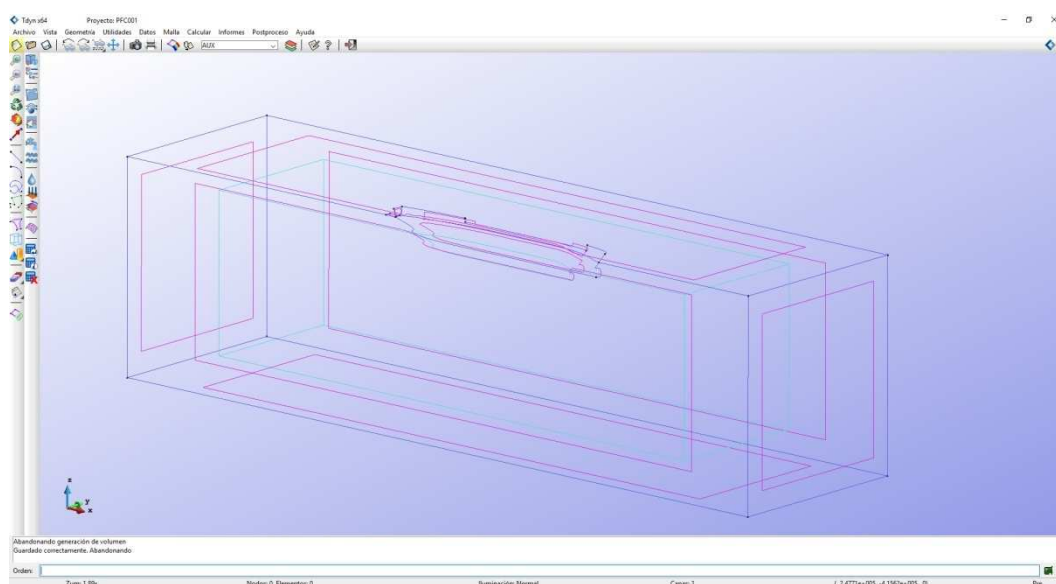


Figura 21. Superficies y Volumen de Control.

6.2.4 Identificación de las entidades geométricas

Se separan los diferentes grupos de superficies para poder tratarlos por separado y tener una mejor visualización, el cuadro de diálogo que queda es el que aparece en la siguiente imagen:

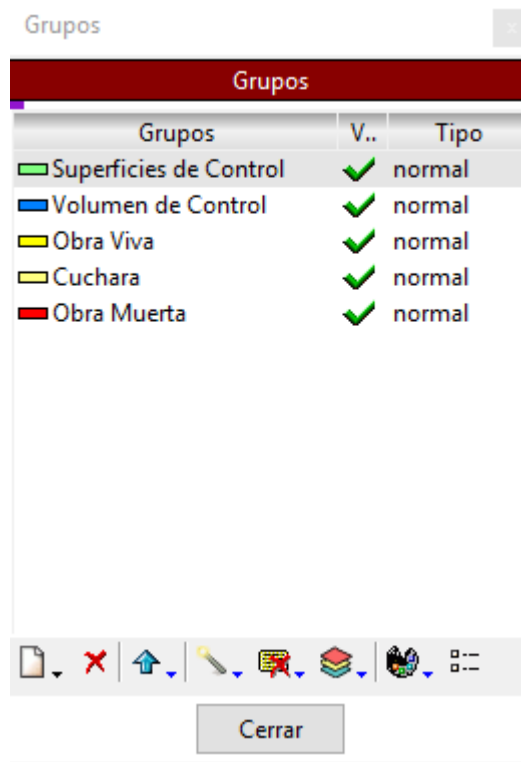


Figura 22. Entidades geométricas.

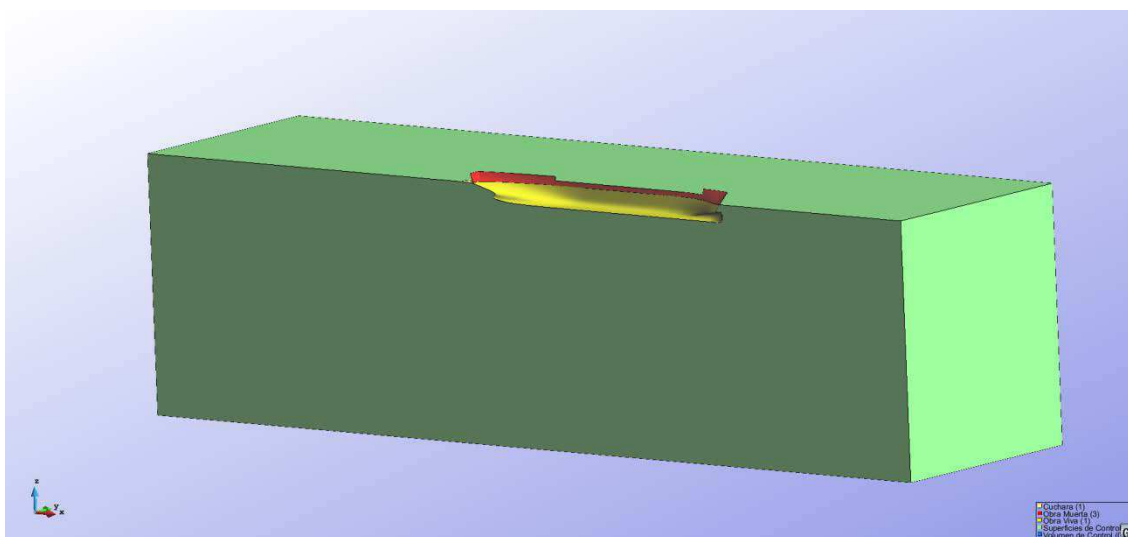


Figura 23. Volumen fluido generado.

6.3 Campo de velocidades y presiones

Se establecen los campos de velocidades, siendo el campo V_{xyz} en la superficie de proa, las superficies de los costados como V_y y el fondo será V_z para un flujo perpendicular a la carena. Se establece la superficie de popa de la carena como campo de presiones y la superficie libre en la superficie superior del volumen de control.

continuación se realizan una serie de cálculos para establecer la turbulencia y el tratamiento de la pared.

6.3.1 Modelos de turbulencia

Dependiendo del número de Reynolds del problema se debe escoger un tipo de problema ofrecido por el software, estos se resumen en el siguiente esquema:

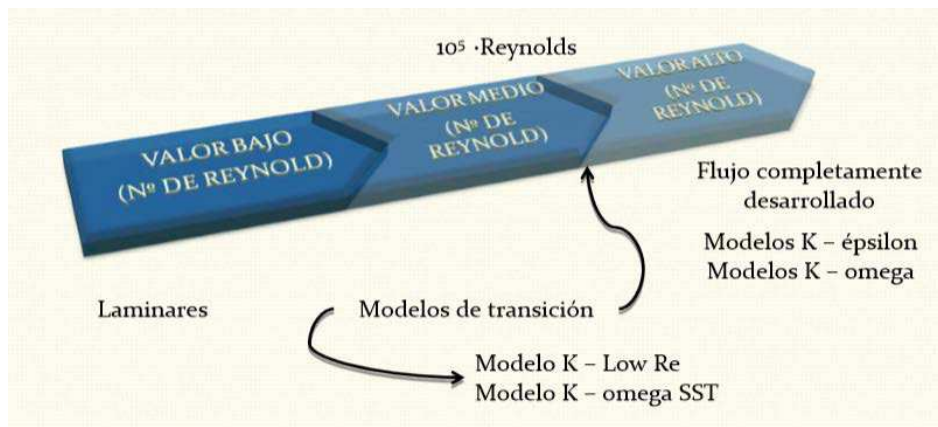


Figura 24. Esquema de modelos de turbulencia.

En este caso, el Reynolds calculado es mayor de 10^5 , por lo que el problema se encuentra dentro de un flujo completamente desarrollado y se deberá utilizar un modelo K-epsilon o K-omega. La elección de uno u otro tipo se estudia en el punto 6.5.4. del presente capítulo.

6.4 Parámetros inicialización

Es necesario considerar algunos parámetros con los que inicializar algunas variables:

- a. Ratio de viscosidad turbulenta/viscosidad
- b. Intensidad turbulenta (TIL)
- c. Longitud de la turbulencia (“Eddy Length”)
- d. Energía cinética turbulenta (f(TIL))

Se realiza un ejemplo para la velocidad de proyecto, sin embargo este proceso es necesario para todas las velocidades calculadas.

a. Ratio de viscosidad turbulenta

$$1 < \frac{\mu_{\tau}}{\mu} < 10$$

Se debe escoger un valor intermedio, por lo tanto se escoge 5, y multiplicando por la viscosidad se obtiene la viscosidad turbulenta.

b. Intensidad turbulenta (TIL)

En flujos externos la intensidad turbulenta suele estar en valores que se pueden establecer en $TIL = 0,01$.

c. Longitud de escala turbulenta (Eddy length)

$$l = \frac{\mu_\tau}{\rho \cdot V} \quad (48)$$

d. Energía cinética turbulenta (f(TIL))

$$K = \frac{3}{2} (TIL \cdot v_\tau)^2 \quad (49)$$

Donde v_τ es la velocidad adimensionalizada con el esfuerzo en la pared y se calcula de la siguiente forma, partimos del número de Reynolds y el coeficiente de fricción calculado por la fórmula de fricción de la ITTC-57:

$$C_f = \frac{0.075}{(\log(Rn) - 2)^2} \quad (50)$$

A continuación se calculan las tensiones de Reynolds:

$$\tau_w = 0,5 \cdot C_f \cdot \rho \cdot v^2 \quad (51)$$

Y con ella la velocidad adimensionalizada con el esfuerzo en la pared:

$$v_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (52)$$

Una vez calculados todos los parámetros se introducen estos valores en el programa para conseguir una buena simulación, a continuación se resumen los datos obtenidos para el modelado de la turbulencia:

Turbulencia		
Ratio viscosidad turbulenta/viscosidad	5	-
Viscosidad turbulenta	0,00609544	kg/m·s
Longitud de escala turbulenta	8,2495E-07	m
TIL	0,018	-
Coficiente de fricción	0,00161104	-
Resistencia de fricción	4,361	kg
Velocidad de turbulencia	0,0652	m/s
Energía de turbulencia	2,551·10⁶	

Tabla 10. Valores para la modelización de la turbulencia.

6.4.1 Tratamiento de la pared

Será necesario seleccionar el tipo de tratamiento para la capa límite que mejor se adapte. Normalmente Tdyn utiliza la ley de Rychardt para modelizar la capa límite. Para ello es necesario obtener el valor de y^+ de la siguiente manera:

$$y^+ = y \cdot \rho \cdot \frac{v_\tau}{\mu} \tag{53}$$

Donde y es el 10% de la capa límite, que se determina mediante la Ley de Blasius:

$$\delta < \frac{5,0 \cdot l}{\sqrt{Rn}} \tag{54}$$

Siendo l la distancia longitudinal desde el borde de entrada del flujo en la placa plana hasta el inicio de la turbulencia. Puede estar comprendido entre 1,5% y 15% de la eslora, nos queda:

Tratamiento de la pared	
δ	1,61E-03
y	1,61E-04
Yplus	88

Tabla 11. Valores para el tratamiento de la pared.

6.5 Discretización temporal

El número de intervalos temporales vendrá dado por:

$$NOS > 1000 \cdot \delta t \cdot \frac{v}{L} \tag{55}$$

El incremento de tiempo será función del número de Courant (C). Normalmente se suele establecer entre valores $0,01 < C < 0,1$, tomaremos 0,01:

$$\delta t = C \cdot \frac{L}{v} \tag{56}$$

El tiempo total de la simulación será:

$$T_{SIMULACION} = NOS \cdot \delta t \tag{57}$$

Resumiendo:

Discretización temporal		
Tamaño mínimo del elemento de la malla	0,05	m
Velocidad local de nodo	7,202	m/s
Número de Courant	0,069	s
Incremento de tiempo máx	1,073	s
NOS mín	69,422	
Tiempo total de simulación	74,498	s

Tabla 12. Valores para la discretización temporal.

Estos valores se modifican para dar un mayor consistencia a los cálculos y dotarlos de mayor capacidad para converger, por lo que se establece un nuevo número de pasos (**750 NOS o pasos**) y se reduce el incremento de tiempo (**0,1 s**) resultando una simulación de 75 s. Con estos valores se procede a la generación de la malla óptima.

6.6 Creación de la malla y selección del modelo de turbulencia

Para obtener un mallado óptimo entre recursos utilizados y número de elementos se realiza el siguiente procedimiento. Se creará una malla “tosca” y con ella se obtendrá una

resistencia al avance, posteriormente esta mala se refina con un número de elemento algo mayor y, por tanto, un menor tamaño de estos para calcular de nuevo la resistencia. Se realiza esta operación las veces necesarias hasta que la diferencia entre una resistencia y la anterior estén dentro de un error aceptable. Este error se establece en un 3%. Por lo tanto se generan mallas con los tamaños que se indican en los siguientes apartados a la velocidad de proyecto (14 kn). La resistencia se calcula como sigue a partir de los valores obtenidos del software.

6.6.1 Cálculo de la resistencia

Los valores obtenidos (PF_x y VF_x) se utilizan para obtener los coeficientes de resistencia de la siguiente forma:

- Coeficiente resistencia por formación de olas:

$$C_w = \frac{2 \cdot PF_x}{\rho v^2 A_{buque}} \quad (58)$$

- Coeficiente resistencia viscosa:

$$C_v = \frac{2 \cdot VF_x}{\rho v^2 A_{buque}} \quad (59)$$

- Sumando ambos términos se obtiene el coeficiente de resistencia total y con este se calcula la resistencia al avance de carena.

$$R_T = \frac{1}{2} \rho v^2 A_{SHIP} C_T \quad (60)$$

6.6.2 Mallados

En la siguiente tabla se enumeran el tipo de mallas generadas con los diferentes tamaños máximos establecidos en mm para cada zona y la transición definida entre ellas:

Tipo de malla	Casco	Sup. Libre	Resto	Trans.
Muy gruesa	750	2500	10000	0,7
Gruesa	500	2000	5000	0,7
Media	300	1750	3000	0,6
Fina	250	1250	2500	0,5
Muy Fina	100	1000	1000	0,4

Tabla 13. Tamaños máximos de elementos en mm para distintos refinamientos de mallas.

6.6.3 Valoración de mallados

Para conocer que mallado es más eficaz se estudian los resultados obtenidos y el tiempo empleado en realizar estos cálculos. Se selecciona aquella que aporte una precisión aceptable y un tiempo reducido. La Tabla 13 muestra los valores del número de elementos de cada malla, cada una más refinada que la anterior, el tiempo empleado en generar el cálculo, y la resistencia total obtenida para cada uno de estos cálculos además de una comparación entre ellos.

Tipo de malla	Número de elementos	Tiempo	Rt (kN)	
Muy gruesa	112659	0:30:00	422,46	-
Gruesa	373392	1:52:00	408,14	3,39%
Media	1200915	6:07:00	396,26	2,91%
Fina	1691278	8:11:00	388,35	2,00%
Muy Fina	2441185	10:54:00	381,88	1,67%

Tabla 14. Número de elementos, tiempo y Resistencia total para la elección de la malla adecuada.

Número Elementos - Resistencia

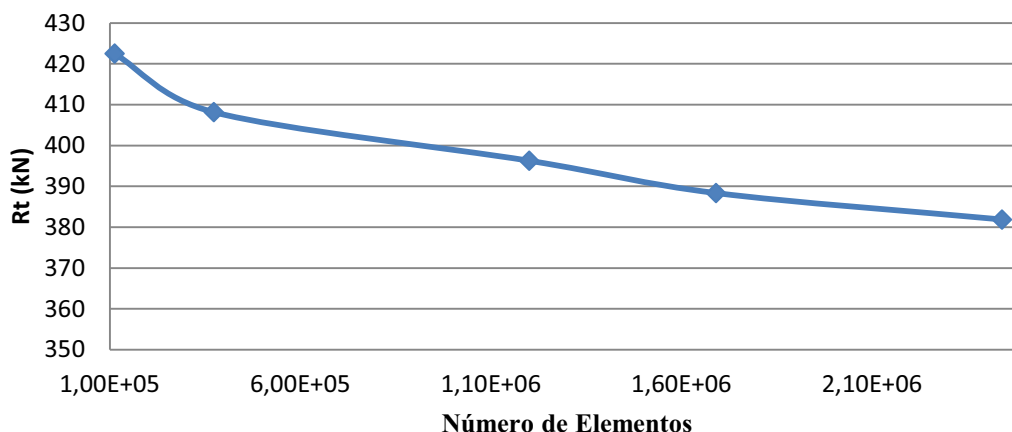


Figura 25. Número de elementos frente a Resistencia obtenida.

A la vista de los valores obtenidos se considera buena la malla con un tamaño de elemento medio (Tipo de malla →Media; Número de elementos = 1200915), ya que el tiempo empleado y los valores de la resistencia total están en buena relación, permitiendo obtener unos resultados aceptables con en un tiempo razonable.

6.6.4 Selección del modelo de turbulencia

Como ya se ha comentado en el apartado número dos del presente capítulo, existen diferentes modelos de turbulencia basándose en ecuaciones RANS.

En flujos de canal abierto, los más comunes son los de dos ecuaciones k-Omega y k-Épsilon por su equilibrio entre precisión y coste computacional. Estos modelos tienen 2 ecuaciones adicionales para representar las propiedades del flujo turbulento, permitiendo al modelo un reporte de los efectos transitorios como la convección y la difusión de la energía turbulenta.

El modelado original k-Épsilon tiene el problema de que es muy sensible en zonas cercanas a superficies, donde las fuerzas viscosas dominan respecto a la turbulencia, ahogando todo efecto que pueda producir, sola da buenas predicciones en flujos turbulentos estacionarios, totalmente desarrollados. El otro modelo, k-Omega, por el contrario recibe muy buenas críticas en la resolución dentro de la capa límite, pero da que desear en el cambio a flujo abierto.

Para la selección del modelo de turbulencia se realizará un proceso similar al realizado para la obtención del número de elementos, sin embargo, es este caso se realizará una comparación entre los dos tipos de modelos turbulentos disponibles (K-Omega y K-Épsilon). Se realizará una comparación con los datos obtenidos mediante Maxsurf para decidir qué tipo de simulación puede ser más acertada.

En la Figura 35 y 36 se puede apreciar la forma que tienen de converger los valores de las fuerzas de presión y viscosas que actúan sobre el casco en función del tiempo, se calcula la media de los últimos intervalos para obtener un valor válido para el cálculo de la resistencia al avance. Para estas simulaciones se ha aumentado el tiempo de simulación a 3500 pasos debido a que los gráficos obtenidos en el anterior apartado no daban la precisión deseada para estos cálculos. Por lo que el tiempo de simulación de estas pasa a ser de 350 s

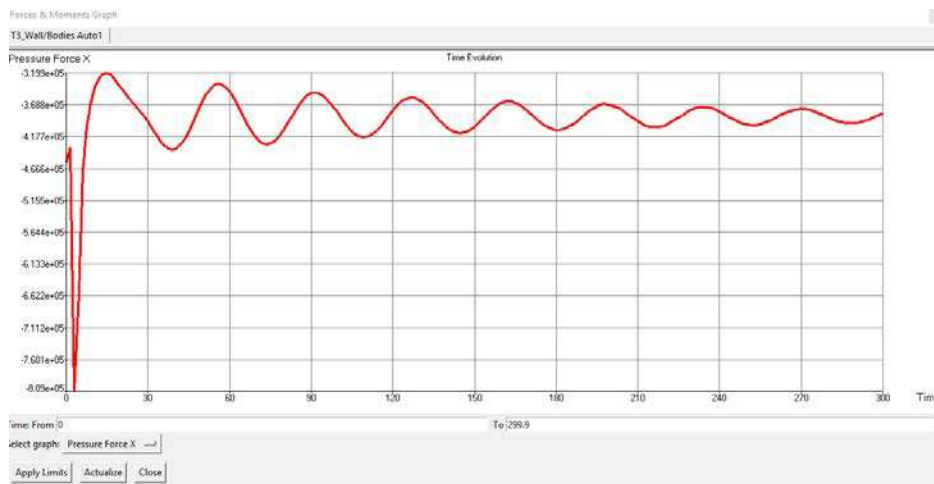


Figura 26. Fluctuación de la fuerza de presión.

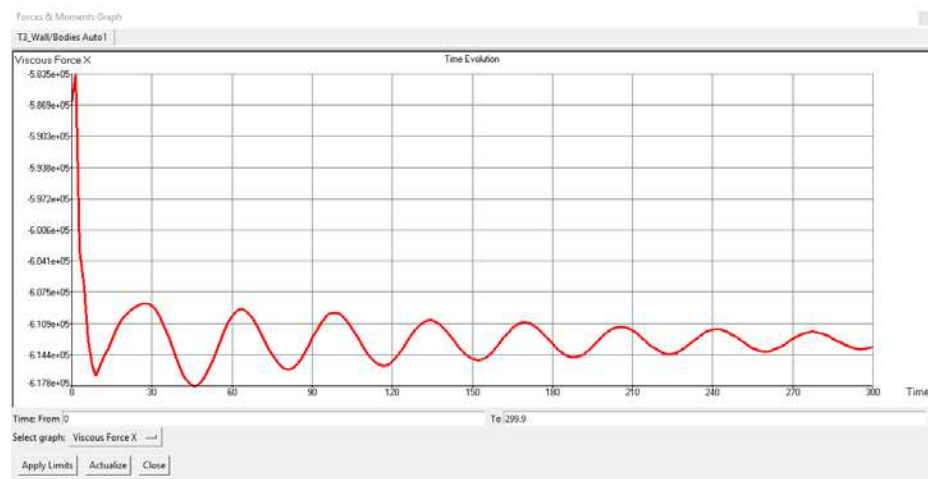


Figura 27. Fluctuación de la fuerza viscosa.

Los datos obtenidos para cada tipo de turbulencia se representan en la siguiente tabla. Se observa que para el modelo de turbulencia K-Épsilon los valores están sobre los valores calculados mediante los métodos anteriores, sin embargo para el modelo K-

omega se acercan mucho a los estimados. Por lo que se realizan las simulaciones con este método.

K-Épsilon						
v (kn)	FPx	VFx	Cw	Cv	Rt (kg)	Rt (kN)
2	3460,0	7452,0	2,578E-03	5,552E-03	1112,33	10,912
6	21919,5	68360,0	1,814E-03	5,659E-03	9202,80	90,280
10	72385,0	187910,0	2,157E-03	5,600E-03	26533,64	260,295
14	161650,0	368950,0	2,458E-03	5,610E-03	54087,67	530,600
18	387400,0	613510,0	3,563E-03	5,643E-03	102029,56	1000,910
K-Omega						
v (kn)	FPx	VFx	Cw	Cv	Rt (kg)	Rt (kN)
2	4269,6	4702,2	3,181E-03	3,503E-03	914,56	8,972
6	11635,0	35506,0	9,631E-04	2,939E-03	4805,40	47,141
10	29825,0	94029,0	8,888E-04	2,802E-03	12625,28	123,854
14	97600,0	190090,0	1,484E-03	2,890E-03	29326,20	287,690
18	333250,0	510653,0	3,065E-03	4,697E-03	86024,77	843,903

Tabla 15. Valores de la resistencia obtenidos mediante Tdyn con diferentes modelos de turbulencia.

Para una mejor visualización de los valores obtenidos, se generan los siguientes gráficos en el cual se pueden observar las curvas obtenidas comparando los modelos de turbulencia utilizados:

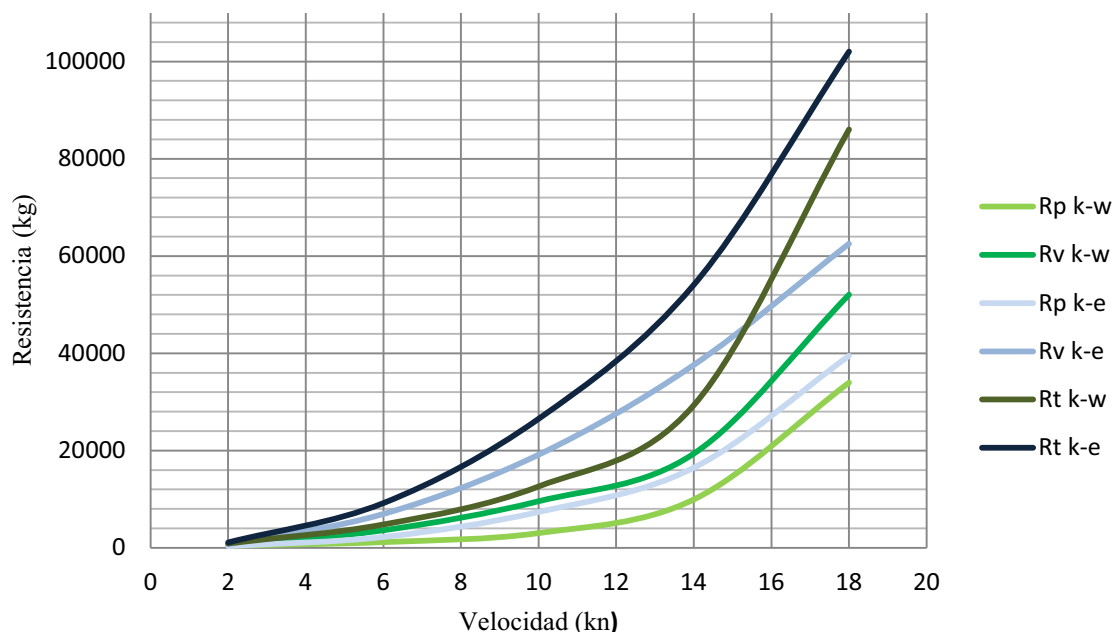


Figura 28. Comparativa entre las componentes de los modelos de turbulencia.

Cabe destacar que este software realiza una división de la resistencia de la siguiente forma. Las fuerzas de presión corresponden a las generadas debido a la formación de olas, mientras que las fuerzas viscosas están relacionadas con los efectos de fricción más lo que en el método de correlación de Hughes se conoce como el factor

de forma. Este método define el coeficiente viscoso de la resistencia como el coeficiente de fricción multiplicado por un factor denominado factor de forma. Este depende, entre otros términos, de la curvatura transversal, la curvatura longitudinal, la resistencia de presión de origen viscoso, la separación de la capa límite, etc., en general, de las formas del buque.

En la Figura 37 se observa que los modelos K-Omega tienen una curva más parecida a lo buscado en una curva de resistencia al avance generada por un buque. Esto hace pensar que este tipo de modelo será más apropiado para las simulaciones. De todas formas, estos datos se comparan con los obtenidos anteriormente.

En comparación con los resultados de Holtrop y Slender body, como se ha comentado anteriormente la resistencia obtenida mediante K-Épsilon son muy altos. En contra partida los datos obtenidos mediante K-Omega, están muy próximos a los obtenidos mediante Slender body y un poco por encima de Holtrop. Lo que demuestra que el método de Holtrop subestima el valor debido al no tener en cuenta la geometría completa del buque.

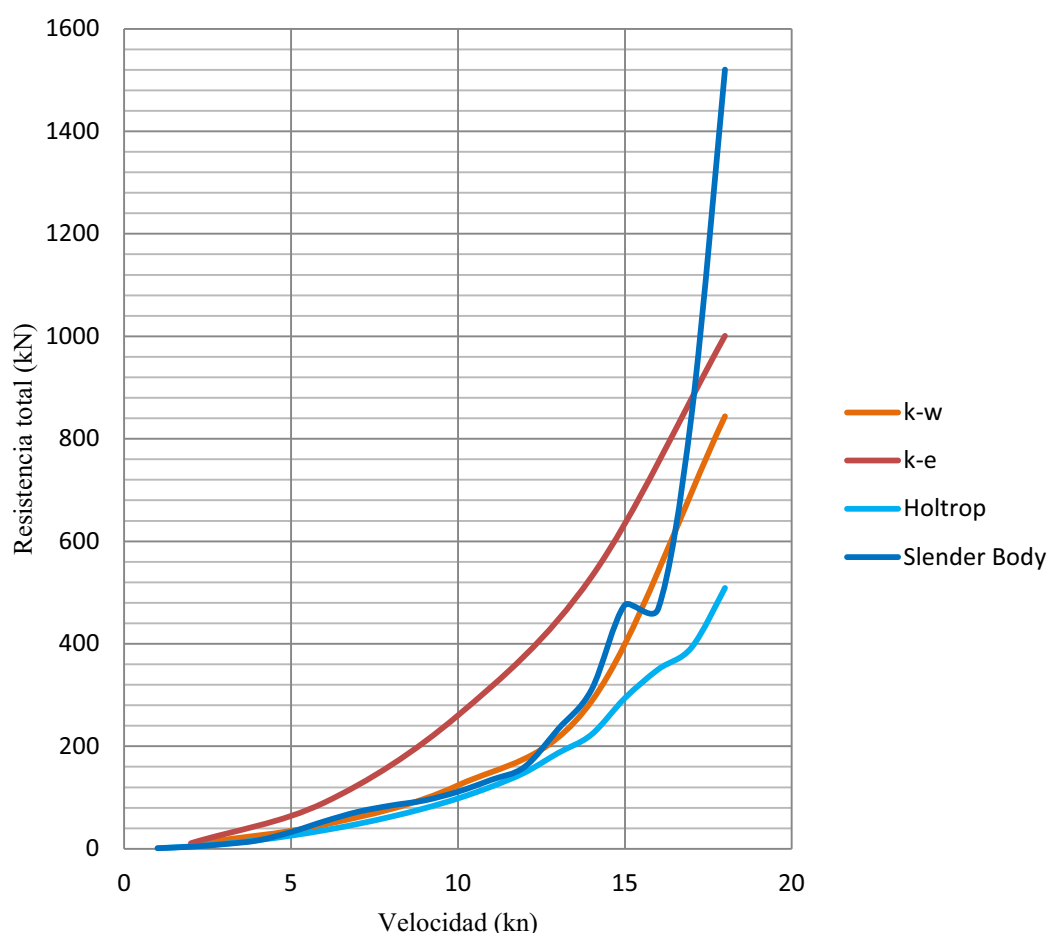


Figura 29. Comparación entre modelos turbulentos y resistencias al avance obtenidas.

Se considera, por lo tanto, más adecuado el modelo de turbulencia K-Omega por lo comentado anteriormente.

7 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE CON CFX

7.1 Introducción

El software CFD usado para este apartado es CFX, un potente y flexible *solver* de dinámica de fluidos computacional de propósito general utilizado para el modelado de flujos, turbulencia, transferencia de calor, y otras reacciones para aplicaciones industriales. Los modelos físicos permiten el análisis CFD de un modo preciso para una amplia gama de problemas de fluidos.

CFX emplea un *solver* por volúmenes finitos. Éste usa un algoritmo que consiste en tres pasos:

- Integración de las ecuaciones gobernantes de flujo de fluido para todos los volúmenes de control de fluido.
- Discretización: Conversión de las ecuaciones integrales resultantes a un sistema de ecuaciones algebraicas.
- Solución del sistema de ecuaciones mediante un método iterativo.

7.2 ANSYS Workbench

El Workbench es la interfaz de inicio donde se separan las diferentes aplicaciones para desarrollar nuestro análisis, este consta de una barra lateral para seleccionar el módulo de ANSYS a utilizar, en este caso se tratará con *Fluid Flow (CFX)*. Tras seleccionarlo aparece un cuadro de dialogo con diferentes aplicaciones, estas con las siguientes: Geometría (Geometry), Malla (Mesh), Configuración (Setup), Solución (Solution) y Resultados (Results). Todos ellos aparecen como se muestra en la siguiente imagen:

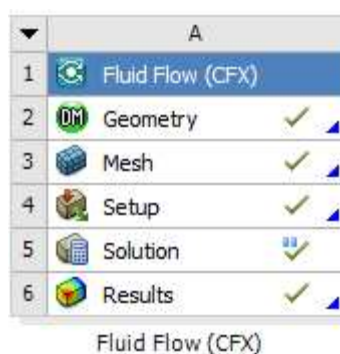


Figura 30. Cuadro de diálogo del WorkBench de ANSYS CFX.

7.3 ANSYS Design Modeler – Editor de geometría

El siguiente paso es importar la geometría como un archivo de extensión “.step” creado en el capítulo anterior. Este posee la particularidad de ser un sólido en lugar de una superficie lo que permite realizar una substracción booleana al volumen de control y crear un agujero en el prisma, convirtiéndose así en el Volumen de Control o Volumen de Fluido (VDF).

Tomando el punto inicial de las coordenadas en la perpendicular de popa a la altura de la línea base y en crujía, tal y como se tomó en los anteriores casos, las coordenadas de las esquinas y las dimensiones del VDF se presentan en las dos siguientes tablas.

Volumen de control	
Aguas abajo (A popa) (140%L)	155,863m
Aguas arriba (A proa) (70%L)	77,931m
Anchura(80%L)	89,064m
Profundidad (50%L)	55,665m
Altura (50%L)	55,665m

Tabla 16. Dimensiones para el VDF.

Estos valores son los utilizados en la anterior simulación pero se aplicará una reducción en cuanto a la altura y profundidad para agilizar los cálculos. Estas comprenden la reducción de la zona de aire, ya que no interesa a la hora del cálculo, por lo que la pared de techo (TOP) se coloca a la altura del puntal del buque. Así las coordenadas de los vértices del prisma quedan de la siguiente forma:

Coordenadas de los vertices	x	y	z
Pared de entrada	189	89	8
	189	89	-40
	189	-89	-40
	189	-89	8
Pared salida	-156	89	8
	-156	89	-40
	-156	-89	-40
	-156	-89	8

Tabla 17. Coordenadas para el VDF.

Con estas coordenadas se crea un prisma que englobe a la geometría a estudiar, en este caso, el modelo del buque importado anteriormente. Finalmente se realiza una substracción booleana para generar un espacio vacío que definiremos como la superficie del buque. Para simplificar de nuevo los cálculos, se divide en dos mitades del volumen a lo largo de la línea de crujía. Y para facilitar la creación de la malla en la superficie libre se debe realizar un corte a la altura donde esta deberá hallarse. Debe quedar como la siguiente imagen. Además se creará un árbol de elementos y acciones realizadas en la parte izquierda de la pantalla que aporta información del estado de la geometría.

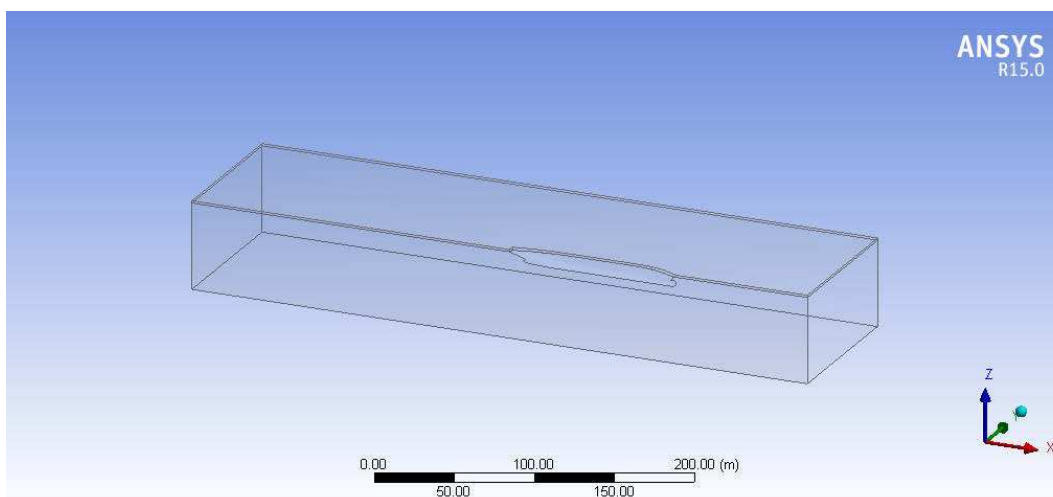


Figura 31. Geometría y VDF tras la sustracción booleana.

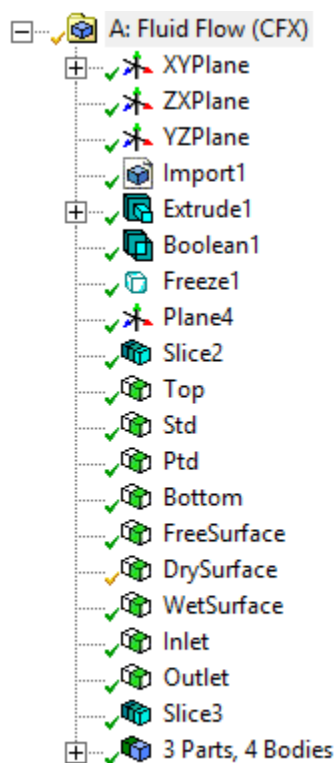


Figura 32. Tree Outline (Árbol de operaciones).

7.4 ANSYS Mesh - Definición del modelo

7.4.1 Mallado

Para este caso se opta por un mallado híbrido, que se compone de un mallado no estructurado de elementos volumétricos tetraédricos y de superficies triangulares. Este tipo de malla es más sencillo de generar y de ajustar a formas complejas, pero el costo computacional aumenta en comparación al estructurado, el otro componente es una inflación de los elementos del casco, generando una capa de enmallado estructurado alrededor del casco del tipo prismática, para mejorar la simulación de la capa límite y la

superficie libre. El proceso de mallar es el que mayor influencia ejerce sobre el resultado por lo que se requiere una malla de la mejor calidad posible.

A continuación se presentan unas imágenes con la malla obtenida. No es necesario realizar un estudio de la convergencia de las mallas posibles ya que se buscará una malla parecida a la generada en el anterior punto del capítulo en cálculo mediante TDyn.

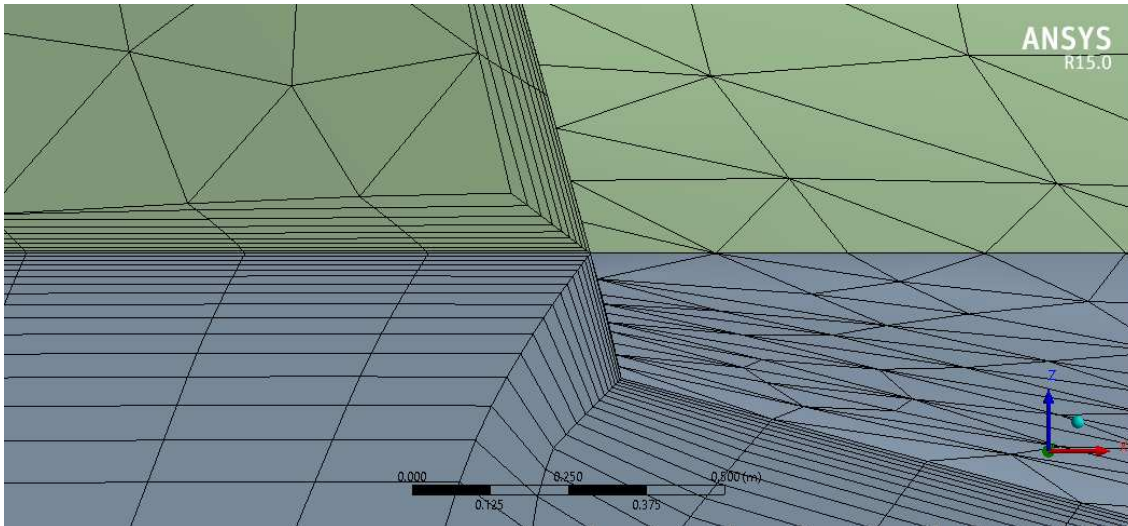


Figura 33. Detalle de la zona del espejo de popa en su intersección con la superficie libre en cruzía.

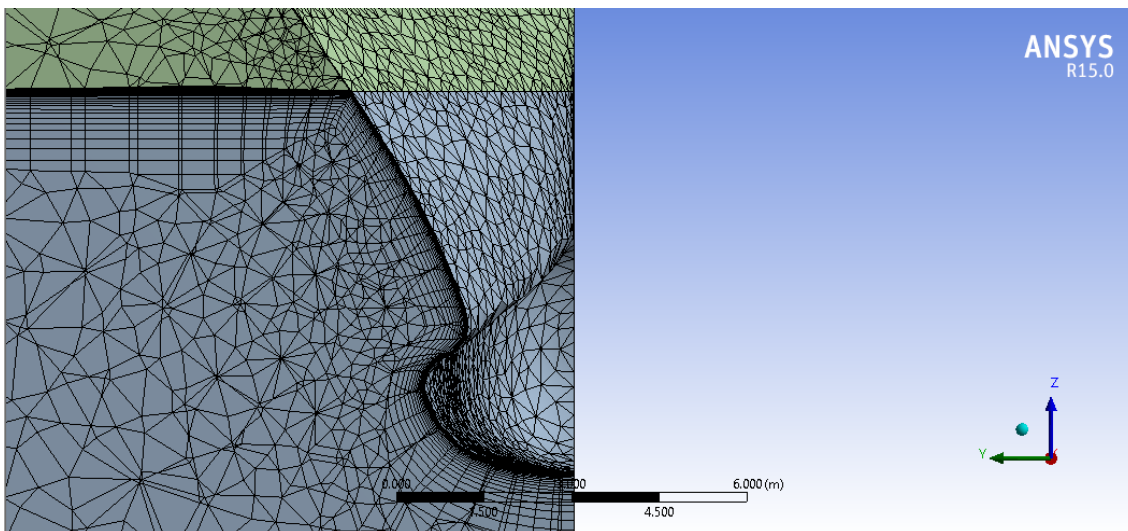


Figura 34. Detalle de una sección cercana a proa del buque.

La malla generada tiene los siguientes datos:

Nodos	432302
Elementos	1090738

Tabla 18. Datos de la malla generada.

7.5 ANSYS Setup – Definición del problema

Algunas de las simplificaciones que se asumen son que en las paredes del Volumen de Control no existe fricción.

En un problema con dos fases, se designa un método *Volume of Fluid*. Es indispensable activar la gravedad ya que es una fuerza externa influyente.

Para la resolución de la ecuación de fracción de volumen, se ha utilizado una discretización en el tiempo implícita (Implicit Discretization Scheme). La ecuación de la fracción de volumen en este esquema requiere que sus valores estén en el intervalo de tiempo actual (a diferencia del esquema explícito, que necesita el intervalo de tiempo previo).

7.5.1 Modelado de la turbulencia

El modelo físico de turbulencia incluido en este análisis será un modelo viscoso, K-Omega ya que anteriormente fue demostrado que realizaba unos cálculos mas precisos.

7.5.2 Expresiones

Este programa necesita de unas expresiones que ayuden al cálculo y a la definición de algunas condiciones de frontera, presión, densidades, etc. Estas son las siguientes que se utilizarán en este caso.

- denair densidad correspondiente al aire en kg/m^3 .
- denwater densidad correspondiente al agua en kg/m^3 .
- Denwaterrel densidad relativa del agua en kg/m^3 .
- FreeSurfH posición de la superficie libre en el eje Z en m.
- uppres presión estática inicial en Pa.
- upvfair porción de volumen de aire.
- upvfwater porción de volumen de agua.

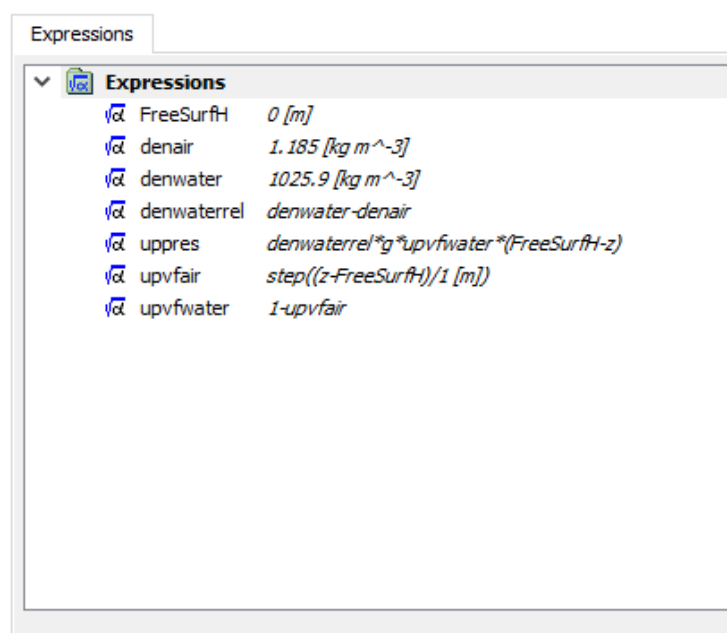


Figura 35. Expresiones.

7.5.3 Condiciones iniciales y de frontera

Se ha considerado un rango de velocidades que devuelva un análisis en todo el rango de velocidades en las que el buque podrá operar, más un valor adicional para dar mayor capacidad de visualización a las gráficas y permitir una interpolación por encima del último valor del rango. Por lo tanto las velocidades serán las mismas que las utilizadas en el anterior apartado.

El calado será el mismo realizado para el cálculo con el anterior programa, con un valor de 6,5 m. En este caso se debe establecer un nuevo origen de coordenadas ya que el existente se encuentra en la línea base, por lo que se crea uno nuevo a la altura deseada en la misma vertical que el anterior.

Las propiedades de densidad y viscosidad tanto del aire como del agua se definen en el punto 4 del presente capítulo, éstas se mantienen constantes y definidas en CFX. El aire se fija como fase primaria por ser el material de menor densidad.

Para la simulación se deben establecer las condiciones de contorno en las paredes del volumen de control. Las condiciones de contorno (*boundary conditions*) se especifican en la siguiente tabla:

Frontera/Contorno	Tipo	Condiciones fijadas	Fase
Casco	Wall	Pared fija	-
		Sin deslizamiento (velocidad en superficie igual a cero)	
		Superficie lisa ideal	
Entrada en el dominio (inlet)	Inlet	Régimen Subsónico	Combinadas
		Intensidad turbulencia: Media (5%)	
		Velocidad (Para cada caso)	
		Fracción de volumen aire	$upvfair$
		Fracción de volumen agua	$upvfwater$
Salida del dominio (outlet)	Outlet	Régimen Subsónico	
		Presión Estática	$uppres$
Contorno exterior del dominio (plano de crujía)	Symmetry	-	-
Contorno exterior del dominio (Costado, fondo y tope)	Wall	Sin deslizamiento.	-
		Pared en movimiento a la misma velocidad que el fluido.	

Tabla 19. Parámetros de las condiciones de frontera impuestas.

Hay que anotar que el contorno exterior del dominio normalmente CFX lo reconoce como una superficie (Wall). El software representa estas condiciones como se ve en la Figura 40.

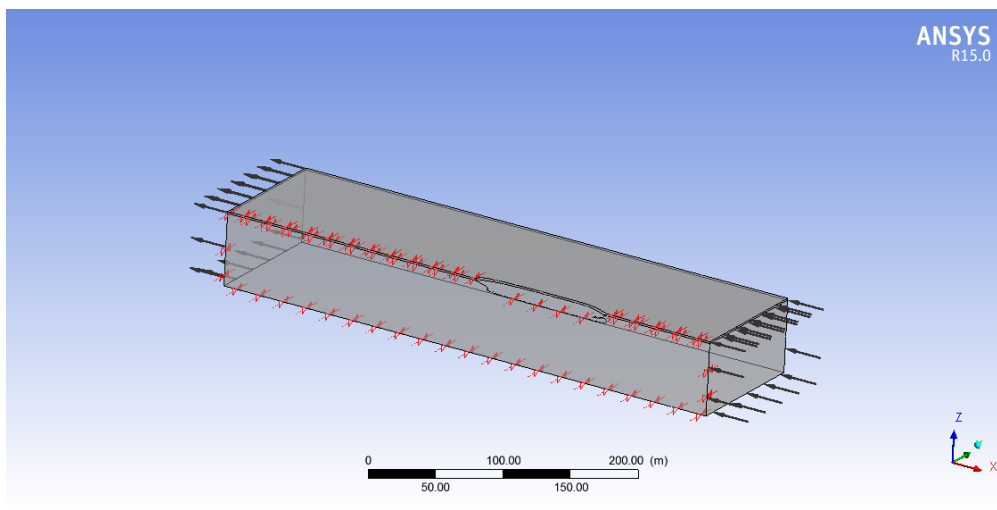


Figura 36. Vista general del dominio con las condiciones de frontera.

7.5.4 Parámetro de inicialización

Para facilitar la convergencia de los cálculos realizados se establecen unos parámetros a partir de los cuales el programa empezará sus cálculos. En este caso no son necesarios tantos cálculos como en el programa anterior.

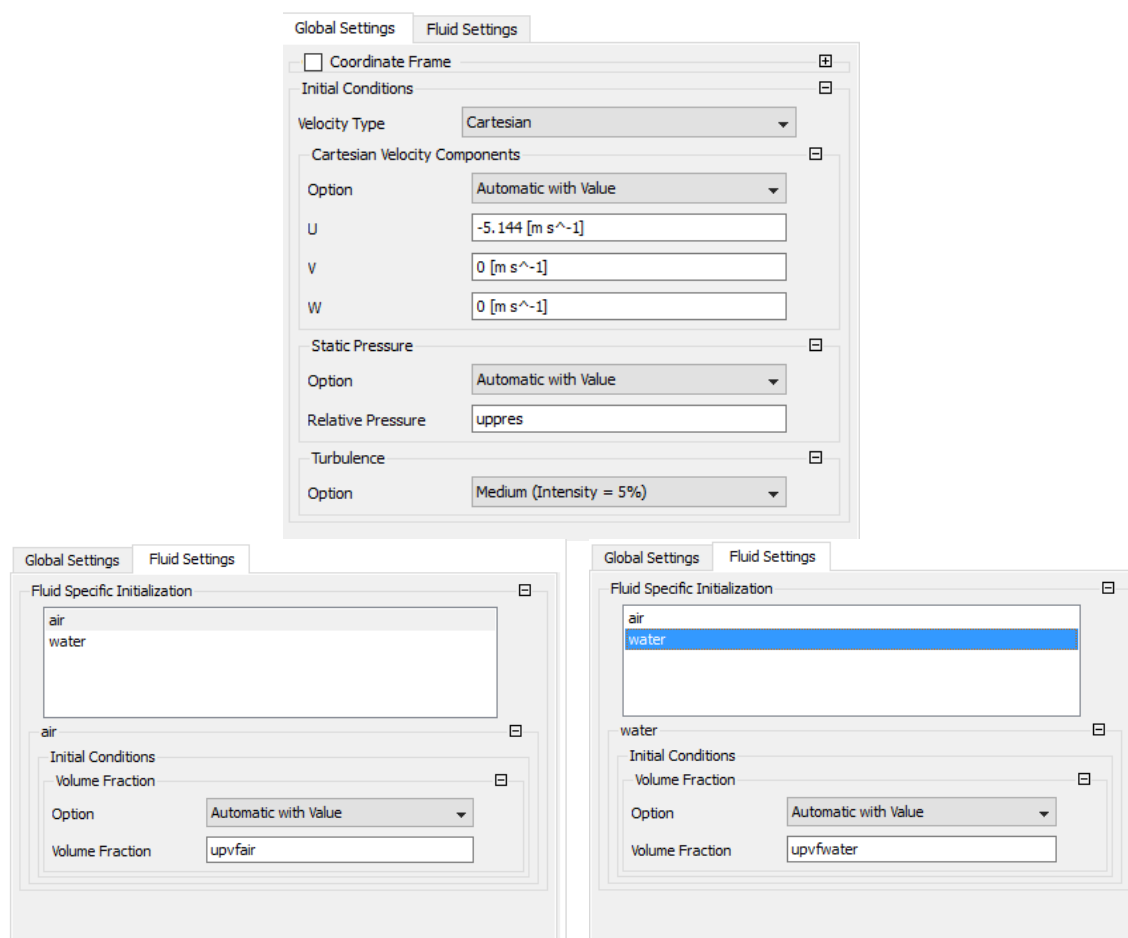


Figura 37. Parámetros de inicialización

7.6 Parámetros de solución

Se emplearon los parámetros adecuados con el objetivo de obtener en la medida de lo posible, una buena convergencia, para eso se aplicó una alta resolución y un criterio límite de convergencia residual de 10^{-4} en valores RMS.

El proceso de cálculo se limitó a 5000 iteraciones con un paso de 0,125 s de tiempo. En el proceso de cálculo se agregó un monitor a los ya definidos por defecto para evaluar la convergencia de las fuerzas que actúan sobre la embarcación, en la mayoría de los casos se decidió que la convergencia era suficientemente buena, por lo que se procedió a detener el proceso iterativo, para obtener la respuesta final.

7.7 Validación de los resultados

Se examinan los resultados para revisar la solución y extraer información útil. Una vez la convergencia ha sido alcanzada se debe utilizar las herramientas de visualización para ver el patrón de flujo y decidir si la simulación es válida o no. Esto es así si se puede observar el flujo turbulento y estacionario en las fronteras y si los valores son razonables o no comparándolos con los resultados obtenidos anteriormente.

7.8 ANSYS Results – Resultados

Para la visualización de los resultados la aplicación “*Results*” debe ser abierta, en esta se pueden apreciar los valores de la velocidad en el flujo, las presiones sufridas sobre la superficie del casco, el perfil de olas, y demás visualizaciones. En este caso lo que se buscan son los valores de la resistencia al avance por lo que consulta el reporte creado en el programa, en que se aporta información de la simulación realizada. En el apartado “*Forces and Torques*” (Fuerzas y momentos) se dan los valores de las fuerzas tangenciales y normales que la superficie del casco experimenta, dando estos en forma tabulada para todas las direcciones de los ejes cartesianos (X, Y, Z). Como anteriormente para el propósito de este proyecto solo se tomarán los valores referidos al eje X. A continuación se representa en la Figura 42 como el software muestra esta información.

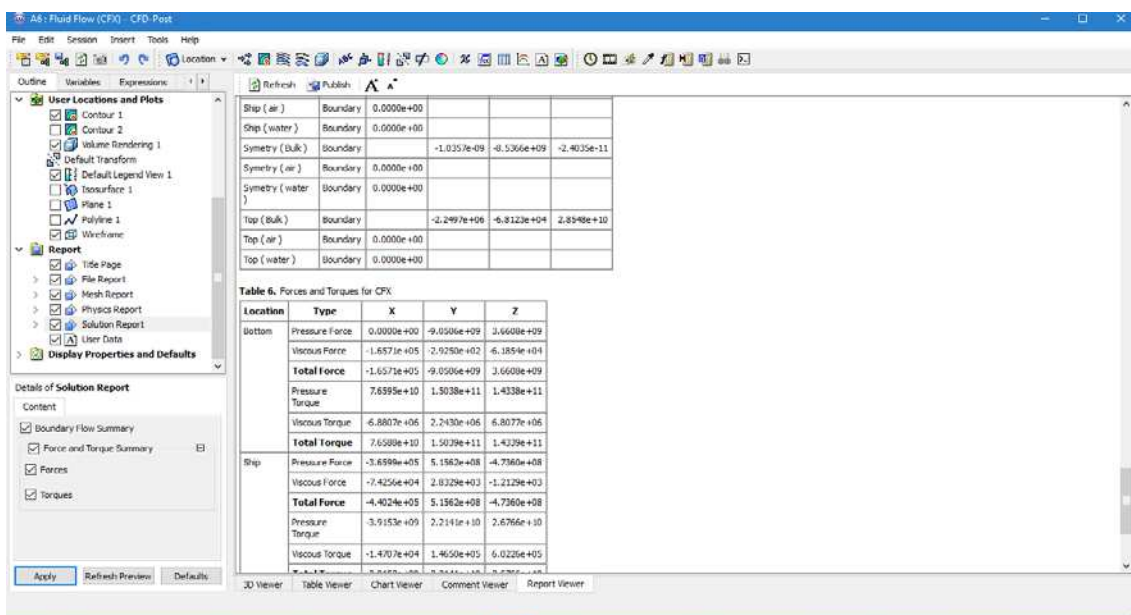


Figura 38. Captura de pantalla del informe para $v=18kn$.

Para este caso y al igual que se realizó con Tdyn, se tomarán los valores dados por el programa y se multiplicaran por dos, ya que estos fueron calculados para una mitad de la carena. Mediante las expresiones (59) (60) y (61) se obtiene el valor de la resistencia total.

Para terminar con ANSYS CFX se realizan las simulaciones para el rango de velocidades anteriormente definido quedando la resistencia al avance correspondiente a cada una de la siguiente manera:

k-Omega ANSYS						
v (kn)	FPx	VFx	Cr	Cf	Rt (kg)	Rt (kN)
2	3620,0	6500,0	2,697E-03	4,843E-03	1031,60	10,120
6	28128,0	23518,0	2,328E-03	1,947E-03	5264,63	51,646
10	61004,0	57098,0	1,818E-03	1,702E-03	12038,94	118,102
14	177903,0	113699,6	2,705E-03	1,729E-03	29725,04	291,603
18	732044,0	148506,0	6,733E-03	1,366E-03	89760,45	880,550

Tabla 20. Resultados simulaciones ANSYS.

Se debe mencionar que ANSYS CFX equipara las resistencias por formación de olas y de presión de origen viscoso conceptuales a fuerzas de presión, lo que sería la resistencia residuo, mientras que las fuerzas viscosas son definidas como de fricción únicamente, esto hace que los resultados en cuanto a la división de la resistencia sea diferente con respecto a lo obtenido en el software anterior.

En este caso las fuerzas de presión son mayoritarias frente a las fuerzas viscosas. Las fuerzas viscosas disminuyen debido a que la mayoría de la superficie mojada del casco experimenta desprendimiento del flujo. A medida que el número de Froude va aumentando, llega un punto ($F_n \approx 0,25$, para este caso $V \approx 16$ kn) en que la resistencia residual (Fuerzas de presión en este caso) pasa a tener el protagonismo de manera exponencial. Esto se comprueba de forma muy gráfica si representamos los valores de la siguiente forma:

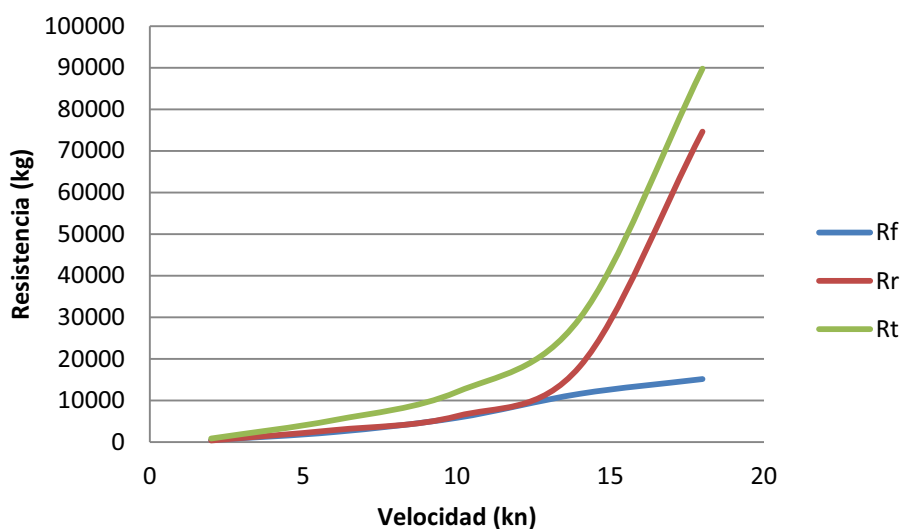


Figura 39. División de la resistencia mediante ANSYS.

A diferencia de los cálculos obtenidos en Tdyn, el cual divide sus resultados equiparando la resistencia por formación de olas a fuerzas de presión, mientras que las fuerzas viscosas se refieren a las fuerzas de fricción multiplicadas por un coeficiente que está relacionado con las formas del buque (factor de forma), lo que hace que no se aprecie la zona de desprendimiento de la capa límite.

Sin embargo, realizando una comparativa con los resultados obtenidos mediante el mismo modelo de turbulencia en el software anterior (Tdyn), se aprecia que los valores finales obtenidos de resistencia total están muy próximos, llegando a ser del 1% en la velocidad de proyecto, lo que hace pensar que las simulaciones en ambos casos son correctas. A continuación se representan las diferencias entre ambas.

	Tdyn	ANSYS	
v (kn)	Rt (kN)	Rt (kN)	Error
2	9	10	11,3%
6	47	52	8,7%
10	124	118	-4,9%
14	288	292	1,3%
18	844	881	4,2%

Tabla 21. Comparación la resistencia total obtenida entre ambos software.

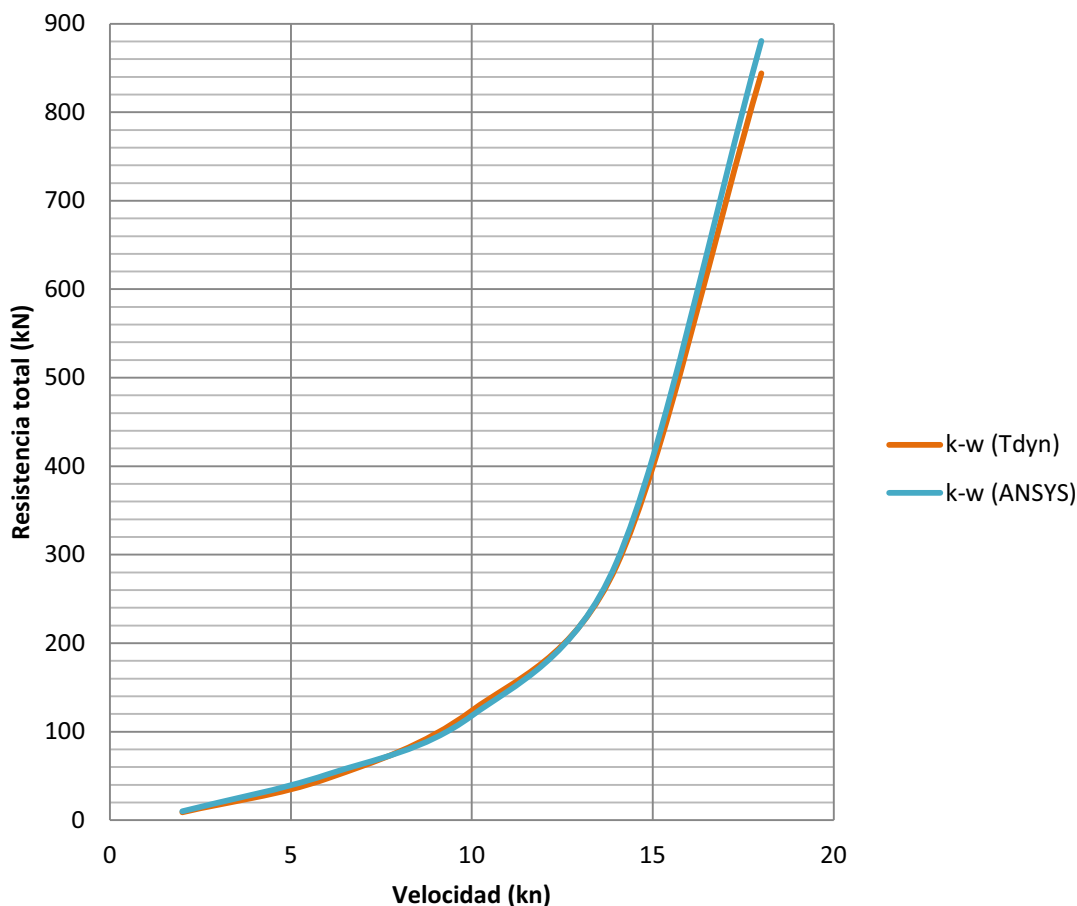


Figura 40. Comparativa resultados ANSYS – TDyn

8 CONCLUSIONES

Una vez realizados los cálculos correspondientes a cada software se pueden apreciar algunas diferencias importantes en cuanto a la capacidad, facilidad, precisión y resultados obtenidos.

A continuación se realiza una comparativa de los resultados obtenidos, tanto de los totales como una división de las componentes viscosas y de presión obtenida entre los tres métodos.

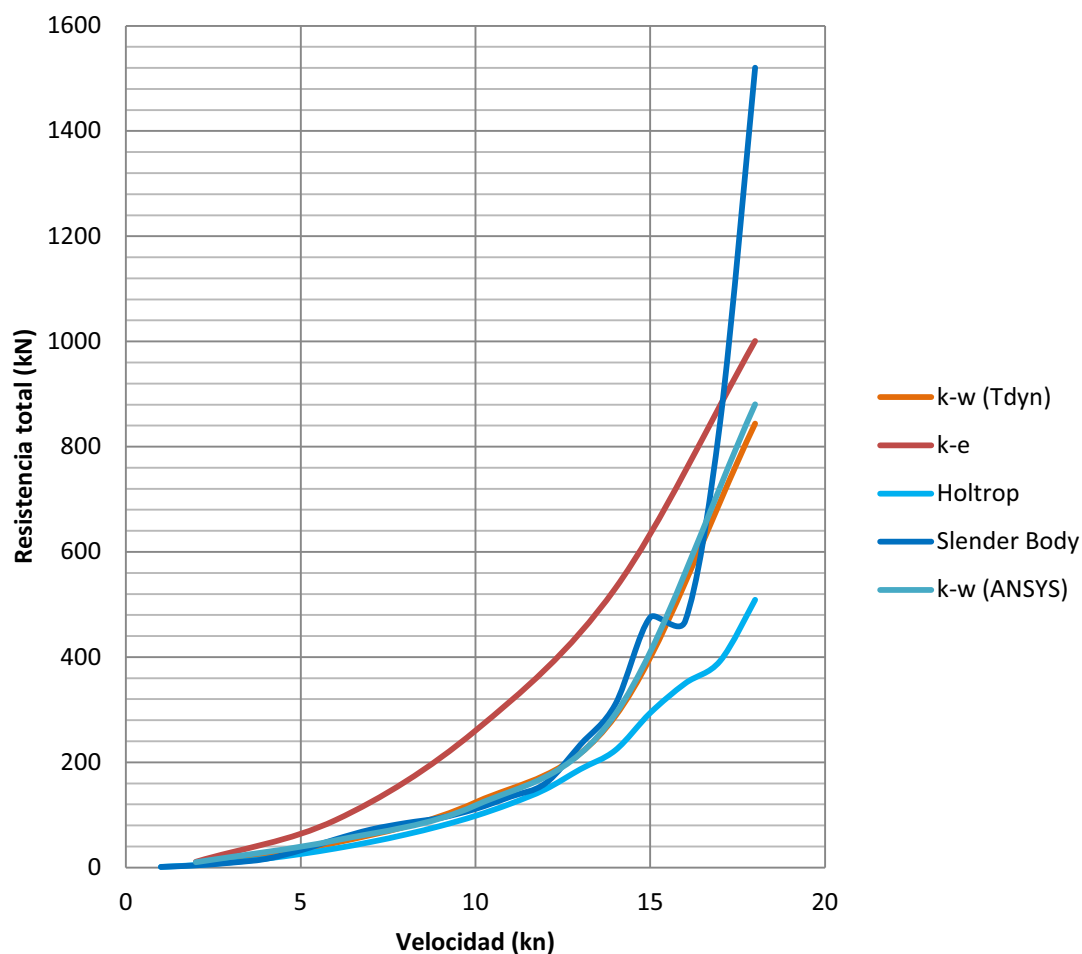


Figura 41. Comparativa entre métodos utilizados.

Como se ha podido apreciar a lo largo de este capítulo, la obtención de la resistencia al avance se puede realizar mediante diferentes herramientas informáticas, en función del objetivo y la precisión deseada se decidirá por utilizar unas u otras.

Por ejemplo, si lo que se desea es obtener la resistencia al avance de una forma rápida y de forma aproximada, la utilización de Maxsurf por su facilidad y tiempo de generación de una respuesta, así como por el precio que la casa Bentley ofrece por todos sus paquetes merece la pena. Sin embargo si lo que se desea es realizar una optimización del flujo sobre la carena, ver donde se generan vórtices, cambios bruscos

en las líneas de flujo, zonas de altas presiones, desprendimientos de la capa límite, entre otras posibilidades, se debe pasar a un análisis CFD.

Los dos software utilizados para los cálculos CFD tienen el mismo problema en cuanto al tratamiento de la geometría. Sus módulos de edición y visualización son muy pobres y hacen que el trabajar con ellos sea dificultoso, por lo que se recomienda importar la geometría ya creada.

La gran diferencia reside en como definen las componentes de la resistencia, siendo en el primer caso (Tdyn) una división como la realizada en la hipótesis de Hughes, mientras que en el caso de ANSYS CFX se realiza una división según Froude.

División según Hughes, utilizada en Tdyn:

$$C_T = (1 + k)C_f(Rn) + C_w(Fn)$$

División según Froude, utilizada en ANSYS:

$$C_T = C_f(Rn) + C_w(Fn) + C_{form}(Fn)$$

A continuación, al igual que se realizó para los programas de diseño, se realiza una tabla de ventajas y desventajas de ambos software para su comparación.

Tdyn

Ventajas

- Generación automática de la superficie libre.
- Poco tiempo de cálculo.
- Visualización de los resultados de forma directa y rápida.
- En comparación el precio es más asequible (20.000€).

Inconvenientes

- Preproceso y visualización pobre.
- No detecta volúmenes ni superficies, se deben definir.
- Necesidad de realizar muchos cálculos previos para el cálculo de las variables de iniciación.

ANSYS CFX

Ventajas

- Detecta automáticamente volúmenes y superficies.
- Alto control sobre la malla.
- No hay necesidad de realizar cálculos previos.
- La separación de la resistencia al avance permite visualizar el desprendimiento de la capa límite.

Inconvenientes

- Preproceso y visualización pobre.
- La detección automática de volúmenes y superficies puede generar fallos que hagan perder mucho tiempo en subsanarlos.
- No crea superficie libre y la simulación de esta es complicada.
- Mucho tiempo de cálculo.
- Muy caro. (60.000€ + 10.000€ mantenimiento anual)

CAPÍTULO V – DISPOSICIÓN GENERAL Y ESTABILIDAD

CAPÍTULO V – DISPOSICIÓN GENERAL Y ESTABILIDAD

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	5
1.1	Maxsurf Stability	5
1.2	Condiciones De Carga	6
2	SELECCIÓN DE MOTOR	7
2.1	Potencia propulsora.....	7
2.2	Potencia de los motores auxiliares	10
3	COMPROBACIÓN DE PESOS	11
3.1	Peso en rosca.....	11
3.1.1	Peso de la Estructura (d’Almeida, 2009) para buques de carga general 11	
3.1.2	Peso de la Maquinaria, (d’Almeida, 2009)	12
3.1.3	Peso del Equipamiento, (d’Almeida, 2009)	12
3.1.4	Centro de gravedad de la Estructura	12
3.1.5	Centro de gravedad de la maquinaria.....	14
3.1.6	Centro de gravedad del Equipamiento	14
3.2	Peso muerto.....	15
3.2.1	Combustible	15
3.2.2	Diesel.....	15
3.2.3	Aceite	15
3.2.4	Víveres	15
3.2.5	Agua dulce.....	16
3.2.6	Tripulación	16
3.2.7	Pertrechos	16
3.2.8	Peso de la carga.....	16
4	DISPOSICIÓN GENERAL	17
4.1	Superestructura	17
4.2	Cámara de máquinas	17

4.3	Mamparos	17
4.4	Cubiertas y pisos	19
4.5	Definición de tanques y bodegas	19
5	ANALISIS MEDIANTE MAXSURF STABILITY	24
5.1	Curvas hidrostáticas	24
5.2	Carenas inclinadas	28
5.3	KG limites.....	30
5.3.1	Criterios de estabilidad.....	30
5.3.2	Calculo de máximos KGs.....	30
5.4	Condiciones de carga	31
5.4.1	C-1 (Plena carga – Salida de puerto).....	31
5.4.2	C-2 (Plena carga – Regreso a puerto).....	32
5.4.3	C-3 (Lastre – Salida de puerto)	33
5.4.4	C-4 (Lastre – Regreso a puerto).....	34
5.5	Condiciones de equilibrio	35
5.5.1	C-1.....	35
5.5.2	C-2.....	36
5.5.3	C-3.....	37
5.5.4	C-4.....	38
5.6	Estabilidad a grandes ángulos.....	39
5.6.1	C-1.....	40
5.6.2	C-2.....	41
5.6.3	C-3.....	42
5.6.4	C-4.....	43
6	CONCLUSIONES	44

FIGURAS

Figura 1. Dimensiones del motor.	8
Figura 2. Dimensiones de la reductora.	9
Figura 3. Distribución del peso por metro a lo largo de la eslora.....	13
Figura 4. Distancia de la proa del bulbo a la perpendicular de proa.	18
Figura 5. Posición del pique de popa.....	18
Figura 6. Vista de perfil de la disposición general.	22
Figura 7. Vista de en planta de la disposición general.	23
Figura 8. Carenas inclinadas o curvas KN.	29
Figura 9. Brazos GZ en condición de carga C-1.	40
Figura 10. Brazos GZ en condición de carga C-2.	41
Figura 11. Brazos GZ en condición de carga C-3.	42
Figura 12. Brazos GZ en condición de carga C-4.	43

TABLAS

Tabla 1. Condiciones de carga.....	6
Tabla 2. Cálculo de la potencia necesaria en la planta propulsora.	7
Tabla 3. Última lista de motores candidatos.....	7
Tabla 4. Coeficientes método de Biles.	13
Tabla 5. Valores obtenidos mediante el método de Biles.	13
Tabla 6. Resumen de pesos para obtener el peso y c.d.g. de buque en rosca.....	14
Tabla 7. Valores hidrostáticos para calados de 2,0 m a 4,0 m.....	24
Tabla 8. Valores hidrostáticos para calados de 4,5 m a 6,5 m.....	25
Tabla 9. Variación de los valores hidrostáticos con el calado.....	27
Tabla 10. Carenas inclinadas o curvas KN.....	28
Tabla 11. KG límites.	30
Tabla 12. Condicion de carga - Plana carga - Salida de puerto.....	31
Tabla 13. Condicion de carga - Plana carga - Regreso a puerto.....	32
Tabla 14. Condicion de carga - Lastre - Salida de puerto.	33
Tabla 15. Condicion de carga - Lastre - Regreso a puerto.	34
Tabla 16. Condición de equilibrio - C-1.....	35
Tabla 17. Condición de equilibrio - C-2.....	36
Tabla 18. Condición de equilibrio - C-3.....	37
Tabla 19. Condición de equilibrio - C-4.....	38
Tabla 20. Estabilidad condición de carga C-1.....	40
Tabla 21. Estabilidad condición de carga C-2.....	41
Tabla 22. Estabilidad condición de carga C-3.....	42
Tabla 23. Estabilidad condición de carga C-4.....	43

1 INTRODUCCIÓN

Una vez obtenida la resistencia al avance ofrecida por el buque se pasa a la selección del motor, teniendo en cuenta los rendimientos anteriormente calculados para Maxsurf, se puede estimar la potencia necesaria en la planta propulsora para que el buque navegue a la velocidad de proyecto con un margen para los momentos de condiciones adversas. Además se seleccionan los motores auxiliares para la generación eléctrica necesaria del buque, la cual, a falta de un cálculo más detallado se estima como se define en el punto 2.3.

Debido a las características del buque, se adopta la solución más sencilla, que consiste en una hélice de palas fijas, con una línea de ejes acoplada a un motor principal diesel engranado mediante una reductora. La hélice no se calcula debido a que estos cálculos se encuentran fuera del alcance de este proyecto, por esta razón no se tiene el punto de funcionamiento del motor, el cual es crucial para la selección del motor. De todas formas, dado que se trata de un proyecto académico, se seleccionará este tal y cómo se desarrolla en el punto 2 del presente capítulo.

Antes de pasar a la disposición general, se exponen los cálculos realizados para los consumibles necesarios del buque para alcanzar la autonomía definida en el primer capítulo y la selección de un motor capaz de cumplir con los requisitos de potencia.

Una vez se tenga el motor y los consumos, se podrá dimensionar la cámara de máquinas y con ello realizar una primera estimación de la disposición general de los principales espacios de carga y tanques necesarios para la navegabilidad del buque. Con ello se podrá obtener una primera aproximación al centro de gravedad que posee el buque en rosca.

Para terminar se realizará un estudio de la estabilidad del buque en diferentes condiciones de carga mediante el software Maxsurf Stability. Antes de nada se definen las capacidades de dicho software y las condiciones de carga a tratar.

1.1 Maxsurf Stability

Maxsurf Stability es un software diseñado específicamente para el cálculo de hidrostáticas, estabilidad y resistencia longitudinal añadiendo información adicional al modelo creado en el módulo Maxsurf Modeler como por ejemplo: compartimentos y puntos de inundación así como puntos críticos y líneas de margen.

Las herramientas de análisis de este módulo de Maxsurf permiten determinar un amplio rango de valores hidrostáticos y de estabilidad para el diseño en cuestión. La capacidad de añadir condiciones medioambientales lleva más lejos el análisis de la carena mediante este software.

Maxsurf Stability está creado de una manera lógica para su uso, lo que lo hace muy sencillo de utilizar. Los pasos a seguir para analizar una carena son los siguientes:

- Importar el modelo en formato “.msf” (Maxsurf Modeler) e introducir la ubicación de los diferentes mamparos, tanques y compartimentos así como de los datos del buque en rosca, su peso y su centro de gravedad estimados. El proceso se define en este capítulo.
- Seleccionar el tipo de análisis dentro de los siguientes tipos
 - Hidrostáticas sin trimado y con el buque adrizado.
 - Estabilidad en grandes ángulos.
 - Análisis de equilibrio.
 - Análisis de condiciones específicas.
 - Curvas KN.
 - Análisis KG límites.
 - Análisis de resistencia longitudinal.
- Configurar análisis en cuanto a calado, trimado, escora, desplazamiento, etc.
- Condiciones medioambientales: tipos de fluidos, densidades, oleaje, etc.
- Selección y especificación de criterios para comprobar el cumplimiento con diferentes tipos de reglamentos.
- Ejecutar el análisis.
- Observación de los datos de salida, se genera un informe donde se recogen todos los datos obtenidos.

1.2 Condiciones De Carga

Las condiciones básicas a tratar serán las condiciones de carga y lastre, basadas en las cantidades de carga, agua dulce y de lastre, combustibles y demás consumibles que el buque puede transportar. Estas serán evaluadas para condiciones de salida de puerto y regreso. La salida de puerto se tomará con los tanques totalmente llenos (100%) así como todos los consumibles necesarios.

Para la condición de regreso la cantidad de fluidos y consumibles será tomada como el 10% del total. Estas dos condiciones de carga generales deben ser estudiadas en las siguientes configuraciones de carga.

- **Condición de carga seca a granel.** Carga de mercancía a granel con la totalidad de las bodegas llenas, con una densidad homogénea de $0,7 \text{ t/m}^3$.
- **Condición de lastre.** Condición del buque descargado con los tanques de lastre llenos para permitir una navegabilidad segura.

Por lo tanto se generan 4 condiciones de carga como sigue:

Código	Configuración	Condición
C-1	Plena carga seca a granel	Salida Puerto
C-2	Plena carga seca a granel	Regreso Puerto
C-3	Lastre	Salida Puerto
C-4	Lastre	Regreso Puerto

Tabla 1. Condiciones de carga

2 SELECCIÓN DE MOTOR

2.1 Potencia propulsora

En este punto, se busca motor que cumpla con los requisitos de potencia, con el fin de estimar tanto los consumos de combustible como los de aceite. Como referencia podemos elegir el motor en base a la potencia obtenida mediante los métodos desarrollados en el anterior capítulo. Además se tomará el rendimiento propulsivo calculado también con anterioridad mediante diferentes formulas estimativas.

Por lo que los resultados a tener en cuenta, y considerando que la velocidad se debe alcanzar a un 85% MCR se tiene que:

Velocidad (kn)	Potencia 85% MCR (kW)	Potencia 100% MCR (kW)
14	2378,883	2735,715

Tabla 2. Cálculo de la potencia necesaria en la planta propulsora.

Estos valores serán sobrestimados, aplicándoles un margen de seguridad. Por ello, se decide establecer que la potencia necesaria a instalar en la planta propulsora debe ser de **3000 kW**. Se toma en cuenta un valor estimativo de las revoluciones de la hélice, las referencias indican que **110 rpm** es un valor aceptable para este tipo de buque.

Se realiza una comparación entre algunas de las casas más importantes suministradoras de motores. En la siguiente tabla se pueden apreciar tres candidatos, los cuales, de todos los motores y casas revisadas, son lo que más se acercan a los buscados y disponen de información suficiente como para que la elección sea lo más justificada posible.

Casa	Modelo	Velocidad (rpm)	Potencia (kW)	Consumo Combustible (100% MCR) (g/kWh)	Consumo Aceite (g/kWh)	Pesos (t)		
						Motor	Reductora	Total
MAN	6L32/40	750	3000	184	0,5	38	8 (SCV68 Wärstsilä)	46
Rols Royce	C25:33 L9P 2	1000	3000	185	0,7	26,3	10 (750 AG C-KP)	36,3
Wärstsilä	9L26	1000	3060	192	-	23,6	8 (SCV68 Wärstsilä)	31,6

Tabla 3. Última lista de motores candidatos.

Se debe apuntar un comentario importante en cuanto al tema de las reductoras. Los motores MAN y Wärstsilä no la llevan incorporada, luego esta se elige en la casa del último modelo pues son las menos pesadas. Además el motor Rols-Royce viene con una reductora incorporada (750 AG C-KP) de relación de reducción de 6.25:1, lo que daría unas revoluciones en la hélice de 160 rpm, demasiado altas, por lo que éste será el primer descartado de la lista seleccionada.

Para la elección del motor adecuado, se debe tener en cuenta el consumo y el peso. La diferencia de peso entre ambos es importante y declina la balanza hacia el motor de la casa rusa, sin embargo la diferencia de consumo hace que el motor MAN sea considerado más eficiente económicamente hablando a la larga, por lo que este será la opción seleccionada.

Por lo tanto como una primera aproximación y referencia se puede tomar de base el motor de la casa MAN, serie 32/40 (6L32/40). En el Anexo IV se adjunta su ficha técnica, pero como resumen se puede decir que:

- Potencia (MCR) 3000 kW
- Consumo (100% MCR) 184 g/kWh
- Consumo (85% MCR) 183 g/kWh
- Consumo aceite 0,5 g/kWh

Y sus dimensiones son las siguientes:

Dimensions					
Cyl. No.		6	7	8	9
L	mm	5,940	6,470	7,000	7,530
L ₁	mm	5,140	5,670	6,195	6,725
W	mm	2,630	2,630	2,715	2,715
H	mm	4,010	4,010	4,490	4,490
Dry mass	t	38	42	47	51

Minimum centreline distance for twin engine installation: 2,500 mm¹⁾
Speed 720 r/min for generator drive/constant speed operation only
Fixed pitch propeller: 450 kW/cyl, 750 r/min

¹⁾ Please contact MAN Diesel & Turbo for the precise information about the centreline distance for two engines with the same cylinder number standing near each other

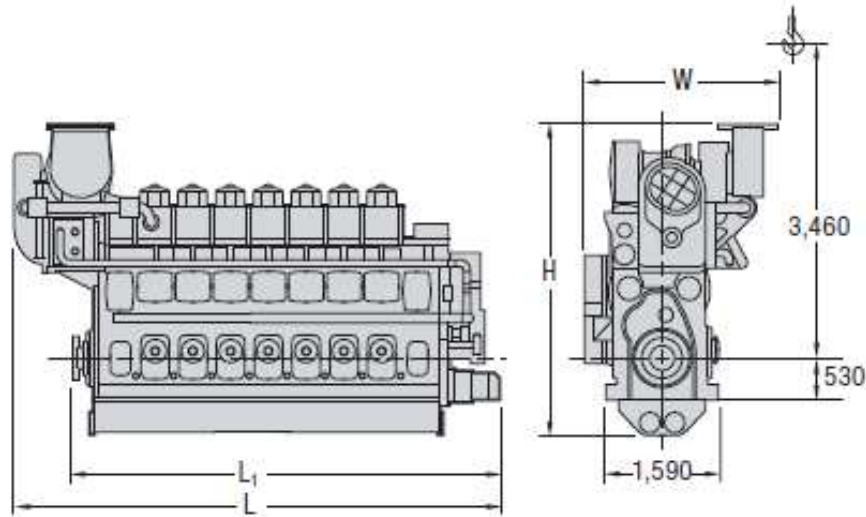
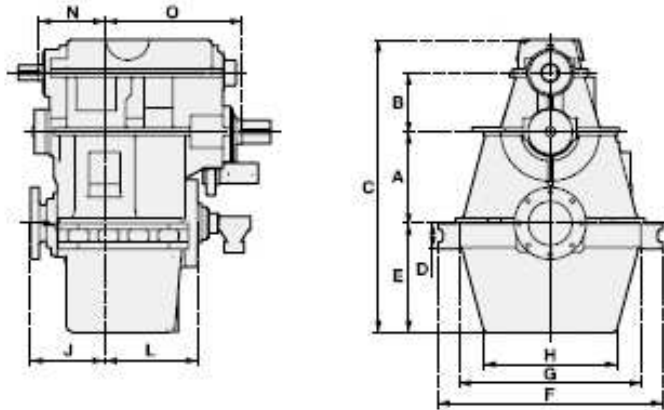


Figura 1. Dimensiones del motor.

Junto con la reductora de dimensiones como sigue a continuación:



Single input gears, vertical offset, dimensions (mm)

Gear type/size	A	B Std-Max	C	D	E	F	G	H	J	L	N	O SCW/SV	Weight, tonnes*
SCV38	380	290	1305	115	465	1000	750	530	340	538	230	650	2.1
SCV42	420	320	1435	125	510	1500	830	585	530	558	255	715	2.7
SCV46	460	350	1570	140	560	1580	910	640	570	595	280	785	3.4
SCV50	500	380	1724	150	590	1340	1024	720	470	592	420	1035	4.2
SCV56	560	410	1848	160	645	1500	1110	800	530	650	450	1100	6.0
SCV62	620	440-470	2210	180	740	1580	1240	880	570	662	350	1150	7.0
SCV68	680	460-510	2370	200	800	1720	1360	960	625	720	370	1250	8.0
SCV75	750	480-530	2460	220	880	1850	1480	1040	660	800	450	1300/1095	10.0
SCV85	850	510-560	2720	250	1000	2100	1680	1178	730	915	550	1470/1220	13.0
SCV95	950	580-630	3025	280	1145	2350	1880	1327	800	1025	450	1640/1350	19.5
SCV105	1050	600	3328	250	1125	2628	2192	1668	1410	624	618	970	24.0
SV112	1120	600	3550	260	1198	2804	2272	1772	1500	660	615	800	24.0
SCV112	1120	700	3650	260	1198	2804	2272	1772	1500	660	595	1800	29.0
SV118	1180	600	3610	300	1190	2824	2268	1758	1520	716	615	827	30.0
SCV118	1180	700	3710	300	1190	2824	2268	1758	1520	716	595	1800	32.0
SV125	1250	600	3805	300	1325	1954	2396	1888	1600	808	615	860	31.0
SCV125	1250	700	3905	300	1325	1954	2396	1888	1600	808	595	1950	36.5
SV132	1320	600	3940	300	1390	3084	2516	2018	1630	850	615	875	34.0
SCV132	1320	700	4040	300	1390	3084	2516	2018	1630	850	610	2020	39.0
SV140	1400	600	4250	350	1500	3250	2600	2150	1700	900	720	920	40.0
SCV140	1400	700	4350	350	1500	3250	2600	2150	1700	900	680	2200	44.0

Figura 2. Dimensiones de la reductora.

A modo de resumen se dice que el empacho principal de esta es de:

- Longitud total 1,685 m
- Anchura total 1,720 m
- Altura 2,370 m
- Peso 8 t

Esto hace que el conjunto posea las siguientes dimensiones principales y peso:

- Longitud total 6,825 m

- Anchura total 2,630 m
- Altura 4,940 m
- Peso 46 t

2.2 Potencia de los motores auxiliares

A falta de la realización de un balance eléctrico más preciso, el cual no se realizará por estar fuera del alcance de este proyecto; tomando como referencias otros buques del mismo porte, se considerará suficiente la potencia de 400 kW para cubrir las exigencias eléctricas del buque en condiciones de navegación normal.

Se considera oportuna la instalación de dos motores auxiliares capaces, cada uno, de suministrar dicha potencia. De este modo se instalarían dos diesel generadores de 400 kW. A estos habrá que sumar otro generador auxiliar de emergencia de 85 kW.

Se selecciona como primera opción un motor generador CAT C13 ACERT 400 eKW. En el Anexo V se adjunta la ficha técnica pero como resumen se puede establecer que:

Potencia	400	ekW
Potencia	500	kVA
Consumo	225	g/kWh

3 COMPROBACIÓN DE PESOS

3.1 Peso en rosca

Para calcular el PM disponible en esta carena, se utilizarán las fórmulas definidas para calcular el peso buque en rosca. Este valor se sustrae del desplazamiento total y, con ello, se obtienen las toneladas de carga (estimada) que podrá transportar este buque.

$$PR = 0,0254 \cdot Lpp^{1,5} \cdot B \cdot D^{0,5} + 8 \cdot MCO^{0,49963} + 0,11994 \cdot (Lpp \cdot B)^{0,9998} \quad (1)$$

$$PR = 1932,56 t;$$

Realizando la estimación de una forma más desarrollada por otros métodos se comprueba la validez de esta fórmula.

Para la estimación del peso del buque en rosca se divide este en partidas definidas a continuación:

- Estructura, peso del acero del casco, superestructura, polines, etc.
- Maquinaria, peso de los principales elementos alojados en la cámara de máquinas.
- Equipamiento, peso del resto de equipamiento del buque.

Estos cálculos se realizan de una forma preliminar para poder continuar con el proceso de cálculo de la estabilidad, sin embargo para conocer la posición real de estos pesos se debe realizar un análisis mucho más detallado de estos. Existen diferentes expresiones en base a buques construidos que pueden aportar una estimación preliminar de estas partidas. En los siguientes puntos se definen estos:

3.1.1 Peso de la Estructura (d'Almeida, 2009) para buques de carga general

$$P_{acero\ casco} = k_1 \cdot L^{k_2} \cdot B^{k_3} \cdot D^{k_4} \quad (2)$$

Donde $k_1=0,0313$; $k_2=1,65$; $k_3=0,80$; $k_4=0,280$; luego:

$$P_{acero\ casco} = 1359,40 t;$$

Se la aplicará una corrección del 2% debido a reforzado de cubiertas y bodegas:

$$P_{acero\ casco} = 1359,05 t;$$

En cuanto al acero de la superestructura se considera un 10% de la estructura del casco para el caso de buques de carga general.

$$P_{acero\ superestructura} = 135,905 t;$$

Por lo tanto el peso total de la estructura resulta ser:

$$P_{acero} = 1494,95 t;$$

3.1.2 Peso de la Maquinaria, (d'Almeida, 2009)

Esta partida hace referencia a los equipos y maquinaria instalada en la cámara de máquinas.

$$P_{maquinas} = k_1 \cdot P_{MCR}^{k_2} \quad (3)$$

Para dos motores diesel de 2 tiempos y utilizando la potencia calculada anteriormente $P=2313,16$ kW, $k_1=2.35$ y $k_2=0.54$ dando un valor de:

$$P_{maquinas} = 244,23 \text{ t};$$

3.1.3 Peso del Equipamiento, (d'Almeida, 2009)

Esta partida hace referencia al equipamiento fuera de la cámara de máquinas, es decir, cubiertas, habilitación trasiego de diferentes líquidos, etc.

$$P_{equipos} = k_1 \cdot (L \cdot B \cdot D)^{k_2} \quad (4)$$

Para buques de carga general se consideran los valores de $k_1=0.5166$ y $k_2=0.65$ resultando un valor de:

$$P_{equipos} = 272,84 \text{ t};$$

Por lo que el total del peso del buque en rosca

$$P_{rosca} = 2012,03 \text{ t};$$

Para la estimación del centro de gravedad del buque en rosca es útil y necesario usar algunas aproximaciones e idealizaciones. Casi todos los pesos se pueden representar en términos de cuatro tipos básicos de distribución: puntual, distribución uniforme, distribución trapezoidal o triangular.

3.1.4 Centro de gravedad de la Estructura

Una de las partidas principales de la distribución de pesos, es el peso de la estructura del casco y su centro de gravedad, que se estiman antes de que el diseño detallado de la estructura se haya realizado.

Una aproximación aceptable consiste en usar una distribución del peso continuo del casco de manera uniforme a lo largo del cuerpo cilíndrico y dos trapecios para ambos extremos, con valores de ordenadas elegidos para que la posición longitudinal del peso del casco esté en la posición estimada. Este método se conoce como método de Biles, en el cual se divide la eslora del casco continuo en tres partes iguales, utilizando los siguientes coeficientes en función de las formas del barco para obtener el peso por metro a lo largo de la eslora.

Coeficientes	Formas finas	Formas llenas
a	0,566	0,596
b	1,195	1,174
c	0,653	0,706

Tabla 4. Coeficientes método de Biles.

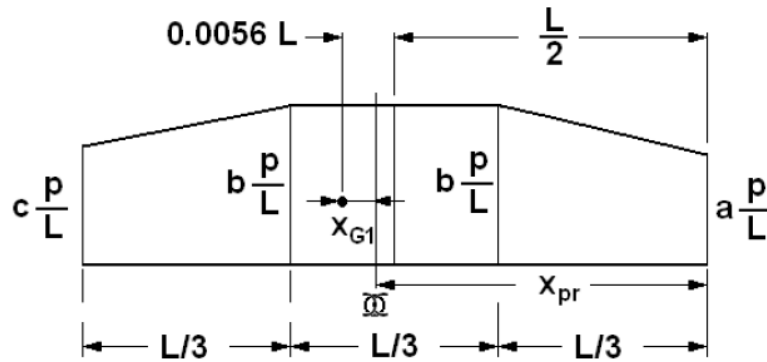


Figura 3. Distribución del peso por metro a lo largo de la eslora

El área de la Figura 3 representa el peso continuo del casco, que en buques de acero se llama peso de acero continuo, y la posición longitudinal del centro de gravedad del área deberá coincidir con la posición longitudinal x_{G1} del centro de gravedad del peso continuo “P”. La posición longitudinal del centro de gravedad que se obtiene de la figura es de $0,0056 \cdot L$ a popa de $L/2$. Si los centros de gravedad de los pesos están referenciados a la sección media, y la abscisa de proa del peso continuo está a x_{pr} de dicha sección, el centro de gravedad de la figura distará de la sección media:

$$x_{G1} = x_{pr} - \left(0,0056 \cdot L + \frac{L}{2}\right) \quad (5)$$

Siendo el peso $P = 1494,956 \text{ t}$ y la eslora total $L = 115,5 \text{ m}$ y considerando un buque de formas llenas se obtienen los siguientes valores:

Peso	1494,956	t
Eslora total	115,5	m
Extremo de proa	9,972	t/m
Cuerpo cilíndrico	19,644	t/m
Extremo de popa	11,813	t/m
x_{pr}	55,637	m
x_{g1}	-2,760	m
x_{pp}	49,249	m

Tabla 5. Valores obtenidos mediante el método de Biles.

Siendo x_{pp} la posición del centro de gravedad del peso de acero continuo respecto a la perpendicular de popa.

La altura del centro de gravedad del acero se puede estimar mediante la expresión (Kupras):

$$KG_{acero} = 0,01 \cdot D \cdot \left[46,6 + 0,135 \cdot (0,81 - c_b) \cdot \left(\frac{L}{D}\right)^2 \right] + 0,008 \cdot D \cdot \left(\frac{L}{B} - 6,5\right) + 0,001 \cdot D \cdot \left[1 - \frac{L - 60}{60} \right] \quad (6)$$

$$KG_{acero} = 4,163 \text{ m};$$

3.1.5 Centro de gravedad de la maquinaria

El centro de gravedad de la cámara de máquinas se estimará como una aproximación muy preliminar en a 60% de la eslora de la cámara de máquinas medido desde el pique de popa, siendo su distancia a la perpendicular de popa $XG_{maquinaria} = 11,040 \text{ m}$ y a una altura dada por la siguiente expresión:

$$KG_{maquinaria} = h_{DF} + 0,35 \cdot (D - h_{DF}) \quad (7)$$

Siendo:

$$KG_{maquinaria} = 3,4 \text{ m}$$

3.1.6 Centro de gravedad del Equipamiento

El centro de gravedad del equipamiento se estima que estará ubicado por encima de la cubierta 1,25m sobre la cubierta y a una distancia del 10% de la eslora a proa de la sección media, debido a los elementos de fondeo.

A modo de resumen se expone la siguiente tabla en la que se ha calculado el peso total y el centro de gravedad del buque en rosca, remarcando que esto es una aproximación muy gruesa, de aquí a la realidad los valores serán diferentes pero para el objetivo marcado de este proyecto es válido.

	Peso (t)	XG (m)	KG (m)	XG·P (t·m)	KG·P (t·m)
Acero	1494,956	49,249	4,163	73625,106	6223,503
Maquinaria	244,230	11,04	3,400	2417,872	830,380
Equipo	272,839	54,600	9,450	14187,638	2578,330
En Rosca	2012,025	45,337	4,787	90230,617	9632,214

Tabla 6. Resumen de pesos para obtener el peso y c.d.g. de buque en rosca.

Se aprecia una desviación de 10 t, o lo que es lo mismo un 0,56% de error, por lo que se considera bueno este valor.

Realizando la operación para calcular el peso muerto queda:

$$PM = \Delta - PR = 5452 \text{ t};$$

3.2 Peso muerto

A continuación se realiza un desglose del peso muerto.

3.2.1 Combustible

Considerando la máxima velocidad posible (14,3 kn) con el desplazamiento máximo al calado máximo (6 m) y una autonomía basada en la del buque base (4500 millas + 15% de margen de servicio) se obtiene un total de 360,3 horas. Por lo tanto la masa de combustible para el motor principal queda de la siguiente forma:

$$Masa\ combustible = \frac{Consumo\ esp. \left(\frac{g}{kWh}\right) \cdot Potencia\ (kW) \cdot Autonomia(h)}{10^6} \quad (8)$$

$$Masa\ combustible = 201\ t;$$

Los datos referentes a los consumos de combustible del motor proporcionados por el fabricante se especifican para MDO.

3.2.2 Diesel

En cuanto al consumo de diesel necesario para los generadores se utiliza el mismo proceso que para el cálculo de combustible resultando una cantidad de 32,4 t

$$Masa\ diesel = 31\ t;$$

3.2.3 Aceite

Se realiza la misma operación que para el combustible pero en este caso sustituyendo el consumo por el definido por el fabricante para aceite:

$$Masa\ aceite\ MMPP = 0,54\ t;$$

El motor, será de cuatro tiempos, con lo que sólo se tendrá un aceite para el motor, deberá llevar en el tanque de servicio de aceite, al menos 0,54 t para el caso en que fuese necesario el cambio de aceite. Se supone un tanque de almacén de 1t.

Por lo tanto se estima una cantidad de aceite de 1,54 t.

A tenor de los datos ofrecidos por diversos fabricantes para motores con una potencia de 400 kW tomaremos la capacidad de aceite de los motores auxiliares de 0,05 m³. Debido a que se tiene 3 motores auxiliares, 0,15 m³ y se estiman 0,03 m³ de reserva para los motores y 0,03 m³ para lubricación y refrigeración de los alternadores. Tomando una densidad de 0,75 t/m³ se obtiene un peso de aceite de:

$$Masa\ aceite\ total = 1,54 + (0,15 + 0,03 + 0,03) \cdot 0,75 = 1,69\ t;$$

3.2.4 Víveres

Teniendo en cuenta la autonomía y una velocidad de media en servicio de 14 kn, los días de navegación son aproximadamente 15. Estimando un consumo de viveres de 12 kg/trip·día. Siendo el número de tripulantes 14:

$$Viveres = 12 \cdot 15 \cdot 14 = 2,52 \text{ t};$$

3.2.5 Agua dulce

Se estima un consumo de agua dulce de 175 litros/trip·día, dado que la autonomía corresponde con el tiempo de 15 días y añadiendo un 30% de agua de refrigeración se obtiene:

$$Agua\ dulce = 0,175 \cdot 15 \cdot 14 \cdot 1,3 = 41,56 \text{ t};$$

3.2.6 Tripulación

Estimando un peso de la tripulación de 125 kg/trip

$$Tripulación = 0,125 \cdot 14 = 1,75 \text{ t};$$

3.2.7 Pertrechos

Se estima un peso de 40 t para los pertrechos

3.2.8 Peso de la carga

La masa de la carga la calculamos restando al peso muerto la suma de los pesos anteriores:

$$Masa\ Carga = 5452 - 201 - 1,69 - 2,52 - 41,56 - 1,75 - 40 = \mathbf{5129,35 \text{ t}};$$

4 DISPOSICIÓN GENERAL

Antes de proceder al análisis de la carena, es necesario definir la disposición que se dispondrá en el interior del buque para tener una primera idea de espacios de carga, máquinas y tanques.

4.1 Superestructura

Este tipo de buques suele tener la superestructura en la parte de popa de la cubierta, donde se situará la habilitación, oficinas, gambuzas, y demás compartimentos necesarios para la vida a bordo con el objetivo de dejar el máximo espacio disponible en el interior del casco para el estibado de la carga. Dicha superestructura se situará sobre la cámara de máquinas para utilizar el calor que es extraído a través de los guardacalores con el fin de calentar los locales de habilitación.

4.2 Cámara de máquinas

En la cámara de máquinas, situada lo más a popa posible, se situaran los motores de propulsión principal, los motores diesel auxiliares, bombas y válvulas necesarias para los principales servicios auxiliares.

4.3 Mamparos

El buque estará dividido en 9 compartimentos estancos separados por medio de 8 mamparos principales estancos situados como se define a continuación a partir del reglamento DNV GL-RU-SHIP-Pt3Ch2. Sin embargo antes de definir la posición es necesario calcular el **espaciado entre cuadernas** a partir de la sección media:

$$s [mm] = 2 \cdot (305 + L[m]) = 825 \text{ mm};$$

- **Pique de proa.** Este debe estar a popa de la perpendicular de proa una distancia comprendida entre:

$$x_{c-min} = 0,05 \cdot L_{pp} - x_f$$

$$x_{c-max} = 0,08 \cdot L_{pp} - x_f$$

Donde x_f es una corrección que se aplica a buques con bulbo en la proa de la tomando el mínimo de los siguientes valores:

$$x_f = 0,5 \cdot x_{be} = 0,5 \cdot 2,48 = 1,24 \text{ m}$$

$$x_f = 0,015 \cdot L_{pp} = 0,015 \cdot 104,0 = 1,56 \text{ m}$$

$$x_f = 3,0 \text{ m}$$

Se tomará 1,24 m.

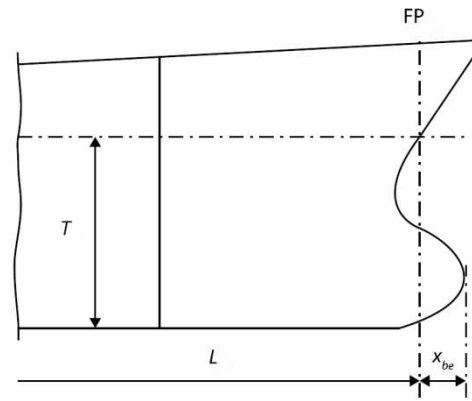


Figura 4. Distancia de la proa del bulbo a la perpendicular de proa.

Por lo que el mamparo de colisión estará comprendido entre:

$$x_{c-min} = 3,96 \text{ m}$$

$$x_{c-max} = 7,08 \text{ m}$$

El mamparo de colisión se establece a una distancia de 5,775 m a popa de la perpendicular de proa haciéndolo coincidir con una de las cuadernas.

- **Pique de popa.** Debe contener la mecha del timón y la bocina del eje en un compartimento estanco. Este se colocará en la en la cuaderna que se aprecia en la imagen a 3300 mm de la perpendicular de popa.

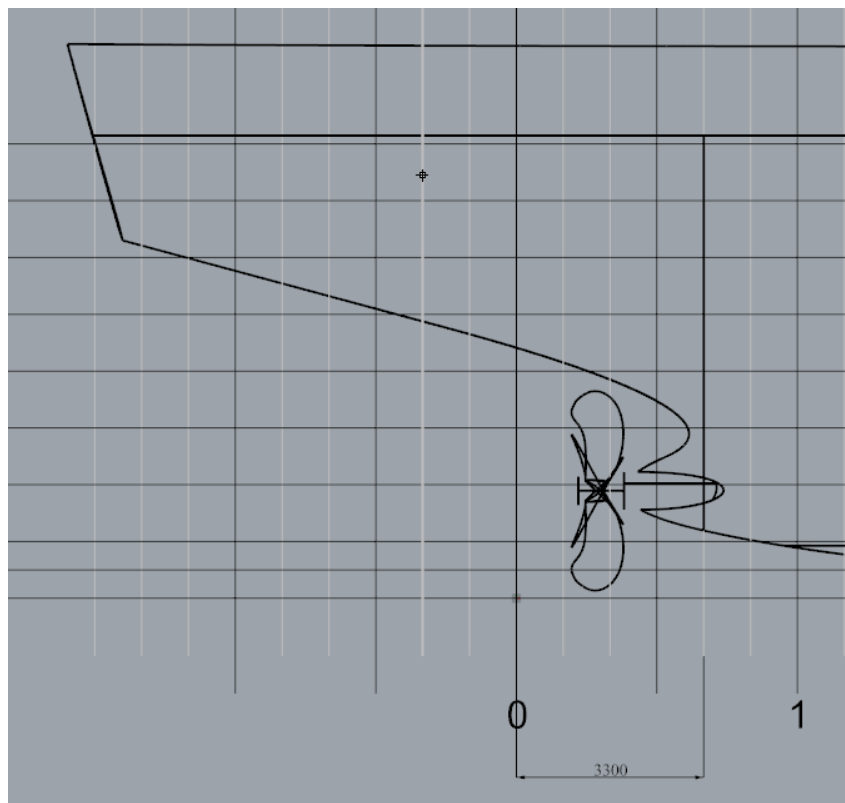


Figura 5. Posición del pique de popa.

- **Mamparo de proa de cámara de máquinas** que defina la eslora disponible de esta. Para el cálculo de la eslora se recurre a la fórmula de cargueros normales y graneleros definida a continuación:

$$L_{cm} = 2,53 \cdot L_{pp}^{0,34} + 3,87 \cdot MCR^{1,5} \cdot 10^{-6} \quad (9)$$

Tomando como aproximación la potencia calculada en el apartado de selección de motor(3000 kW) resulta un valor de:

$$L_{cm} = 12,91 \text{ m};$$

Sin embargo para hacerlo coincidir con una de las cuadernas establecidas anteriormente se tomara una eslora de cámara de máquinas de **13,20 m**.

- **Mamparos divisores de la zona de carga.** La zona de carga restante en el buque resulta ser de 74,25 m. Se colocan cuatro mamparos que dividan el espacio de carga en cinco bodegas como se define en el apartado 4.5.

4.4 Cubiertas y pisos

Además de los mamparos se dispondrá un piso y una cubierta que definirán el puntal disponible de carga. Bajo el piso se situarán los tanques de agua dulce y de lastre, así como los de combustible, aguas negras y grises, lubricantes, sentinas, etc.

La cubierta será la cubierta resistente del buque, será continua y estanca de popa a proa y no llevará brusca. Irá reforzada longitudinalmente de modo que puedan tomarse las cargas de flexión del buque del modo más eficaz. Las aberturas de las bodegas irán reforzadas por una brazola sobre la que descansarán las tapas.

La cubierta estará a una altura de **8,15 m** sobre la línea base aportando un **francobordo** de **2,15 m**. Este valor está por encima de todos los francobordos de los buques de la base de datos por lo que se da por válido.

El piso de bodegas irá a una altura sobre la línea base mínima de 760 mm o definida por la siguiente expresión:

$$h_{DB} = 1000 \cdot \frac{B}{20} = 815 \text{ mm};$$

Se tomará este valor como altura del piso de doble fondo.

4.5 Definición de tanques y bodegas

Para el análisis de la carena es útil una primera idea de dónde irán situados los tanques necesarios para el funcionamiento del buque y supervivencia de la tripulación y así conocer los pesos y c.d.g. de estos.

Bodegas:

Se realiza una división de la zona de carga en 5 bodegas ubicando los mamparos en las cuadernas 28, 47, 66, 84, 102 y 120 dando las siguientes esloras para cada bodega:

Eslora Bodega N°1	15,675	m
Eslora Bodega N°2	14,85	m
Eslora Bodega N°3	14,85	m
Eslora Bodega N°4	14,85	m
Eslora Bodega N°5	13,20	m

Esta configuración permite estibar dos contenedores en eslora en cada bodega y maximiza la posibilidad de transporte de carga dando versatilidad al llenado de estas.

Tanques de lastre:

Para los tanques de lastre se puede tomar el doble fondo que existe bajo las bodegas, se realiza una división simétrica respecto a crujía colocando una quilla vertical en esta posición y calculando los volúmenes libres que quedan bajo la plancha de doble fondo.

Además se colocan tanques de lastre en las zonas extremas en eslora del buque, estos tienen mucho efecto a la hora de conseguir un trimado deseado al encontrarse lejanos al centro de flotación.

Tanques de combustible:

Siguiendo el reglamento “MARPOL 73/78 Annex I” se especifica que los tanques de combustible deben estar a una altura dada sobre la línea base, se tomará la menor de estas alturas especificadas a continuación:

$$h = \frac{B}{20} = 0,816 \text{ m};$$

$$h = 2,0 \text{ m};$$

Por lo tanto se deberán ubicar por encima del piso del doble fondo lo más cerca posible de la cámara de máquinas. Se colocará un nuevo mamparo entre la cámara de máquinas y la bodega n°1 para crear un espacio utilizable por los tanques de combustible y diesel. Estos mamparos estarán sobre las cuadernas 21 y 27, creando un cofferdam entre la cámara de máquinas y los tanques, y entre los tanques y la bodega n°1. Se situarán los tanques de combustible centrados en cubierta y a cada banda de estos se ubicarán los de diesel.

Tanques de derrame, rebose y lodos

Se ubicaran en el doble fondo de la cámara de máquinas cerca de la ubicación de los motores principales

Tanques de aceite

Tanque de servicio: inmediatamente debajo del motor.

Tanque de almacén: sobre el nivel del motor a popa de la cámara de máquinas.

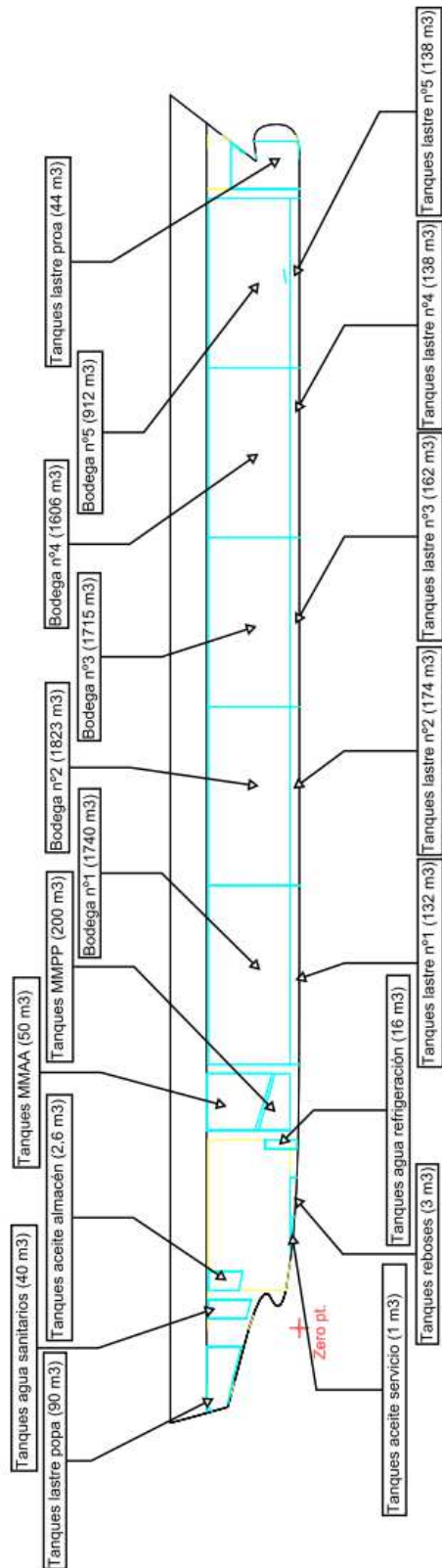
Tanques de Agua dulce

Los tanques de agua dulce destinada a servicios sanitarios irán ubicados a popa de la cámara de máquinas en unos tanques estructurales apoyados sobre las cuadernas 3 y 4, esta última es el pique de popa. Para el tanque de agua dulce de refrigeración se instalan tanques no estructurales en el interior del doble fondo de la cámara de máquinas.

Todos los valores de los tanques en la cámara de máquinas están sobre dimensionados con relación a los que disponen buques del mismo porte, ya que el fin de esta disposición es la de tener una idea de cómo se comportará el buque en las distintas condiciones de carga.

Por lo tanto se obtienen la siguiente disposición de tanques:

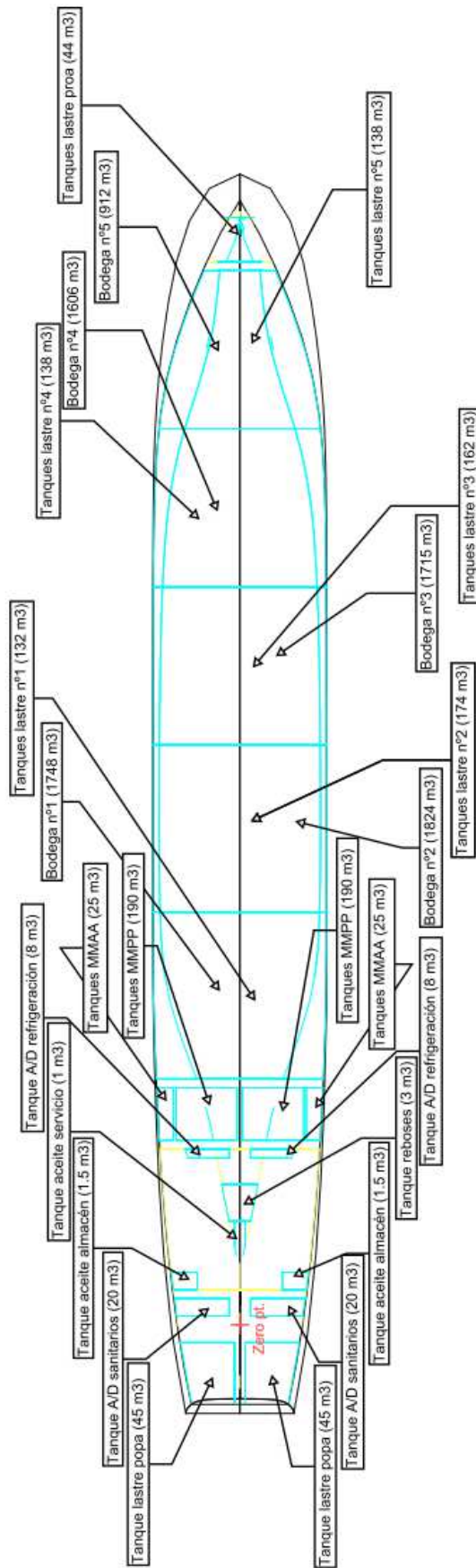
martes, 24 de mayo de 2016
Maxsurf Stability Enterprise 64-bit 20.00.02.31



Profile View

Figura 6. Vista de perfil de la disposición general.

martes, 24 de mayo de 2016
 Maxsurf Stability Enterprise 64-bit 20.00.02.31



Plan View

Figura 7. Vista de en planta de la disposición general.

5 ANALISIS MEDIANTE MAXSURF STABILITY

En este apartado se realizarán los cálculos de arquitectura naval con ayuda del software Maxsurf Stability. Tras modelar la carena y definir los espacios de carga y consumibles, así como las condiciones de carga, dicho programa nos permitirá conocer, entre otras cosas, las características hidrostáticas en las diferentes condiciones de carga, las curvas de brazos adrizantes para distintos ángulos de escora en un rango conocido de desplazamientos, etc.

5.1 Curvas hidrostáticas

En primer lugar, se disponen a continuación las curvas hidrostáticas de la carena calculadas por el programa. No se conoce con exactitud la altura del centro de gravedad pero se ha realizado una estimación de este anteriormente. Se considera necesaria el estudio de las curvas hidrostáticas entre los calados de 2.0 m y 6.5 m siendo los extremos que se alcanzarán en las condiciones de carga. Estas curvas se calculan para el buque adrizado y sin asiento.

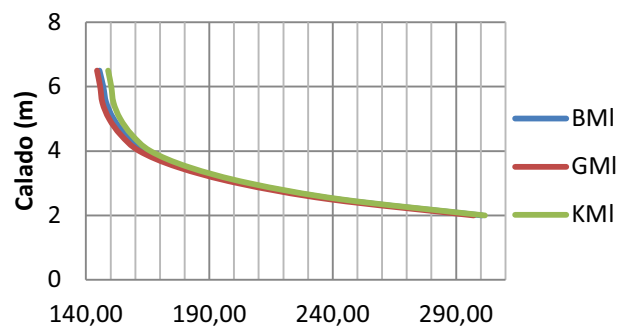
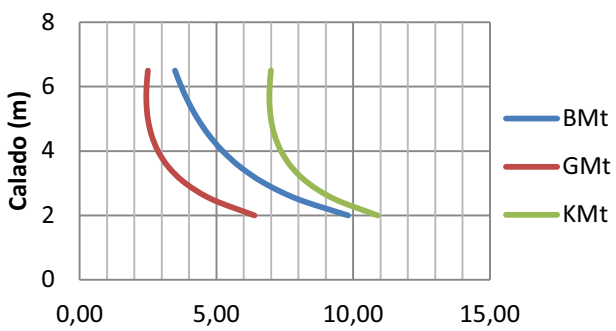
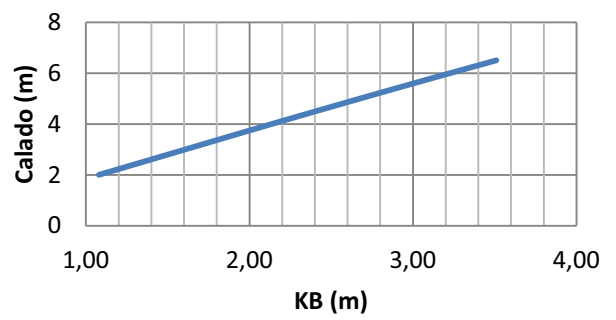
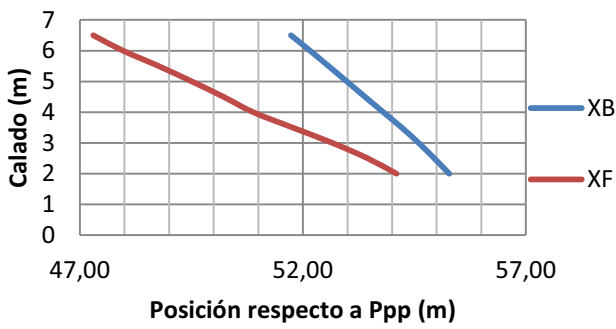
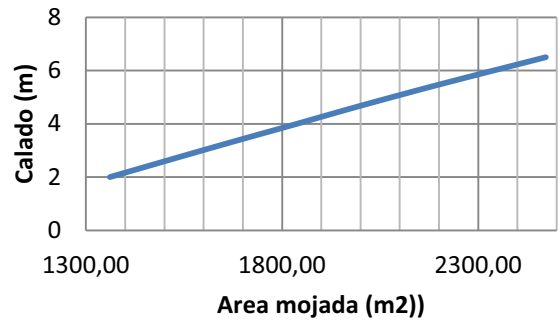
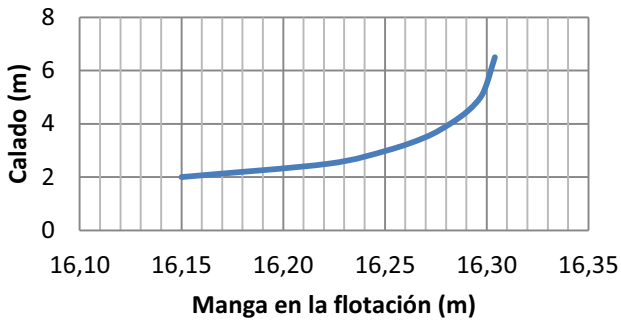
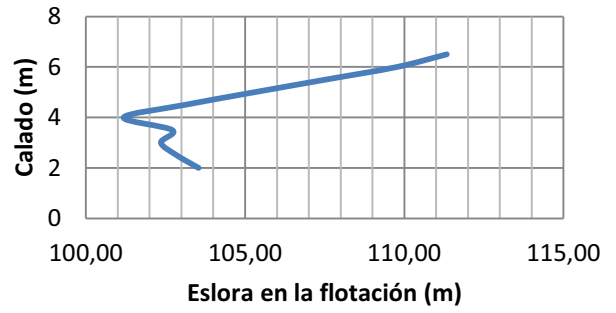
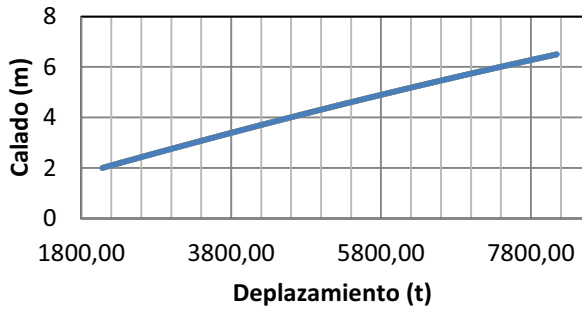
Calado Sección Media	2	2,5	3	3,5	4
Desplazamiento (t)	2080	2687	3308	3942	4590
Eslora de flotación m	103,538	102,853	102,355	102,712	101,185
Manga máxima en la flotación m	16,15	16,222	16,251	16,27	16,282
Área mojada m ²	1360,922	1478,474	1596,284	1716,224	1838,068
Área de la flotación m ²	1168,909	1197,033	1222,475	1249,476	1280,792
Coef. Prismático (Cp)	0,656	0,671	0,684	0,691	0,71
Coef. Bloque (Cb)	0,606	0,628	0,646	0,657	0,679
Coef. CuadernaMaestra (Cm)	0,924	0,935	0,945	0,951	0,957
Coef. Flotación (Cwp)	0,699	0,717	0,735	0,748	0,777
LCB Desde Ppp (+ a proa) m	55,282	54,946	54,596	54,215	53,803
LCF Desde Ppp (+ a proa) m	54,099	53,451	52,662	51,769	50,886
KB m	1,079	1,344	1,608	1,872	2,137
KG m	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
BMt m	9,815	7,995	6,758	5,88	5,226
BML m	300,591	242,1	204,627	179,841	164,019
GMt m	6,393	4,839	3,866	3,251	2,863
GML m	297,17	238,944	201,734	177,213	161,656
KMt m	10,893	9,339	8,366	7,751	7,363
KML m	301,67	243,444	206,234	181,713	166,156
ITC t/cm	11,992	12,28	12,541	12,818	13,14
MTctonne.m	59,42	61,73	64,158	67,163	71,347

Tabla 7. Valores hidrostáticos para calados de 2,0 m a 4,0 m.

Calado Sección Media	4,5	5	5,5	6	6,5
Desplazamiento (t)	5257	5945	6655	7387	8144
Eslora de flotación m	103,114	105,294	107,533	109,771	111,335
Manga máxima en la flotación m	16,291	16,297	16,3	16,302	16,304
Área mojada m ²	1956,905	2080,053	2207,195	2339,048	2472,328
Área de la flotación m ²	1320,064	1361,54	1405,098	1451,322	1495,01
Coef. Prismático (Cp)	0,705	0,7	0,695	0,691	0,692
Coef. Bloque (Cb)	0,678	0,675	0,673	0,671	0,673
Coef. CuadernaMaestra (Cm)	0,961	0,965	0,968	0,97	0,972
Coef. Flotación (Cwp)	0,786	0,793	0,802	0,811	0,824
LCB Desde Ppp (+ a proa) m	53,391	52,985	52,575	52,16	51,733
LCF Desde Ppp (+ a proa) m	50,22	49,509	48,765	47,967	47,3
KB m	2,406	2,677	2,951	3,229	3,51
KG m	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
BMt m	4,72	4,316	3,988	3,716	3,484
BML m	156,229	151,22	148,219	147,023	145,468
GMt m	2,625	2,493	2,439	2,445	2,493
GML m	154,135	149,396	146,671	145,752	144,478
KMt m	7,125	6,993	6,939	6,945	6,993
KML m	158,635	153,896	151,171	150,252	148,978
ITC t/cm	13,543	13,968	14,415	14,889	15,337
MTctonne.m	77,913	85,4	93,852	103,532	113,143

Tabla 8. Valores hidrostáticos para calados de 4,5 m a 6,5 m.

Estos resultados se pueden representar de forma gráfica con las siguientes imágenes exportadas del programa Maxsurf Stability. Se dividen en dos grandes grupos, uno representa la variación de los coeficientes de formas con el calado; el otro grupo la variación del resto de parámetros obtenidos también con el calado.



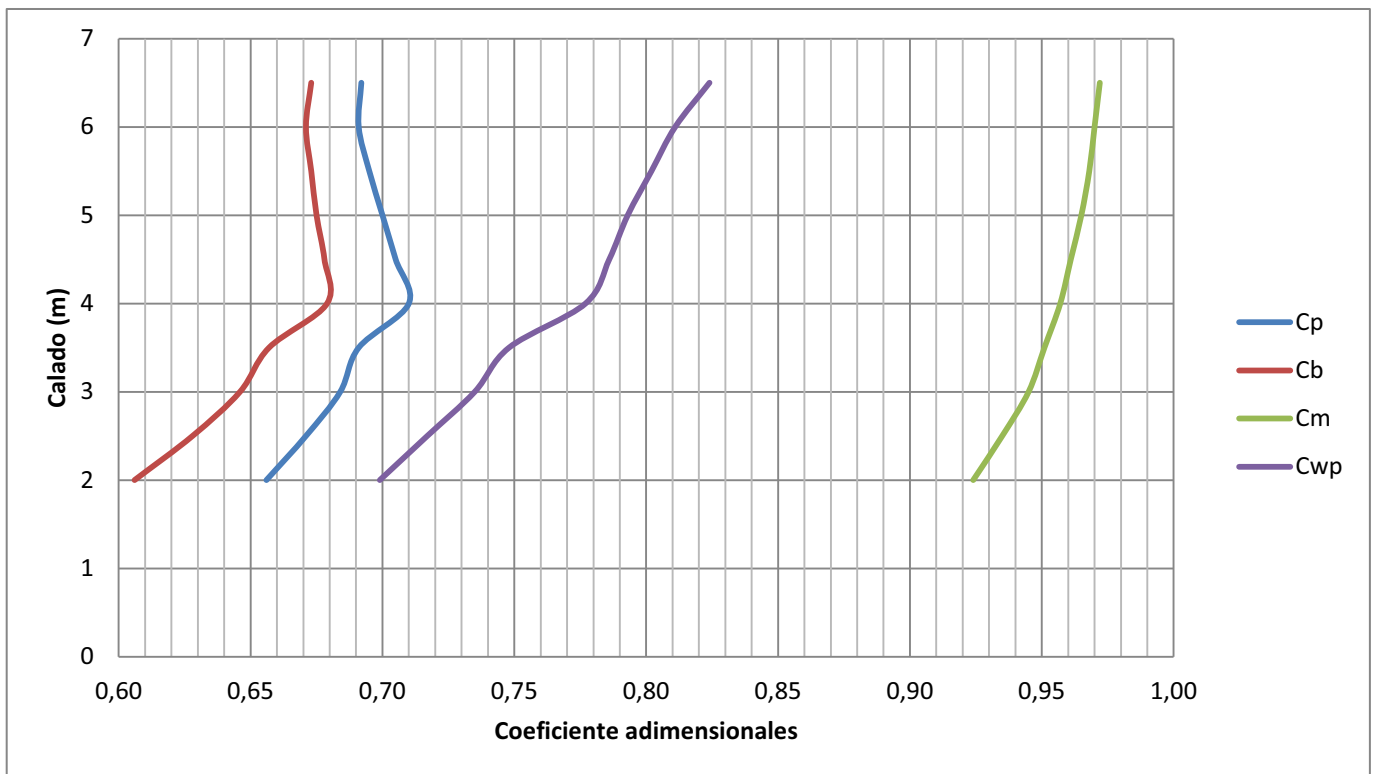
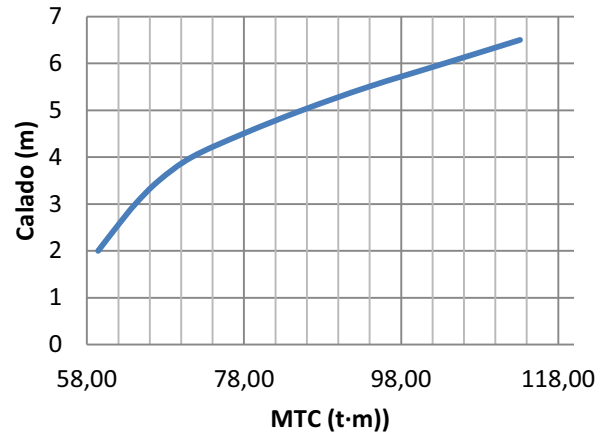
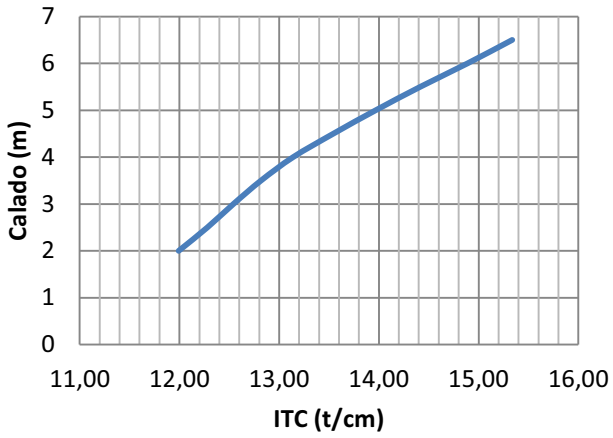


Tabla 9. Variación de los valores hidrostáticos con el calado.

5.2 Carenas inclinadas

Las curvas KN se han realizado según 21 divisiones comprendiendo desplazamientos entre 2000t y 8000t. A continuación se pueden encontrar los valores correspondientes a estas curvas, con ellos, se puede calcular, una vez conocida la posición vertical del centro de gravedad del buque, la magnitud del brazo adrizante a un determinado ángulo de escora, con la ayuda de la expresión:

$$GZ = KN - KG \cdot \text{sen}\theta$$

$\Delta(t)$	T(m)	KN 10° (m)	KN 20° (m)	KN 30° (m)	KN 40° (m)	KN 50° (m)	KN 60° (m)	KN 70° (m)	KN 80° (m)	KN 90° (m)
2000	1,934	1,901	3,471	4,516	5,245	5,764	6,086	6,232	6,06	5,635
2300	2,183	1,759	3,3	4,397	5,191	5,763	6,137	6,262	6,056	5,606
2600	2,429	1,647	3,153	4,294	5,145	5,754	6,164	6,267	6,045	5,576
2900	2,673	1,557	3,026	4,205	5,104	5,741	6,17	6,255	6,031	5,555
3200	2,914	1,485	2,919	4,128	5,062	5,725	6,159	6,231	6,005	5,533
3500	3,153	1,425	2,828	4,06	5,021	5,707	6,135	6,199	5,98	5,516
3800	3,389	1,378	2,752	4,002	4,98	5,687	6,102	6,162	5,942	5,5
4100	3,623	1,339	2,688	3,952	4,939	5,662	6,062	6,121	5,909	5,474
4400	3,855	1,307	2,634	3,908	4,9	5,631	6,017	6,077	5,875	5,454
4700	4,083	1,282	2,59	3,866	4,862	5,594	5,968	6,031	5,84	5,435
5000	4,309	1,262	2,554	3,824	4,826	5,553	5,916	5,983	5,804	5,416
5300	4,532	1,247	2,524	3,782	4,791	5,508	5,863	5,934	5,768	5,396
5600	4,751	1,235	2,5	3,741	4,756	5,46	5,809	5,885	5,731	5,378
5900	4,968	1,226	2,482	3,701	4,72	5,409	5,754	5,836	5,695	5,359
6200	5,181	1,22	2,468	3,662	4,681	5,357	5,7	5,789	5,66	5,342
6500	5,392	1,216	2,458	3,623	4,636	5,303	5,646	5,742	5,627	5,325
6800	5,6	1,214	2,447	3,585	4,587	5,245	5,592	5,697	5,595	5,31
7100	5,806	1,214	2,435	3,548	4,534	5,185	5,538	5,654	5,566	5,297
7400	6,008	1,215	2,42	3,511	4,477	5,123	5,483	5,611	5,538	5,286
7700	6,208	1,217	2,404	3,475	4,418	5,058	5,428	5,568	5,511	5,277
8000	6,406	1,221	2,385	3,44	4,357	4,992	5,371	5,526	5,485	5,27

Tabla 10. Carenas inclinadas o curvas KN.

Estos resultados se muestran gráficamente en el siguiente diagrama:

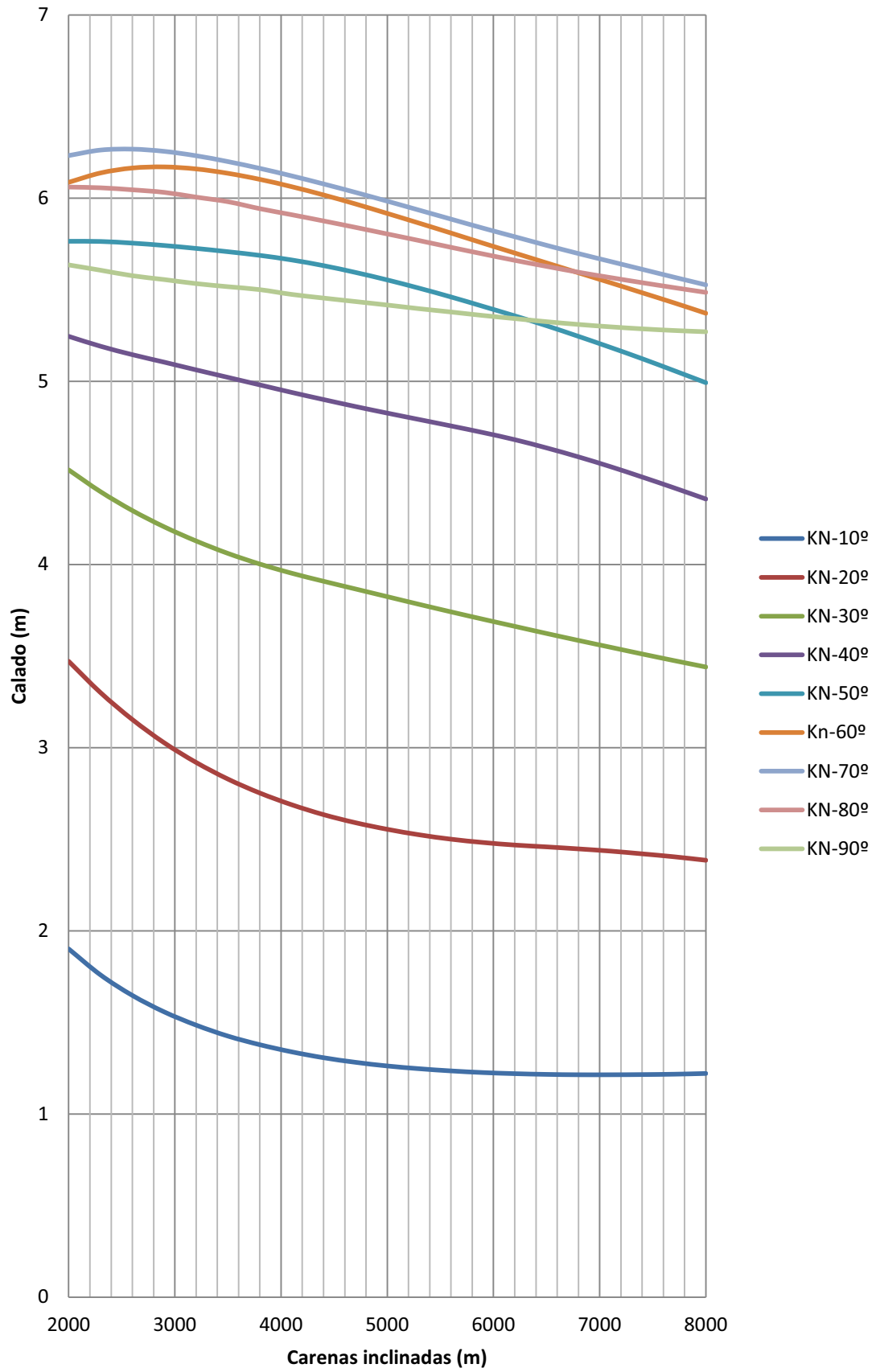


Figura 8. Carenas inclinadas o curvas KN.

5.3 KG límites

Los KG límites son los valores de la altura del centro de gravedad del conjunto, los cuales no pueden ser sobre pasados, esto conllevaría el incumplimiento de alguna de las normas de estabilidad. En este apartado se definen estas normas.

5.3.1 Criterios de estabilidad

Es importante, a la hora iniciar dichos cálculos conocer cuáles son los criterios de estabilidad que se requieren para el buque. Particularmente se toman el denominado criterio IMO para buques de carga (IMO A749 (18) Ch3 – Design criteria applicable to all ships) y que consta de los siguientes puntos:

1. “**Área 0 a 30**”. El área que quede debajo de la curva de brazos adrizantes no será inferior a 0,055 m·rad hasta el ángulo de escora de 30°, ni inferior a 0,09 m·rad hasta 40° o hasta el ángulo de inundación θ_f si este es menor de 40°. Además, el área que quede bajo la curva de brazos adrizantes entre los ángulos de escora de 30° y 40° o entre 30° y θ_f , según el caso, no será inferior a 0,03 m·rad.
2. “**Max GZ en 30 o mayor**”. El brazo adrizante será de 0,2 m, como mínimo, para un ángulo de escora igual o superior a 30°.
3. “**Ángulo de máx. GZ**”. El brazo adrizante máximo corresponderá a un ángulo de escora no inferior a 25°.
4. “**GMt inicial**”. La altura inicial corregida será mayor de 0,15 m.

5.3.2 Calculo de máximos KGs

De esta manera los resultados obtenidos pueden observarse en la siguiente tabla y su correspondiente gráfica.

Desplazamiento (t)	Calado (m)	LCG (m)	KG límite (m)	GM mínimo (m)	Punto determinante
2000	1,934	55,327	6,506	4,657	3: Ángulo de máx. GZ
2545	2,385	55,024	7,111	2,524	3: Ángulo de máx. GZ
3091	2,827	54,721	7,57	1,083	3: Ángulo de máx. GZ
3636	3,261	54,402	7,626	0,384	1: Área 30 a 40
4182	3,687	54,064	7,388	0,197	1: Área 0 a 30
4727	4,104	53,716	7,154	0,15	4: GMt inicial
5273	4,512	53,381	6,971	0,15	4: GMt inicial
5818	4,909	53,059	6,854	0,157	1: Área 0 a 30
6364	5,297	52,742	6,763	0,19	1: Área 0 a 30
6909	5,675	52,431	6,692	0,243	1: Área 0 a 30
7455	6,045	52,122	6,623	0,324	1: Área 0 a 30
8000	6,406	51,814	6,495	0,487	2: Max GZ en 30 o mayor

Tabla 11. KG límites.

5.4 Condiciones de carga

Antes de pasar al cálculo de la estabilidad se deben definir las cantidades de fluido que cada tanque llevará en cada caso. Además se realiza un estudio para comprobar que el buque tenga una navegabilidad buena, esto es un asiento razonable con unos calados aceptables.

5.4.1 C-1 (Plena carga – Salida de puerto)

Concepto	Porcentage	Peso (t)	Volumen (m3)	XG (m)	CLG (m)	KG (m)
Buque en rosca		2012,03		44,85	0,00	4,79
Bodega nº1	100%	1223,83	1748,33	31,12	0,00	4,49
Bodega nº2	100%	1276,44	1823,48	46,61	0,00	4,43
Bodega nº3	100%	1200,36	1714,80	61,86	0,00	4,44
Bodega nº4	100%	1124,86	1606,94	76,53	0,00	4,50
Bodega nº5	100%	638,68	912,40	90,07	0,00	4,79
Agua Dulce nº2 Sanitarios	100%	19,88	19,88	1,67	3,01	6,64
Agua Dulce nº3 Refrigeración	100%	4,72	4,72	16,10	-2,28	2,00
Agua Dulce nº4 Refrigeración	100%	4,72	4,72	16,10	2,28	2,00
Combustible nº1 MMPP	100%	156,39	165,61	19,83	-2,56	4,61
Combustible nº2 MMPP	100%	156,39	165,61	19,83	2,56	4,61
Combustible nº3 MMAA	100%	43,09	51,30	19,97	-6,24	5,75
Combustible nº4 MMAA	100%	43,09	51,30	19,97	6,24	5,75
Derrames, Reboses y Lodos	0%	0,00	0,00	13,18	0,00	0,22
Aceite almacén	100%	6,60	7,18	4,15	4,89	6,90
Lastre nº1	0%	0,00	0,00	28,13	0,00	0,00
Lastre nº2	0%	0,00	0,00	39,14	0,00	0,00
Lastre nº3	0%	0,00	0,00	54,69	0,00	0,00
Lastre nº4	0%	0,00	0,00	69,68	0,00	0,00
Lastre nº5	0%	0,00	0,00	84,28	0,00	0,00
Lastre nº6	0%	0,00	0,00	99,85	0,00	0,00
Agua Dulce nº1 Sanitarios	100%	19,88	19,88	1,67	-3,01	6,64
Lastre popa 1	100%	67,13	65,43	-3,07	-2,50	7,08
Lastre popa 2	100%	67,13	65,43	-3,07	2,50	7,08
Aceite servicio	100%	0,62	0,68	8,49	0,00	0,69
Aceite almacén	100%	6,60	7,18	4,15	-4,89	6,90
Total		8072,41	8434,84	51,22	0,00	4,64
VCG fluid						4,66

Tabla 12. Condición de carga - Plena carga - Salida de puerto.

5.4.2 C-2 (Plena carga – Regreso a puerto)

Concepto	Porcentage	Peso (t)	Volumen (m3)	XG (m)	CLG (m)	KG (m)
Buque en rosca		2012,03		44,85	0,00	4,79
Bodega nº1	100%	1223,83	1748,33	31,12	0,00	4,49
Bodega nº2	100%	1276,44	1823,48	46,61	0,00	4,43
Bodega nº3	100%	1200,36	1714,80	61,86	0,00	4,44
Bodega nº4	100%	1124,86	1606,94	76,53	0,00	4,50
Bodega nº5	100%	638,68	912,40	90,07	0,00	4,79
Agua Dulce nº1 Sanitarios	10%	1,99	1,99	1,75	-1,86	5,08
Agua Dulce nº2 Sanitarios	10%	1,99	1,99	1,75	1,86	5,08
Agua Dulce nº3 Refrigeración	10%	0,47	0,47	16,10	-1,50	0,65
Agua Dulce nº4 Refrigeración	10%	0,47	0,47	16,10	1,50	0,65
Combustible nº1 MMPP	10%	15,64	16,56	19,99	-2,06	1,32
Combustible nº2 MMPP	10%	15,64	16,56	19,99	2,06	1,32
Combustible nº3 MMAA	10%	4,31	5,13	20,50	-5,77	3,01
Combustible nº4 MMAA	10%	4,31	5,13	20,50	5,77	3,01
Derrames, Reboses y Lodos	100%	3,03	3,29	11,76	0,00	0,61
Aceite almacén	100%	6,60	7,18	4,15	4,89	6,90
Aceite almacén	100%	6,60	7,18	4,15	-4,89	6,90
Lastre nº1	100%	136,07	132,62	31,96	0,00	0,45
Lastre nº2	100%	177,89	173,38	46,64	0,00	0,43
Lastre nº3	0%	0,00	0,00	54,69	0,00	0,00
Lastre nº4	0%	0,00	0,00	69,68	0,00	0,00
Lastre nº5	0%	0,00	0,00	84,28	0,00	0,00
Lastre nº6	0%	0,00	0,00	99,85	0,00	0,00
Lastre popa 1	100%	67,13	65,43	-3,07	-2,50	7,08
Lastre popa 2	100%	67,13	65,43	-3,07	2,50	7,08
Aceite servicio	10%	0,06	0,07	9,19	0,00	0,53
Total		7985,51	8308,82	52,45	0,00	4,44
VCG fluid						4,46

Tabla 13. Condición de carga - Plana carga - Regreso a puerto.

5.4.3 C-3 (Lastre – Salida de puerto)

Concepto	Percentage	Peso (t)	Volumen (m3)	XG (m)	CLG (m)	KG (m)
Buque en rosca		2012,03		44,85	0,00	4,79
Bodega nº1	0%	0,00	0,00	38,75	0,00	0,82
Bodega nº2	0%	0,00	0,00	54,30	0,00	0,82
Bodega nº3	0%	0,00	0,00	69,29	0,00	0,82
Bodega nº4	0%	0,00	0,00	83,89	0,00	0,82
Bodega nº5	0%	0,00	0,00	89,86	0,00	0,82
Agua Dulce nº1 Sanitarios	100%	19,88	19,88	1,67	-3,01	6,64
Agua Dulce nº2 Sanitarios	100%	19,88	19,88	1,67	3,01	6,64
Agua Dulce nº3 Refrigeración	100%	4,72	4,72	16,10	-2,28	2,00
Agua Dulce nº4 Refrigeración	100%	4,72	4,72	16,10	2,28	2,00
Combustible nº1 MMPP	100%	156,39	165,61	19,83	-2,56	4,61
Combustible nº2 MMPP	100%	156,39	165,61	19,83	2,56	4,61
Combustible nº3 MMAA	100%	43,09	51,30	19,97	-6,24	5,75
Combustible nº4 MMAA	100%	43,09	51,30	19,97	6,24	5,75
Derrames, Reboses y Lodos	10%	0,30	0,33	12,35	0,00	0,35
Aceite almacén	100%	6,60	7,18	4,15	4,89	6,90
Aceite almacén	100%	6,60	7,18	4,15	-4,89	6,90
Lastre nº1	0%	0,00	0,00	38,75	0,00	0,00
Lastre nº2	0%	0,00	0,00	54,30	0,00	0,00
Lastre nº3	100%	166,37	162,16	61,82	0,00	0,43
Lastre nº4	100%	141,99	138,39	76,26	0,00	0,44
Lastre nº5	100%	60,86	59,32	90,13	0,00	0,47
Lastre nº6	100%	69,26	67,50	101,62	0,00	3,58
Lastre popa 1	0%	0,00	0,00	-0,03	-0,50	4,67
Lastre popa 2	0%	0,00	0,00	-0,03	0,50	4,67
Aceite servicio	100%	0,62	0,68	8,49	0,00	0,69
Total		3232,12	1381,93	49,74	0,00	4,12
VCG fluid						4,60

Tabla 14. Condición de carga - Lastre - Salida de puerto.

5.4.4 C-4 (Lastre – Regreso a puerto)

Concepto	Percentage	Peso (t)	Volumen (m3)	XG (m)	CLG (m)	KG (m)
Buque en rosca	1	2012,03		44,85	0,00	4,79
Bodega nº1	0%	0,00	0,00	23,21	0,00	0,82
Bodega nº2	0%	0,00	0,00	39,14	0,00	0,82
Bodega nº3	0%	0,00	0,00	54,69	0,00	0,82
Bodega nº4	0%	0,00	0,00	69,68	0,00	0,82
Bodega nº5	0%	0,00	0,00	84,28	0,00	0,82
Agua Dulce nº1 Sanitarios	10%	1,99	1,99	1,74	-1,86	5,08
Agua Dulce nº2 Sanitarios	10%	1,99	1,99	1,74	1,86	5,08
Agua Dulce nº3 Refrigeración	10%	0,47	0,47	16,10	-1,50	0,65
Agua Dulce nº4 Refrigeración	10%	0,47	0,47	16,10	1,50	0,65
Combustible nº1 MMPP	10%	15,64	16,56	19,94	-2,05	1,33
Combustible nº2 MMPP	10%	15,64	16,56	19,94	2,05	1,33
Combustible nº3 MMAA	10%	4,31	5,13	20,46	-5,76	3,02
Combustible nº4 MMAA	10%	4,31	5,13	20,46	5,76	3,02
Derrames, Reboses y Lodos	100%	3,03	3,29	11,76	0,00	0,61
Aceite almacén	100%	6,60	7,18	4,15	4,89	6,90
Aceite almacén	100%	6,60	7,18	4,15	-4,89	6,90
Lastre nº1	0%	0,00	0,00	23,21	0,00	0,00
Lastre nº2	0%	0,00	0,00	39,14	0,00	0,00
Lastre nº3	100%	166,211	162,157	54,69	0,00	0,431
Lastre nº4	100%	141,99	138,39	76,26	0,00	0,44
Lastre nº5	100%	60,86	59,32	90,13	0,00	0,47
Lastre nº6	100%	69,26	67,50	101,62	0,00	3,58
Lastre popa 1	50%	33,532	32,714	-2,837	-2,233	6,520
Lastre popa 2	50%	33,532	32,714	-2,837	2,233	6,520
Aceite servicio	100%	0,62	0,68	8,49	0,00	0,69
Total		2593,938	607,495	49,700	0,00	4,131
VCG fluid						4,238

Tabla 15. Condición de carga - Lastre - Regreso a puerto.

5.5 Condiciones de equilibrio

En este apartado se dan los resultados obtenidos mediante el programa para cada condición de carga en su condición de equilibrio, es decir, como flotaría libremente.

5.5.1 C-1

Concepto	Valor	Unidades
Calado en la sección media	6,393	m
Desplazamiento	8006	t
Escora	0	°
Calado en proa	6,170	m
Calado en popa	6,616	m
Calado en la bajo el centro de flotación	6,415	m
Trimado (+ por popa)	0,446	m
Eslora de flotación	111,124	m
Manga máxima en la flotación	16,304	m
Área mojada	2453,114	m ²
Área de la flotación	1493,262	m ²
Coef. Prismático (Cp)	0,690	
Coef. Bloque (Cb)	0,664	
Coef. Cuaderna Maestra (Cm)	0,970	
Coef. Flotación (Cwp)	0,824	
XB	51,171	m
XF	46,944	m
KB	3,463	m
KG corregido	4,642	m
BMt	3,535	m
BML	147,459	m
GMt corregido	2,356	m
GMI	146,279	m
KMt	6,998	
KML	150,920	m
ITC	15,306	t
MTC	112,604	t·m
Max. Inclinación cubierta	0,246	°
Ángulo de trimado (+ por popa)	0,246	°

Tabla 16. Condición de equilibrio - C-1.

5.5.2 C-2

Concepto	Valor	Unidades
Calado en la sección media	6,373	m
Desplazamiento	7918	t
Escora	0	°
Calado en proa	6,575	m
Calado en popa	6,172	m
Calado en la bajo el centro de flotación	6,358	m
Trimado (+ por popa)	-0,403	m
Eslora de flotación	110,761	m
Manga máxima en la flotación	16,303	m
Área mojada	2429,55	m ²
Área de la flotación	1476,405	m ²
Coef. Prismático (Cp)	0,691	
Coef. Bloque (Cb)	0,651	
Coef. Cuaderna Maestra (Cm)	0,97	
Coef. Flotación (Cwp)	0,818	
XB	52,421	m
XF	47,946	m
KB	3,43	m
KG corregido	4,459	m
BMt	3,533	m
BML	143,951	m
GMt corregido	2,504	m
GMI	142,922	m
KMt	6,963	
KML	147,38	m
ITC	15,133	t
MTC	108,813	t·m
Max. Inclinación cubierta	0,2222	°
Ángulo de trimado (+ por popa)	-0,2222	°

Tabla 17. Condición de equilibrio - C-2.

5.5.3 C-3

Concepto	Valor	Unidades
Calado en la sección media	2,946	m
Desplazamiento	3231	t
Escora	0	°
Calado en proa	1,983	m
Calado en popa	3,908	m
Calado en la bajo el centro de flotación	2,953	m
Trimado (+ por popa)	1,925	m
Eslora de flotación	103,95	m
Manga máxima en la flotación	16,254	m
Área mojada	1588,949	m ²
Área de la flotación	1260,888	m ²
Coef. Prismático (Cp)	0,619	
Coef. Bloque (Cb)	0,534	
Coef. Cuaderna Maestra (Cm)	0,935	
Coef. Flotación (Cwp)	0,746	
XB	50,558	m
XF	51,617	m
KB	1,615	m
KG corregido	4,597	m
BMt	7,027	m
BML	232,965	m
GMt corregido	4,045	m
GMI	229,983	m
KMt	8,641	
KML	234,54	m
ITC	12,924	t
MTC	71,442	t·m
Max. Inclinación cubierta	1,0606	°
Ángulo de trimado (+ por popa)	1,0606	°

Tabla 18. Condición de equilibrio - C-3.

5.5.4 C-4

Concepto	Valor	Unidades
Calado en la sección media	2,447	m
Desplazamiento	2594	t
Escora	0	°
Calado en proa	1,38	m
Calado en popa	3,514	m
Calado en la bajo el centro de flotación	2,441	m
Trimado (+ por popa)	2,134	m
Eslora de flotación	102,958	m
Manga máxima en la flotación	16,228	m
Área mojada	1469,248	m ²
Área de la flotación	1228,602	m ²
Coef. Prismático (Cp)	0,593	
Coef. Bloque (Cb)	0,494	
Coef. Cuaderna Maestra (Cm)	0,92	
Coef. Flotación (Cwp)	0,735	
XB	49,645	m
XF	52,275	m
KB	1,36	m
KG corregido	4,238	m
BMt	8,405	m
BML	272,726	m
GMt corregido	5,527	m
GMI	269,848	m
KMt	9,763	
KML	274,029	m
ITC	12,593	t
MTC	67,305	t·m
Max. Inclinación cubierta	1,1755	°
Ángulo de trimado (+ por popa)	1,1755	°

Tabla 19. Condición de equilibrio - C-4.

5.6 Estabilidad a grandes ángulos

En este caso se estudia la estabilidad que el buque presenta cuando es escorado, es decir, los valores de los brazos adrizantes que posee en las diferentes condiciones de carga. Se establece el cálculo entre los ángulos de posición adrizada (0°) y 90° a estribor. Se representan los resultados en forma tabulada y gráfica.

5.6.1 C-1

Ángulo	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
GZ m	0,00	0,41	0,80	1,11	1,37	1,43	1,34	1,16	0,91	0,62
Área bajo curva GZ desde escora nula (°·m)	0,00	2,08	8,18	17,77	30,29	44,43	58,39	70,97	81,33	89,01
Desplazamiento	7995	7995	7995	7995	7995	7995	7995	7995	7995	7995
Calado en proa	6,36	6,36	6,39	6,41	6,44	6,62	6,95	7,63	9,87	n/a
Calado en popa	6,45	6,42	6,39	6,58	7,04	7,82	9,10	11,56	18,57	n/a
Eslora de flotación	111,21	111,38	111,67	112,08	112,60	113,24	115,17	115,73	116,23	116,03
Manga máxima en la flotación	16,30	16,55	17,33	18,72	16,71	14,65	13,06	12,05	11,50	11,32
Área mojada	2449,69	2451,13	2793,87	3016,22	3196,15	3320,70	3411,78	3458,14	3488,41	2851,63
Área de la flotación	1489,46	1506,92	1395,10	1340,13	1215,87	1094,12	1001,97	949,42	934,61	936,95
Coef. Prismático (Cp)	0,69	0,69	0,69	0,67	0,66	0,65	0,63	0,62	0,61	0,61
Coef. Bloque (Cb)	0,67	0,59	0,50	0,42	0,44	0,47	0,50	0,54	0,57	0,59
XB	51,68	51,67	51,67	51,67	51,67	51,66	51,65	51,64	51,64	51,63
XF	47,27	47,44	48,90	51,37	52,69	53,45	53,96	54,54	55,33	55,46
Max. Inclinación cubierta	0,05	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00
Ángulo de trimado (+ por popa)	0,05	0,03	0,00	0,09	0,33	0,66	1,18	2,16	4,78	-

Tabla 20. Estabilidad condición de carga C-1.

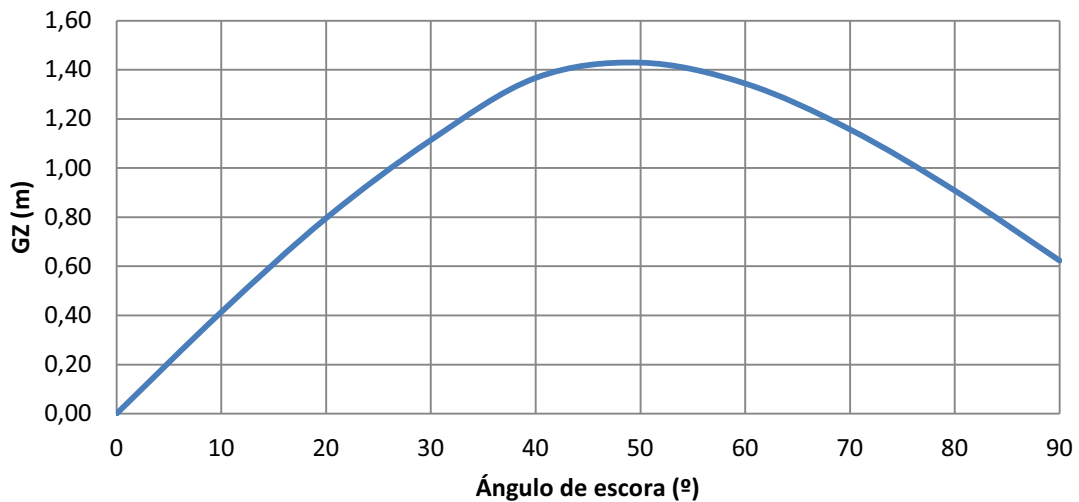


Figura 9. Brazos GZ en condición de carga C-1.

5.6.2 C-2

Ángulo	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
GZ m	0,00	0,44	0,86	1,23	1,52	1,61	1,54	1,36	1,11	0,81
Área bajo curva GZ desde escora nula (°·m)	0,00	2,21	8,75	19,26	33,13	48,92	64,73	79,26	91,61	101,21
Desplazamiento	7908	7908	7908	7909	7908	7908	7908	7908	7908	7908
Calado en proa	6,76	6,77	6,83	6,92	7,08	7,45	8,09	9,36	13,18	n/a
Calado en popa	6,00	5,96	5,88	5,94	6,21	6,70	7,54	9,15	13,80	n/a
Eslora de flotación	110,20	110,48	111,81	112,25	112,85	114,40	115,50	116,04	116,22	115,73
Manga máxima en la flotación	16,30	16,55	17,33	18,69	16,81	14,66	13,06	12,05	11,50	11,32
Área mojada	2420,3	2425,9	2768,6	2998,4	3174,9	3290,2	3371,3	3430,5	3457,1	2826,4
Área de la flotación	1467,7	1488,8	1413,7	1360,4	1222,8	1100,5	1003,6	943,7	923,4	932,8
Coef. Prismático (Cp)	0,69	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62	0,62
Coef. Bloque (Cb)	0,64	0,58	0,49	0,42	0,43	0,47	0,51	0,55	0,58	0,61
XB	52,93	52,93	52,93	52,93	52,93	52,93	52,93	52,92	52,92	52,91
XF	48,48	48,52	48,80	51,02	51,98	52,87	53,20	53,36	53,71	54,05
Max. Inclinación cubierta	0,42	10,01	20,01	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00
Ángulo de trimado (+ por popa)	-0,42	-0,45	-0,53	-0,54	-0,48	-0,41	-0,30	-0,12	0,34	-

Tabla 21. Estabilidad condición de carga C-2.

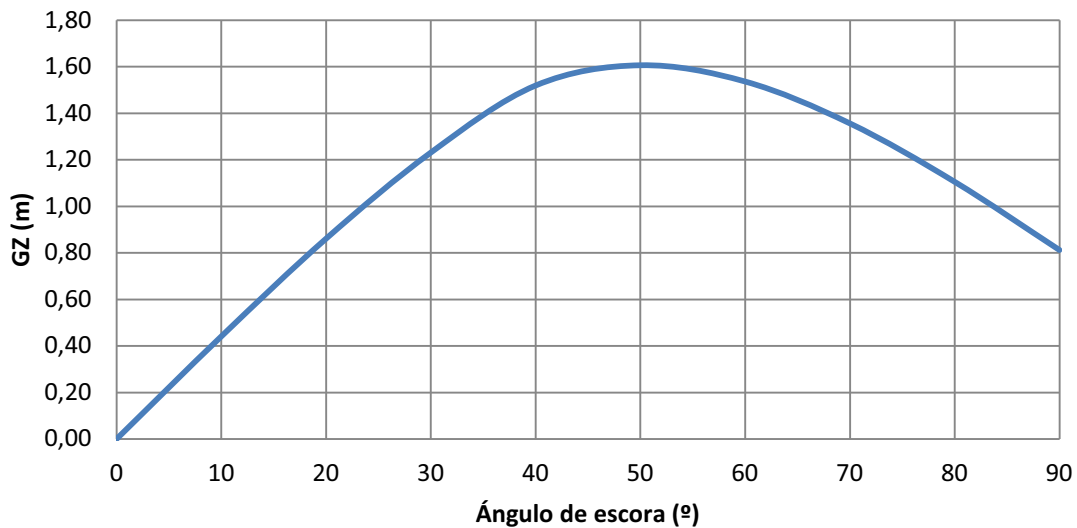


Figura 10. Brazos GZ en condición de carga C-2.

5.6.3 C-3

Ángulo	.	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
GZ m	0,00	0,71	1,40	1,89	2,17	2,24	2,19	1,91	1,46	0,91
Área bajo curva GZ desde escora nula (°·m)	0,00	3,54	14,17	30,79	51,26	73,42	95,72	116,42	133,36	145,22
Desplazamiento	3231	3231	3231	3231	3231	3231	3231	3231	3231	3231
Calado en proa	1,98	1,99	1,97	1,80	1,32	0,38	-1,48	-5,32	-16,76	n/a
Calado en popa	3,91	3,86	3,67	3,26	2,54	1,48	-0,15	-3,14	-11,70	n/a
Eslora de flotación	103,95	103,84	103,42	103,61	106,08	108,23	109,64	107,67	111,32	113,23
Manga máxima en la flotación	16,25	16,40	16,17	14,85	13,95	14,15	13,07	12,05	11,50	11,32
Área mojada	1588,9	1592,2	1591,1	1551,4	1568,4	1648,3	1704,8	1747,3	1786,3	1535,6
Área de la flotación	1260,9	1269,2	1262,7	1209,7	1158,2	1092,9	1003,6	912,5	853,6	831,5
Coef. Prismático (Cp)	0,62	0,63	0,64	0,66	0,65	0,62	0,58	0,57	0,54	0,52
Coef. Bloque (Cb)	0,53	0,46	0,39	0,37	0,37	0,35	0,38	0,44	0,47	0,50
XB	50,56	50,56	50,56	50,56	50,58	50,58	50,58	50,57	50,57	50,55
XF	51,62	51,57	51,41	50,71	50,17	50,48	51,11	51,13	51,19	51,42
Max. Inclinación cubierta	1,06	10,05	20,02	30,01	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00
Ángulo de trimado (+ por popa)	1,06	1,03	0,94	0,81	0,67	0,61	0,73	1,20	2,79	-

Tabla 22. Estabilidad condición de carga C-3.

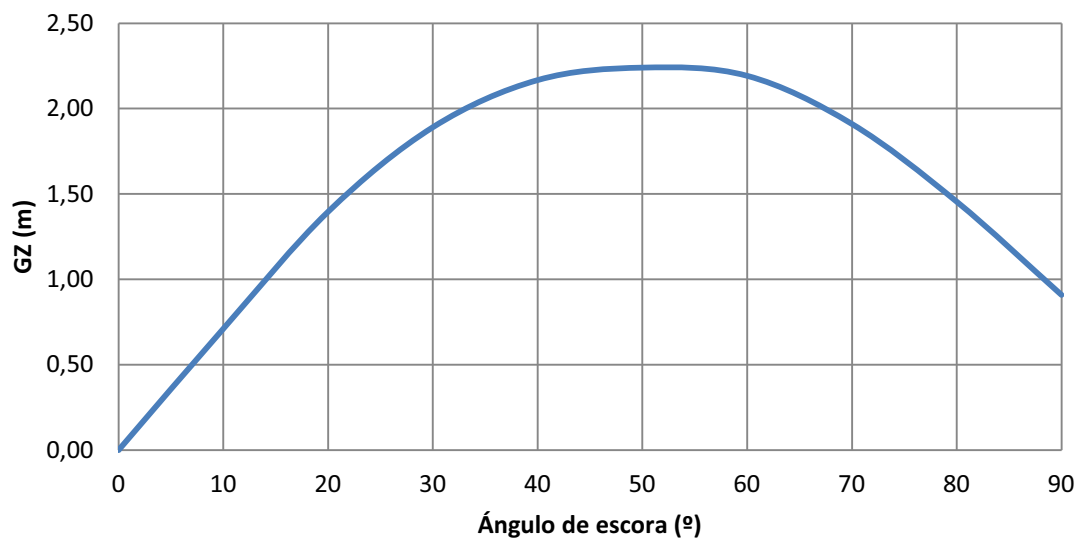


Figura 11. Brazos GZ en condición de carga C-3.

5.6.4 C-4

Ángulo	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
GZ m	0,00	0,95	1,78	2,25	2,50	2,58	2,52	2,27	1,84	1,30
Área bajo curva GZ desde escora nula (°·m)	0,00	4,81	18,68	39,08	62,98	88,51	114,14	138,24	158,93	174,69
Desplazamiento	2594	2594	2594	2594	2594	2594	2594	2594	2594	2594
Calado en proa	1,38	1,37	1,30	0,98	0,33	-0,87	-3,13	-7,96	-22,17	n/a
Calado en popa	3,51	3,46	3,26	2,82	2,05	0,86	-1,06	-4,62	-14,87	n/a
Eslora de flotación	102,96	102,87	102,61	102,29	102,70	103,74	99,95	102,14	108,44	111,47
Manga máxima en la flotación	16,23	16,23	15,44	13,80	12,96	13,09	13,07	12,05	11,49	11,32
Área mojada	1469,2	1469,9	1439,8	1375,5	1347,3	1398,1	1448,7	1498,4	1557,5	1359,0
Área de la flotación	1228,6	1224,6	1172,4	1093,7	1067,6	997,9	937,8	863,8	818,9	798,8
Coef. Prismático (Cp)	0,59	0,60	0,62	0,63	0,63	0,61	0,61	0,57	0,53	0,50
Coef. Bloque (Cb)	0,49	0,43	0,37	0,36	0,36	0,35	0,37	0,42	0,45	0,48
XB	49,65	49,64	49,64	49,65	49,65	49,66	49,65	49,64	49,63	49,62
XF	52,28	52,16	51,54	50,48	49,36	49,19	49,90	50,32	50,56	50,73
Max. Inclinación cubierta	1,18	10,06	20,02	30,01	40,01	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00
Ángulo de trimado (+ por popa)	1,18	1,15	1,08	1,01	0,95	0,95	1,14	1,84	4,02	-

Tabla 23. Estabilidad condición de carga C-4.

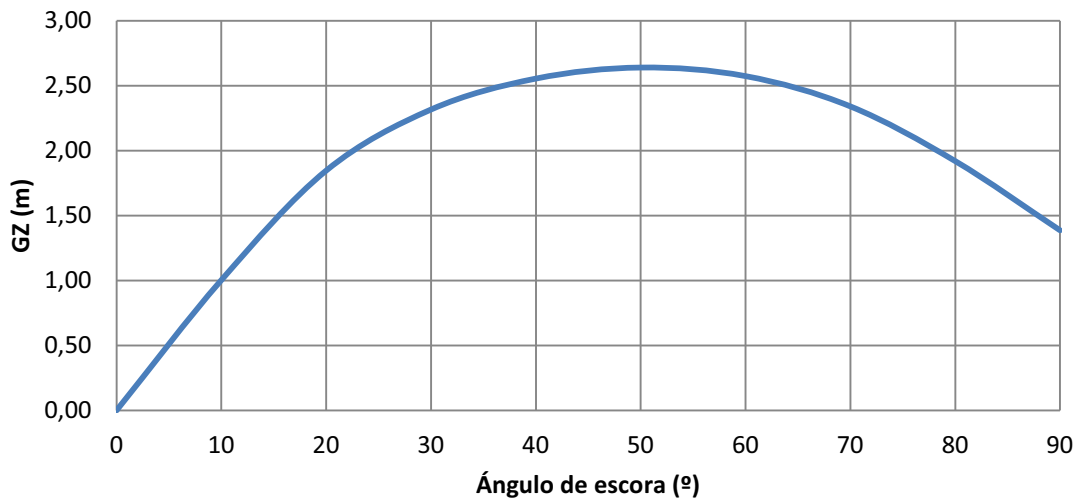


Figura 12. Brazos GZ en condición de carga C-4.

6 CONCLUSIONES

La selección de motor se ha realizado de una forma poco precisa, dado que no disponemos del punto de funcionamiento de la hélice ya, que esta no se diseña por estar fuera del alcance de este proyecto. La estimación de pesos viene dada por fórmulas estimativas que gracias a la experiencia y a los análisis estadísticos se han desarrollado. Por lo que los valores de los datos utilizados en este capítulo estarían, dentro de lo que es la espiral de diseño, en la zona exterior o lo que es lo mismo en la fase conceptual. Son valores aproximados pero estos pueden sufrir variaciones importantes a cuando se realicen estudios más detallados de todos los pesos. De todas formas, para un proyecto enfocado a la utilización y aprendizaje de software utilizados en la ingeniería naval, son buenas aproximaciones.

La disposición general se establece de acuerdo a las reglas definidas en diferentes referencias bibliográficas cumpliendo con los requisitos de las Sociedades de Clasificación y normativas de seguridad.

Como se puede apreciar en los valores de las tablas y figuras anteriores, el buque posee una buena estabilidad tanto para las condiciones en plena carga, tanto más para la condición de lastre. Cumpliendo con las condiciones establecidas en el punto 5.3. y comprobando que no existe ningún dato atípico en los resultados obtenidos.

Como comentarios al software Maxsurf, se considera una herramienta potente, práctica y eficiente en cuanto a la generación de espacios, definición de condiciones de carga y cálculo de los diferentes datos relacionados con la estabilidad en todos sus aspectos.

El principal inconveniente está en su *output*, o lo que es lo mismo, sus informes y formas de salida de la información. Si no se realiza de manera ordenada o se realizan algunos cambios durante los cálculos, el informe de salida se ve afectado y las gráficas son algo toscas y difíciles de leer en su gran mayoría.

Como forma de arreglar este problema se pueden utilizar los datos de las tablas, exportarlos a una hoja de cálculo y desde ahí realizar las distintas tablas y generar el informe como se ha realizado en el punto 5 del presente capítulo.

CAPÍTULO VI – BOTADURA

CAPITULO VI – SIMULACIÓN DE LA BOTADURA

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	6
2	TIPOS DE BOTADURA	7
2.1	Travelift	7
2.2	Carro varadero	7
2.3	Dique seco.....	8
2.4	Dique flotante	8
2.5	Plataforma elevadora	9
2.6	Botadura en grada inclinada	10
2.6.1	Lateral.....	10
2.6.2	De popa	10
3	BOTADURA POR POPA.....	11
3.1	Secuencia de lanzamiento	11
3.2	Condiciones y fases	12
3.2.1	Estudio estático del lanzamiento por popa.....	12
3.2.2	Giro.....	15
3.2.3	Presiones sobre el fondo y sobre el extremo de la grada	16
4	MÉTODO DE CÁLCULO DE LA BOTADURA.....	17
4.1	Introducción a los procesos.....	17
4.2	Cálculo de los calados.....	18
5	OBTENCIÓN DE DATOS EN MATLAB.....	20
5.1	Valores hidrostáticos en adrizado	20
5.1.1	Generar líneas de agua	20
5.1.2	Dibujar líneas de agua	21
5.1.3	Dibujo de las secciones	22
5.1.4	Variables hidrostáticas	22
5.2	Valores hidrostáticos obtenidos	24
5.2.1	Comparación con los valores obtenidos mediante Maxsurf.....	25
5.2.2	Área de las secciones.....	27
5.2.3	Área de la flotación	28
5.2.4	Centro de la flotación	29

5.2.5	Volumen de carena.....	30
5.2.6	Abscisa del centro de carena	31
5.2.7	Altura del centro de carena.....	32
5.2.8	Momento de inercia transversal del área de flotación.....	33
5.2.9	Radio metacéntrico transversal	34
5.2.10	Momento de inercia longitudinal del área de flotación.....	35
5.2.11	Radio metacéntrico longitudinal	36
5.2.12	Toneladas por centímetro de inmersión	37
5.3	Proceso de botadura	38
6	CONCLUSIONES	42

FIGURAS

Figura 1. Puente grúa móvil (travelift).	7
Figura 2. Botadura en varadero controlada por chigre.	8
Figura 3. Buque en dique seco.	8
Figura 4. Corveta en dique flotante.	9
Figura 5. Plataforma controlada por chigres (syncrolift).	9
Figura 6. Botadura lateral.	10
Figura 7. Botadura mediante lanzamiento por popa.	10
Figura 8. Movimiento de giro.	11
Figura 9. Movimiento de arfada.	11
Figura 10. Movimiento de saludo.	12
Figura 11. Distancias características referidas al extremo de las imadas.	13
Figura 12. Diagrama de fuerzas y momentos que se presentan en el lanzamiento.	15
Figura 13. Entrada del buque al agua en el proceso de botadura.	17
Figura 14. Integración paralela en posición inclinada.	18
Figura 15. Interfaz inicial.	20
Figura 16. Líneas de agua dibujadas por el código.	21
Figura 17. Secciones.	22
Figura 18. Valores hidrostáticos.	23
Figura 19. Valores hidrostáticos.	24
Figura 20. Valores hidrostáticos corregidos.	26
Figura 21. Áreas seccionales.	27
Figura 22. Área de la flotación.	28
Figura 23. Centro de la flotación.	29
Figura 24. Volumen de carena.	30
Figura 25. Abscisa del centro de carena.	31
Figura 26. Altura del centro de carena.	32
Figura 27. Momento de inercia transversal del área de la flotación.	33
Figura 28. Radio metacéntrico transversal.	34
Figura 29. Momento de inercia respecto al eje longitudinal.	35
Figura 30. Radio metacéntrico longitudinal.	36
Figura 31. Toneladas por centímetro de inmersión.	37
Figura 32. Interfaz proceso de botadura.	39
Figura 33. Aviso de la no existencia de saludo.	40
Figura 34. La superficie libre comienza a mojar el casco.	40

Figura 35. El buque comienza a sumergirse.....	41
Figura 36. Posición final de la botadura antes del giro y dato de la posición en la eslora de la superficie libre cuando este comienza.	41

TABLAS

Tabla 1. Comparación de valores hidrostáticos.....	25
Tabla 2. Valores hidrostáticos una vez corregido el código.....	26
Tabla 3. Resumen de datos necesarios.	39

1 INTRODUCCIÓN

En la construcción de los barcos, uno de los grandes problemas recae en el momento de llevar a éste al agua. Por ello se considera interesante la realización de un análisis en el cual se pueda ver intuitivamente como sucede el proceso y calcular todos los posibles efectos indeseados que se pueden presentar en el transcurso de la botadura.

La botadura es la acción y efecto de botar un barco una vez terminada su construcción o la reparación para la que necesitó entrar en grada. Constituye la parte principal de la ceremonia de puesta en el agua por primera vez de un barco.

La botadura es el momento crítico para cualquier barco. Durante el bautismo de mar se comprobará si algunas de las decisiones de diseño son correctas.

La operación de botadura consistía primitivamente en valerse del esfuerzo animal con la ayuda de palancas y aparejos, haciendo deslizar la quilla sobre rolletes mojados o ensebados y sentados sobre un terreno firme con bastante inclinación hacia el agua. Ya en la antigüedad, se disponía la embarcación sobre un aparato móvil, llamado cuna, el cual adaptado y convenientemente asegurado a los fondos del casco conduce a éste consigo al agua al resbalar sobre la base, consistiendo esta en una solera formada por largueros tendidos sobre la grada y en sentido longitudinal de la misma.

El procedimiento antiguo más generalizado y comúnmente empleado hasta no hace mucho tiempo, era el de la basada de trincas, mediante la que se hacía deslizar el barco, en virtud de la gravedad, tras un impulso inicial por el que se ponía en movimiento una vez vencida la inercia. La basada de trincas se reducía a dos grandes largueros (imadas), fijos a los costados y a lo largo de la grada, sobre los cuales después de untados con sebo y jabón, debían deslizarse otros largueros (anguilas), unidos a los costados del barco por medio de macizos acuñaos y de columnas de madera. De cada columna de un costado a la simétrica del otro y en los huecos comprendidos entre picadero y picadero (maderos sobre los que descansa el casco durante su construcción), se pasaban unas trincas de jarcia blanca, cuyo objeto era levantar el barco y poder zafar los picaderos para que el buque descansase sobre los costados. Con este fin se mojaban las mencionadas trincas y al secarse todas a la vez dejaban libre por su contracción a los picaderos.

Hoy en día, desde la posibilidad de realizar grandes números de operaciones gracias a los ordenadores, los métodos de integración son sencillos y pueden realizarse sin ningún tipo de esfuerzo una vez generado el código. En este caso se va a utilizar un código programado en Matlab, en el cual, tras introducir un archivo con las formas del buque, nos devolverá las semimangas para cada sección y cada calado que definamos.

A partir de esto y mediante integración por la regla de los trapecios, el programa calculará los valores hidrostáticos para la carena en adrizado y realizará el estudio de botadura interpolando valores para cada situación de trimado.

2 TIPOS DE BOTADURA

La botadura o procedimiento de puesta a flote de un barco, se puede realizar de diferentes maneras dependiendo fundamentalmente del tamaño del mismo.

2.1 Travelift

Los barcos pequeños se pueden botar suspendiéndolos con unas cinchas mediante una grúa móvil e introduciéndolos en el agua. Es utilizado para botar buques de pequeña eslora como veleros, yates o pesqueros, quedando obsoleta para buques de gran tamaño debido al peso y eslora excesivos de dichos buques. Consta de un travelift que es un puente grúa móvil dotado de unas cinchas a las cuales va sustentado el buque y depositado en el mar. Es una operación simple que requiere escasos procedimientos de cálculos para la puesta a flote del buque.



Figura 1. Puente grúa móvil (travelift).

2.2 Carro varadero

Se pueden botar pequeñas embarcaciones mediante un carro varadero, que consiste en colocar el barco sobre una cama rodante dispuesta en una grada inclinada con raíles que dispone de un chigre que controla la bajada hasta el agua. El chigre, es una especie de molinete el cual mediante unas amarras o cadenas se controla la velocidad de descenso del buque. Este dispositivo, al igual que el primero, es utilizado para buques de pequeña eslora. Este procedimiento consta de una cama que dispone de ruedas móviles colocadas en una grada inclinada por las cuales el buque resbala en su desplazamiento hasta el agua.

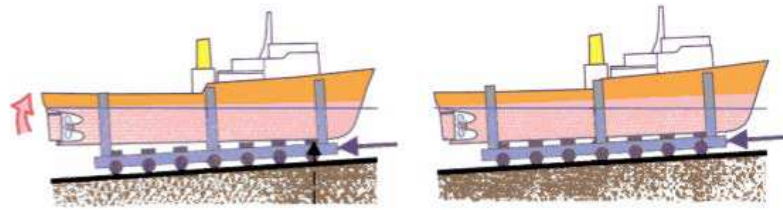


Figura 2. Botadura en varadero controlada por chigre.

2.3 Dique seco

El proceso que se lleva a cabo una vez construido el buque es retirar la puerta del dique de manera que comienza a inundarse, cuando se ha igualado el nivel del dique con el nivel del mar la operación de botadura queda finalizada. En este método es de vital importancia que el asiento del buque sea lo más cercano a 0 posible o ligeramente positivo para evitar esfuerzos de carácter significativo en los picaderos de apoyo de popa, donde descansa el buque. Como se puede observar en la figura 5, los diques pueden disponer de varias compuertas para así construir más de un buque al mismo tiempo y poder botar un buque mientras se construye otro. Los cálculos realizados para la botadura se simplifican significativamente. El tamaño de los buques que se pueden botar depende de una manera intrínseca de la capacidad del dique, como es obvio. Un dique seco está dispuesto en tierra de manera que se pueda inundar así como extraer el agua y conecta directamente en el mar. Lo normal cuando se utiliza este tipo de botadura es haber realizado la construcción en el mismo dique anteriormente.



Figura 3. Buque en dique seco.

2.4 Dique flotante

El dique como indica su propio nombre es una estructura flotante que posee una sección en forma de “U” con aperturas en ambos extremos, el cual se puede lastrar y deslastrar llenando unos tanques de agua salada dispuestos para realizar dicha operación. El lastrado y deslastrado se realiza mediante potentes bombas.

El buque es construido en un muelle cercano al dique inundado el cual se trasladará mediante raíles. Una vez realizada la operación y con el buque en el dique, lastrado previamente para evitar problemas de unión al sufrir el peso del buque, se deslastra para que el buques se despegue de sus apoyos, a continuación se remolca hasta un lugar donde la profundidad dote al buque de flotabilidad al lastrarlo nuevamente y se despegue del dique. Ésta operación viene condicionada por la capacidad de ascensión del dique. También se tiene que tener en cuenta el fenómeno de superficies libres así como tener controlado en todo momento la estabilidad del buques en operaciones de lastrado y deslastrado.



Figura 4. Corveta en dique flotante.

2.5 Plataforma elevadora

Otro método es la botadura mediante plataforma de elevación vertical controlada por chigres (Syncrolift), que permite arriar el barco hasta el agua el barco se construye en una zona cercana a la plataforma y mediante una cama con rodada y sobre raíles se lleva a la plataforma cuando está listo para la botadura.

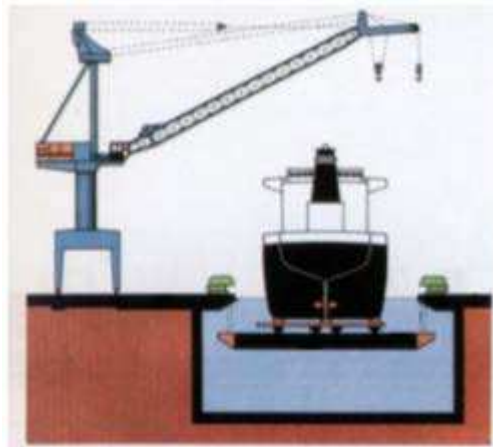


Figura 5. Plataforma controlada por chigres (syncrolift).

2.6 Botadura en grada inclinada

El proceso, como podemos ver en el procedimiento de botaduras de los buques de Ferrol, se basa en **deslizar el barco construido ya completamente sobre una cama de lanzamiento** constituida por la grada y las imadas (con cemento y madera). Hasta el momento del lanzamiento, el barco está sujeto por varios mecanismos como frenos de cable, grilletes y las llaves de lanzamiento. Cuando éstos se sueltan, el barco queda sólo apoyado sobre unos patines y se desliza sobre la cama (que previamente ha sido tratada con grasa). Existen dos tipos de lanzamientos en función de la posición del buque con respecto a la inclinación de la grada.

2.6.1 Lateral

La botadura lateral se ideó en el siglo XIX y se generalizó en parte gracias a que fue usado en la Segunda Guerra Mundial en los muchos navíos que se construyeron. Una opción que es la preferente cuando **por limitaciones de espacio** no puede realizarse la botadura por popa, por ejemplo si el canal es demasiado estrecho (por riesgo de choque con la otra pared).



Figura 6. Botadura lateral.

2.6.2 De popa

Por último, la botadura mediante lanzamiento por popa en grada inclinada es un medio muy utilizado para poner a flote buques de gran tamaño. El barco y su cuna de lanzamiento se dejan deslizar por gravedad desde la grada hasta el agua. La forma de hacerlo y los cálculos necesarios son el objeto del resto del presente capítulo.

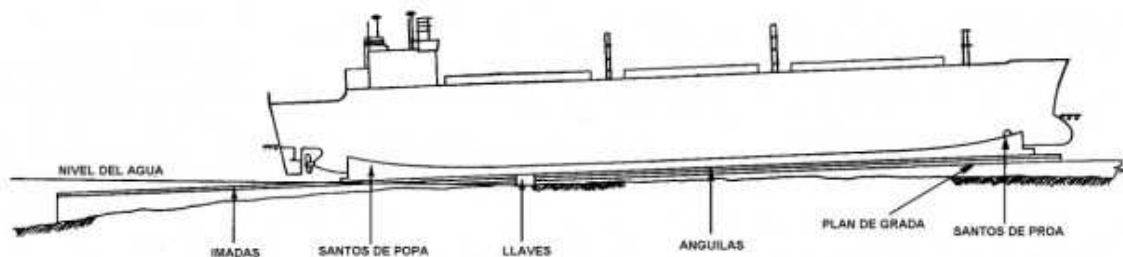


Figura 7. Botadura mediante lanzamiento por popa.

3 BOTADURA POR POPA

Los datos necesarios para el cálculo de la botadura por popa son: el peso del barco con su cuna, la inclinación de la grada, la distancia a la zona sumergida de la grada, la reacción de las imadas y la fuerza de rozamiento entre imadas y anguilas.

3.1 Secuencia de lanzamiento

El deslizamiento empezará si una vez liberado el barco, la tangente del ángulo de inclinación de la grada bajo el centro de gravedad del conjunto, es mayor que el coeficiente estático de rozamiento entre imadas y anguilas. Conforme el buque desliza se introduce en el agua y aparecen otras fuerzas que son: el empuje de la zona sumergida y el rozamiento hidrodinámico que empezará a frenar el barco.

Cuando el momento del empuje que va adquiriendo el barco con respecto al extremo de proa de las anguilas sea igual al momento del peso respecto al mismo punto, o lo que es igual, cuando se concentre en ese punto la reacción R de las imadas, se iniciará el **GIRO** del barco alrededor de dicho extremo como se puede apreciar en la siguiente imagen. El barco queda apoyado en la parte de proa por medio de los soportes especialmente diseñados para este fin, llamados “Santos de proa”.

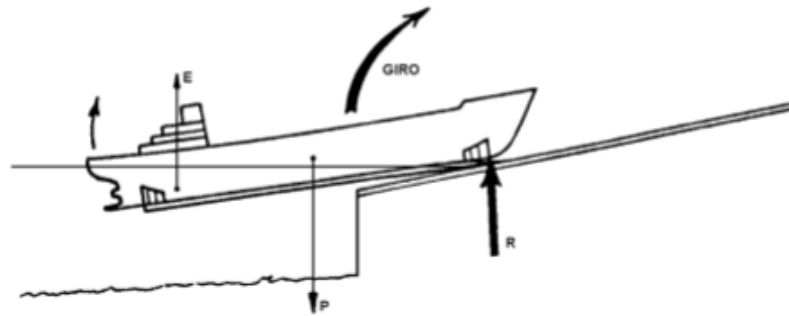


Figura 8. Movimiento de giro.

La reacción que soportan los santos de proa es grande, de ahí que su estudio sea determinante para que la botadura salga como se prevé, y la estructura del barco está sometida a grandes esfuerzos.

Para que la botadura sea exitosa, el giro debe haber comenzado antes de que la resultante del peso del barco y cuna traspase el punto que determina el final de la grada. Si no hubiese sucedido y el momento peso fuera mayor al momento empuje con respecto al punto final de la grada, el barco realizaría un giro indeseado denominado **ARFADA** (figura 9). Este proceso transcurriría hasta que el momento empuje igualase de nuevo al momento peso y se corregiría el giro, golpeando al final del giro la proa contra la grada, ocasionando un posible deterioro indeseado a la estructura de los santos de proa y del barco en sí mismo.

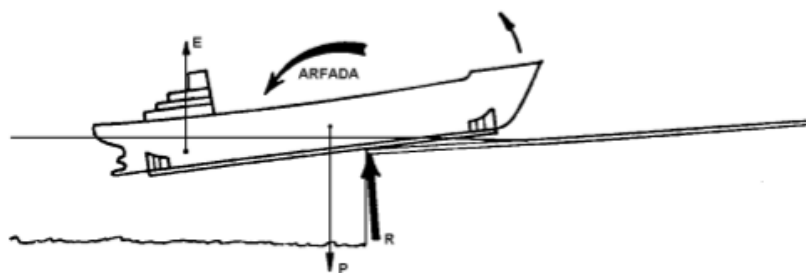


Figura 9. Movimiento de arfada.

Más tarde nos podría acontecer otro problema llamado **SALUDO**. En él lo que hemos de tener en cuenta es que el barco ha de flotar libremente antes de llegar al final de la grada, si no ocurre esto podemos tener el problema de la falta de calado en proa y por lo tanto, cuando el barco finalice el trayecto en la grada, sumergirá la proa, pudiendo golpear ésta con la grada ocasionando graves desperfectos a la misma. Si el empuje del barco iguala el peso del barco y cuna antes de que el extremo de proa del buque llegue al final de la grada, que es lo que debe ocurrir siempre, el barco quedará flotando libremente a partir del momento en que se igualen peso y empuje.

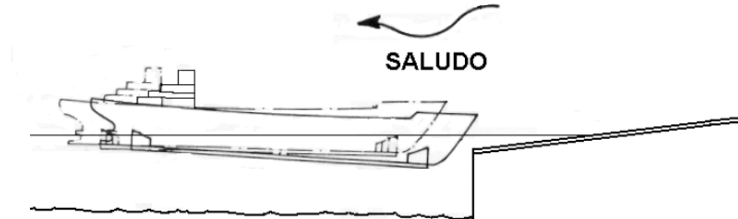


Figura 10. Movimiento de saludo.

3.2 Condiciones y fases

Por todo ello, hay una serie de condiciones que se deben estudiar y para eso se calculará previamente a la botadura:

- Fuerzas verticales que se desarrollan a lo largo del lanzamiento para determinar condiciones como giro, saludo, arfada, y conocer los valores de las reacciones que se dan en los apoyos.
- Análisis de los movimientos del barco para asegurar que durante el lanzamiento, no van a sufrir golpes ninguna de las partes del barco
- Estudio dinámico del lanzamiento, para determinar las condiciones de arranque y deslizamiento.

Por lo tanto se podría decir que hay cinco partes o etapas a estudiar en el lanzamiento por popa:

1. Periodo durante el cual apoyan las anguilas sobre las imadas sin que el agua toque el barco o la cuna
2. Periodo desde que el agua comienza a mojar el barco o la cuna hasta que inicia el movimiento de giro con respecto a los santos de proa
3. Periodo durante el cual el barco solo se apoya longitudinalmente en los santos de proa, es decir, mientras se produce el giro.
4. Periodo desde que acaba el giro y el barco deja de apoyarse en la grada hasta que empiezan a actuar los dispositivos de frenado
5. Periodo desde que empiezan a actuar los dispositivos de frenado hasta que el barco se para.

Para todo esto se realiza un análisis tanto estático como dinámico del lanzamiento por popa.

3.2.1 Estudio estático del lanzamiento por popa

En el análisis de la botadura de lanzamiento por popa lo primero que se tiene que conocer son los datos relativos al plano de lanzamiento, es decir, a la grada: su ángulo de inclinación. La pendiente no es muy recomendable que sea muy grande pues así se evitan una velocidad excesiva en el descenso y una altura grande del barco en la zona de

proa de la grada en relación al plano de la misma. Estos valores suelen estar comprendidos entre 2° y 5° .

En segundo lugar se debe conocer la altura de la marea el día de la botadura, que es la que va a definir los fondos disponibles y la inmersión del barco en cada momento del recorrido. La forma de saber cuál es la altura de la pleamar con la que se va a botar es consultando la tabla de mareas del lugar, que da el valor de la marea para el día y la hora prevista para la botadura.

En tercer lugar se debe conocer la posición exacta del buque en relación a la grada, tanto en su posición longitudinal como en altura, es decir, cual es la posición de la perpendicular de popa y su distancia hasta la superficie del agua en el momento del lanzamiento y con qué distancia se cuenta entre el plan de la grada y el fondo del barco. Esta altura suele ser una que permita un trabajo cómodo bajo el fondo del barco, suele aproximarse a 1,5 m, pero sin que sea demasiado grande ya que, de ser así, se requeriría mayor longitud de antegrada para el barco que se pusiera a flote en adecuadas condiciones.

En cuarto lugar tenemos que conocer cuál es el estado del buque y la posición de su centro de gravedad. En esta partida se deben incluir el peso del barco, los pesos ajenos que se encuentran a bordo del lanzamiento, peso de la cuna de lanzamiento, todos los lastres necesarios para garantizar el lanzamiento ya sean de tipo sólido o líquido.

En quinto lugar, hay que saber el empuje del buque en cada momento del deslizamiento. Como conocemos la posición del talón del codaste respecto a la grada, la altura de la marea y la separación entre el fondo del barco y la grada, conocemos también el calado existente en la perpendicular de popa en cada punto del recorrido. Con superficie de deslizamiento plana la pendiente de la quilla es constante y si el calado a popa es C_{pp} , la pendiente de la quilla tiene un ángulo ϕ , la pendiente de la grada es $a = \tan \alpha$ y la altura de la línea base sobre la superficie del agua es Q , se tiene en función del recorrido x , la siguiente figura:

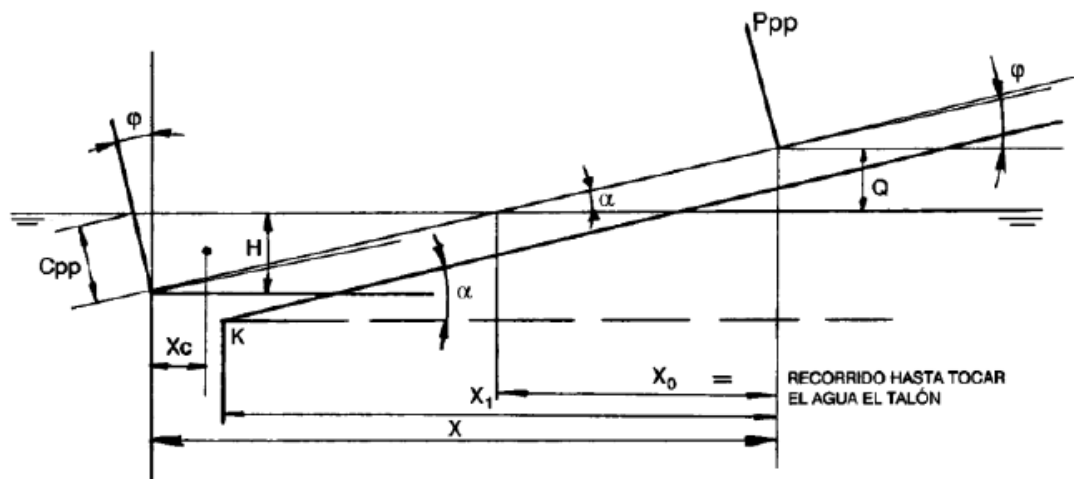


Figura 11. Distancias características referidas al extremo de las imadas.

Y de la siguiente forma:

$$C_{PP} = (x \cdot \operatorname{tg} \alpha - Q) \cdot \operatorname{sec} \varphi = (a \cdot x - Q) \cdot \operatorname{sec} \varphi \quad (1)$$

$$Q = a \cdot x_0 \quad (2)$$

$$C_{PP} = a \cdot (x - x_0) \cdot \operatorname{sec} \varphi \quad (3)$$

Si $\alpha = \varphi$:

$$\operatorname{sec} \varphi = \sqrt{1 + a^2} \approx 1 \quad (4)$$

Y

$$C_{PP} = a \cdot (x - x_0) \quad (5)$$

Entonces

$$\begin{aligned} C_{Pr} &= C_{PP} - L \cdot \operatorname{tg} \varphi = a \cdot (x - x_0) \cdot \operatorname{sec} \varphi - L \cdot \operatorname{tg} \varphi \\ C_{Pr} &= a \cdot (x - x_0 - L) \end{aligned} \quad (6)$$

Teniendo en cuenta que resultará un valor negativo en tanto que $x - x_0 < L$.

Entrando con estos datos en las curvas de Bonjean se puede calcular el volumen de la parte sumergida, el empuje en toneladas que corresponde según la densidad del agua, y la abscisa del centro de carena respecto a la perpendicular de popa. No se debe olvidar el volumen correspondiente a la cuna.

En sexto lugar hay que conocer cuáles son los calados del buque cuando este se encuentre ya flotando libremente.

Las fuerzas a conocer durante el lanzamiento son:

- Empuje del barco más la cuna y su centro de gravedad en cada instante del recorrido.
- Peso del barco más cuna y su centro de gravedad
- Reacción de las imadas en cada instante del recorrido, cuyo valor vendrá dado por la diferencia del peso y el empuje.

Para el estudio de lanzamiento se trazan las curvas que representan en función del recorrido del barco a lo largo de la grada los valores de estas fuerzas y sus momentos característicos. El análisis de estas curvas permite deducir las características principales del movimiento del buque en su lanzamiento. Los momentos característicos son:

- Momento del peso del barco más la cuna respecto al extremo de proa de los Santos de proa.
- Momento del peso del barco más cuna respecto al extremo de popa de las imadas en cada instante.
- Momento del empuje respecto al extremo de proa de los Santos de proa en cada instante.

- Momento del empuje respecto al extremo de popa de las imadas en cada instante.

Una forma típica de estas curvas está representada en la Figura 12, donde R representa la reacción máxima sobre el extremo de proa de la cuna.

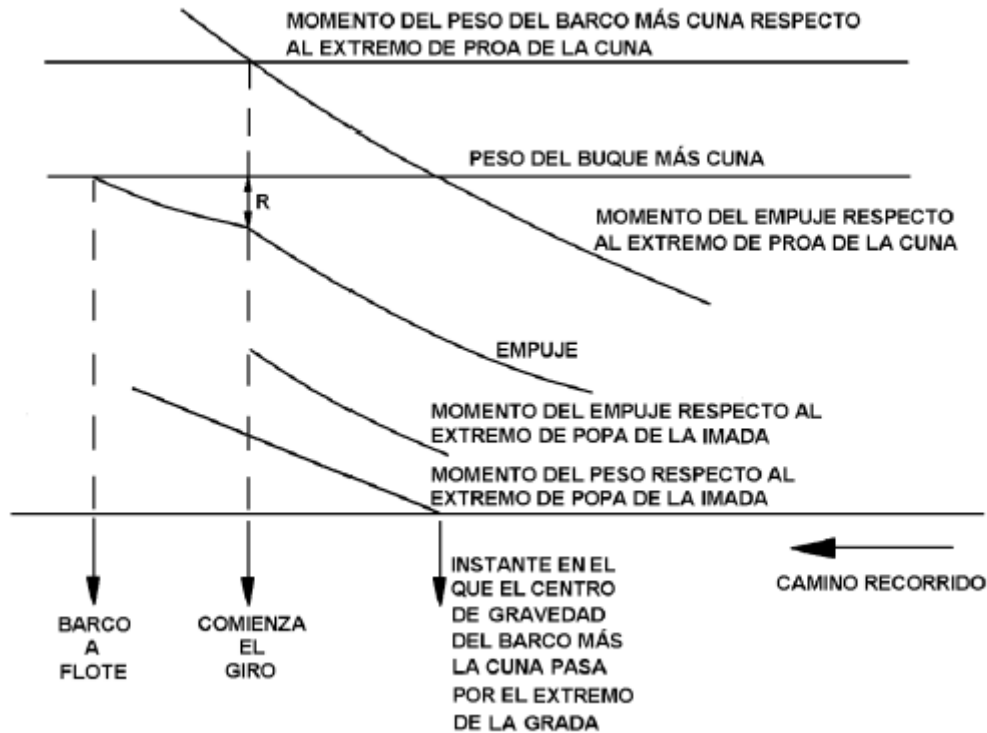


Figura 12. Diagrama de fuerzas y momentos que se presentan en el lanzamiento.

La curva del momento del peso respecto al extremo de proa de la cuna será una recta al mantenerse constante el producto, ya que el valor de P no varía y la distancia entre el centro de gravedad del peso y el extremo de proa de las anguilas es constante en todo el recorrido.

3.2.2 Giro

El giro comienza cuando se cortan las curvas de momento del peso respecto al extremo de proa de la cuna y momento del empuje respecto al mismo punto. El valor de la reacción es máximo en ese instante y viene definido por el valor de la diferencia de ordenadas entre las curvas que definen el peso y el empuje en ese punto. Si en el espacio que queda desde que comienza el giro hasta el extremo final de las imadas la profundidad del agua es mayor que el calado a proa que se ha calculado que tendría el buque cuando se encuentre flotando, no se producirá saludo, pero si esta altura es inferior, el barco necesitará más agua para flotar y por lo tanto al faltar empuje caerá y producirá saludo.

Para conocer la posición exacta del buque en cada momento del giro y poder estudiar si la roda toca la grada, se calcula para cualquier instante del deslizamiento el centro de carena de la parte sumergida y el momento del empuje respecto de las Santos de proa, y se dibuja en una gráfica para distintos valores de ángulos de giro supuestos. Como el equilibrio ocurre cuando el momento del peso es igual al del empuje respecto a los Santos de proa, se puede averiguar el ángulo exacto en cada punto del recorrido del giro. Así se podrá estudiar la altura de la proa sobre la grada en cada instante del giro.

3.2.3 Presiones sobre el fondo y sobre el extremo de la grada

Desde que inicia el deslizamiento hasta que el barco comienza a introducirse en el agua la reacción de las imadas tiene como resultante una fuerza igual al peso del barco más la cuna, suma de todas las presiones que se está ejerciendo sobre la superficie de apoyo. Se acostumbra a dar a presión media, que viene determinada por la relación entre el peso y la superficie de contacto entre anguilas e imadas, y sus valores oscilan entre 2 y 3 kg/cm². Al entrar el casco en el agua disminuye la reacción de las imadas debido al empuje que se produce. En cuanto una parte de las anguilas ha sobrepasado las imadas el extremo de las imadas, la superficie de apoyo se reduce y las presiones pueden tomar valores mucho mayores, hasta el momento en que se produce el giro.

Los Santos de proa han de soportar la reacción durante el giro, que puede alcanzar valores del **25% al 35% del peso del barco** más la cuna.

Desde que se inicia el giro, el valor de la resultante se va reduciendo hasta el momento en el que el barco flota libremente o hasta que los Santos de proa abandonan la grada. Normalmente los Santos se calculan para que no soporten presiones superiores a los **12 kg/cm²**, valor que es superior a la presión que soporta el slipcote, pero que se tolera al ser muy corto el tiempo en el que estas presiones se producen.

4 MÉTODO DE CÁLCULO DE LA BOTADURA

4.1 Introducción a los procesos

El programa utilizado para realizar los cálculos de este tipo de problema es Matlab. En él se debe de indicar los datos de la grada (inclinación, longitud de la zona de grada sumergida) la posición del barco con respecto al final de la grada, los pesos del barco y la posición de su centro de gravedad, la altura de las anguilas, la posición de las anguilas para conocer dónde queda el extremo de los santos de proa, los calados del barco a proa y a popa. De esa manera, se calcula el momento peso M_P que genera el barco y mediante los cálculos que se programarán en el trabajo, se podrá conocer si el barco realizará una botadura sin problemas.

Los cálculos que realizará el programa en la parte inicial del proceso, serán los volúmenes de desplazamiento del barco en posición adrizada. Conociendo el peso y centro de gravedad del conjunto del barco, se irán calculando los diferentes empujes que genera el barco y la posición de sus punto de aplicación. En el momento en el que se igualen peso y empuje, el barco quedará a flote. Estos serán comparados con los obtenidos en el anterior capítulo.

Pero los calados, no suelen ser iguales en proa y en popa, para ello, los centros de gravedad del conjunto pesos y del empuje han de estar en la misma perpendicular, cosa que extrañamente sucederá con el barco en posición de adrizado.

El proceso de cálculo de la botadura que se va a usar en el programa es el siguiente:

A la entrada del barco al agua, éste sufre un empuje y un momento empuje. Esto se contrarresta con sus pesos y sus centros de gravedad. Por lo que se irá calculando el momento empuje M_E durante la entrada al agua y el momento peso. De esa manera, irá comprobando si se igualan para saber el momento en el que comienza el giro. Los volúmenes se toman en el barco con una inclinación igual a la de la grada, como se ve en las imágenes siguientes:

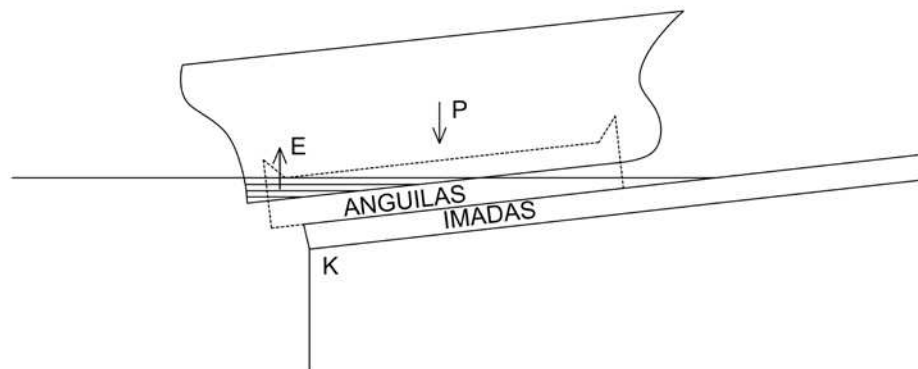


Figura 13. Entrada del buque al agua en el proceso de botadura.

Tras conocer el punto en el que el barco gira, se comprobará si ha sufrido o sufre arfada el barco en ese instante.

El siguiente cálculo a realizar, es el de flotación libre. Aquí se debe tener en cuenta el valor de los calados a proa y a popa, y a partir de ahí, se realiza el mismo tipo

de integración, pero con un ángulo distinto. Este ángulo será igual a cero si los valores a proa y a popa del barco son iguales, en caso contrario, se calculará el valor del ángulo mediante la siguiente ecuación:

$$\alpha \rightarrow tg\alpha = \frac{t}{L} = \frac{T_{pr} - T_{pp}}{L} \quad (7)$$

Dónde:

- t Diferencia entre calados de proa y popa, trimado
- L Eslora entre perpendiculares
- T_{pr} Calado en proa
- T_{pp} Calado en popa

El proceso de integración será similar al anterior, con la diferencia de que no es necesario el cálculo de los momentos que genera el barco y que la integración será con un ángulo diferente al de la grada o incluso cero. Si los calados son diferentes, como es normal, las líneas de los volúmenes de integración serán de la siguiente manera:

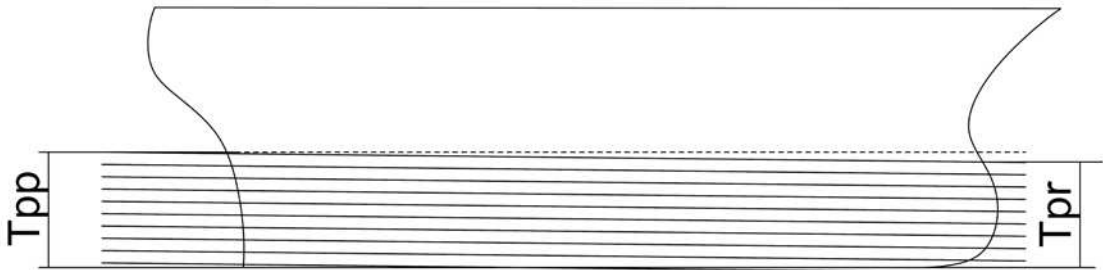


Figura 14. Integración paralela en posición inclinada.

Los datos de estas líneas de volumen los obtendremos del archivo .gf que obtendremos en Rhinoceros. Este archivo se sacará a partir de las formas del barco que se han generado previamente. Tras incluirlas en Rhinoceros se poseen todos los datos necesarios para hacer los cálculos que se han indicado previamente.

4.2 Cálculo de los calados

El proceso de cálculo de los calados que vamos a seguir es el siguiente:

Cálculo de las curvas hidrostáticas del barco. En ellas se encontrarán datos para diferentes calados en la posición de adrizado del barco de:

- Área de la flotación (A_f).
- Toneladas por centímetro de inmersión (TCI).
- Abscisa del centro de gravedad de la flotación, que puede ser desde la perpendicular de popa (\overline{XF}) o desde la sección media ($\overline{\otimes F}$).
- Volumen de trazado.

- Desplazamiento.
- Ordenada o altura del centro de carena (\overline{KB}).
- Abscisa del centro de carena desde la perpendicular de popa (\overline{XB}) o desde la sección media (\overline{XB}).
- Radio metacéntrico transversal (\overline{BM}_t).
- Radio metacéntrico longitudinal (\overline{BM}_l).
- Momento para alterar el trimado un centímetro (MTC).
- Coeficientes de forma.

A partir de estos datos se obtienen los calados para cada desplazamiento. Una vez obtenidas las curvas hidrostáticas, se entra con el peso del barco y obtendremos unos datos de calados del barco para su peso, puede ser directamente o mediante interpolación de los datos. Para esos datos los calados para proa y para popa son iguales. Se conoce que esos calados solamente serán iguales si $\overline{XB} = \overline{XG}$ hecho que raramente sucede. Por lo tanto se ha de corregir los calados de proa y de popa. Esto se realizará después de obtener todos los datos de las hidrostáticas para ese desplazamiento, ya sea directamente obtenido de la tabla que se realizará o mediante interpolación de los datos que tenemos en la tabla.

La corrección de calados se realizará también en Matlab. A partir de los datos hidrostáticos para ese peso, obtenemos un \overline{XF} que nos indica el punto que hace de eje de giro del barco. De esa manera, y con los datos también obtenidos de los MTC del barco para ese calado, se calcula el trimado que sufrirá el barco para contrarrestar la variación longitudinal de las posiciones de \overline{XB} y \overline{XG} .

Una vez obtenidos los calados, se puede abordar el problema de la botadura. La resolución del problema de la botadura necesita como datos iniciales:

- Formas del barco.
- Conjunto de pesos del barco.
- Posición vertical y longitudinal del centro de gravedad del conjunto de pesos.
- Posición del extremo de proa de los santos de proa.
- Altura del nivel del agua al final de la grada, ya sea, indicando la altura de la grada o la distancia de la grada.
- Ángulo de inclinación de la grada.
- Posición del buque en relación con la grada.

Las formas del barco se obtienen a partir de Rhinoceros. Teniendo la carena en el programa, y con la opción *AsociarDatosGHS* se crea un archivo para exportar los datos de la carena del buque y usarlos en Matlab.

5 OBTENCIÓN DE DATOS EN MATLAB

Tras obtener las formas del buque en un formato válido para el análisis mediante el programa facilitado por la universidad desarrollado en un Proyecto Final de carrera por un estudiante, se procede a introducir los datos necesarios para estudiarlos y conseguir los resultados buscados.

Para este proceso se abre el programa de cálculo y se busca el código en la carpeta en la que se encuentre. El archivo a utilizar está designado con el nombre “*ValoresHidrostaticos.m*”. Se obtiene la siguiente interfaz en la que se trabajará.



Figura 15. Interfaz inicial.

Comenzando por la primera de las opciones se podrán calcular y comparar los valores hidrostáticos con los anteriormente calculados para la validación de este método. El siguiente paso es el proceso de botadura en el cual se realizará un estudio de la posibilidad y viabilidad del lanzamiento.

5.1 Valores hidrostáticos en adrizado

En esta pantalla se deben indicar los datos a partir de los cuales se obtendrán dichos resultados.

5.1.1 Generar líneas de agua

Inicialmente, hay que generar el fichero de líneas de agua, a partir del archivo .gf que generó en Rhinoceros. Para ello, se incluye el fichero .gf en el apartado “Fichero Secciones”. El número de líneas de agua a generar y el calado máximo hasta el cual se va a crear hay que indicarlo en los espacios requeridos para ello. El número de líneas de agua se indica en el cuadro nombrado “N° LA” y el calado máximo hasta el que se quiere calcular se indica en “Hasta un calado T”. Presionando en el botón generar líneas

de agua se crea el archivo *.xls* con los datos generados de las líneas de agua con el mismo nombre que el archivo *gf*

5.1.2 Dibujar líneas de agua

Para el dibujo de las líneas de agua, se necesitan los dos archivos cargados. El archivo *.gf* que previamente se debía haber cargado para generar el archivo *.xls* y este mismo archivo *.xls* generado en el cuadro de “Fichero líneas de agua”. Tras cargar los dos ficheros, presionar el botón “Dibujar líneas de agua” y se generará el dibujo de las líneas de agua, indicando la altura del barco y el número de secciones.

En la casilla de conversión a metros se establece el valor de cambio de pies a metros 0,3048.

La imagen devuelta por el programa se puede apreciar a continuación:

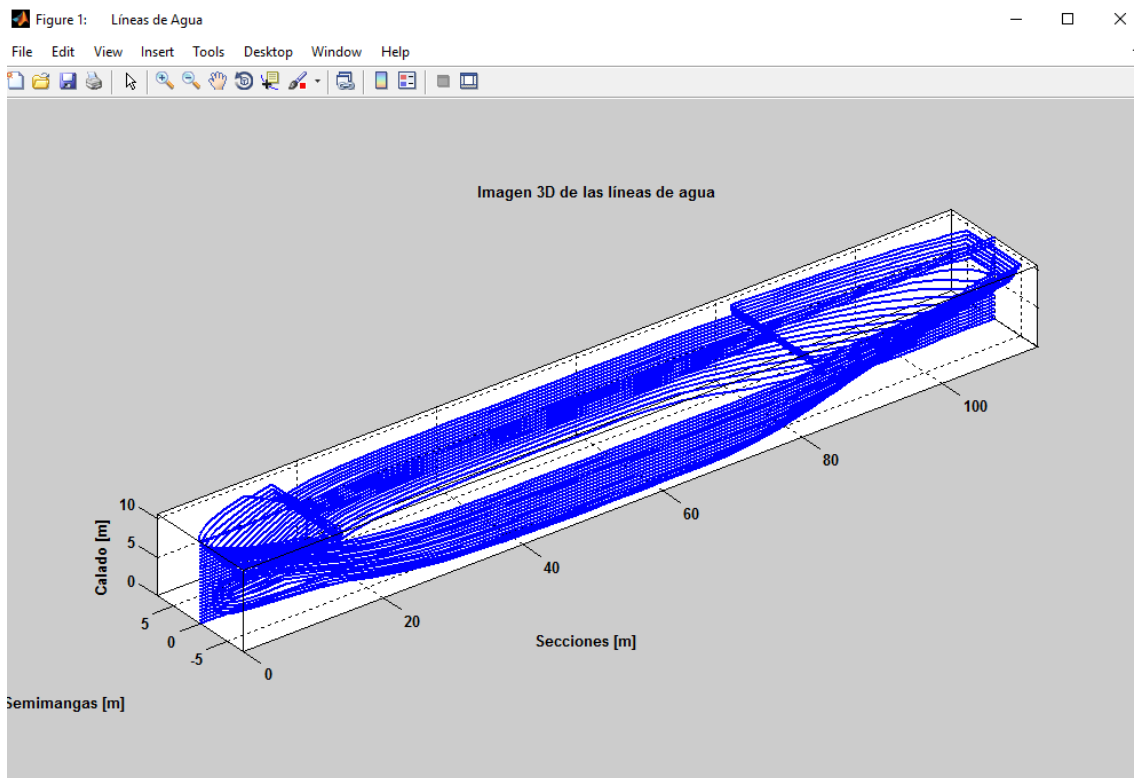


Figura 16. Líneas de agua dibujadas por el código.

5.1.3 Dibujo de las secciones

Para el dibujo de las secciones existen cinco opciones. Estas se diferencian en la forma en la que el programa representará estas. En este caso se selecciona la opción de **superpuestas**. El muestreo de las secciones se realiza de manera que queden todas una sobre otra como se puede apreciar en la Figura 15.

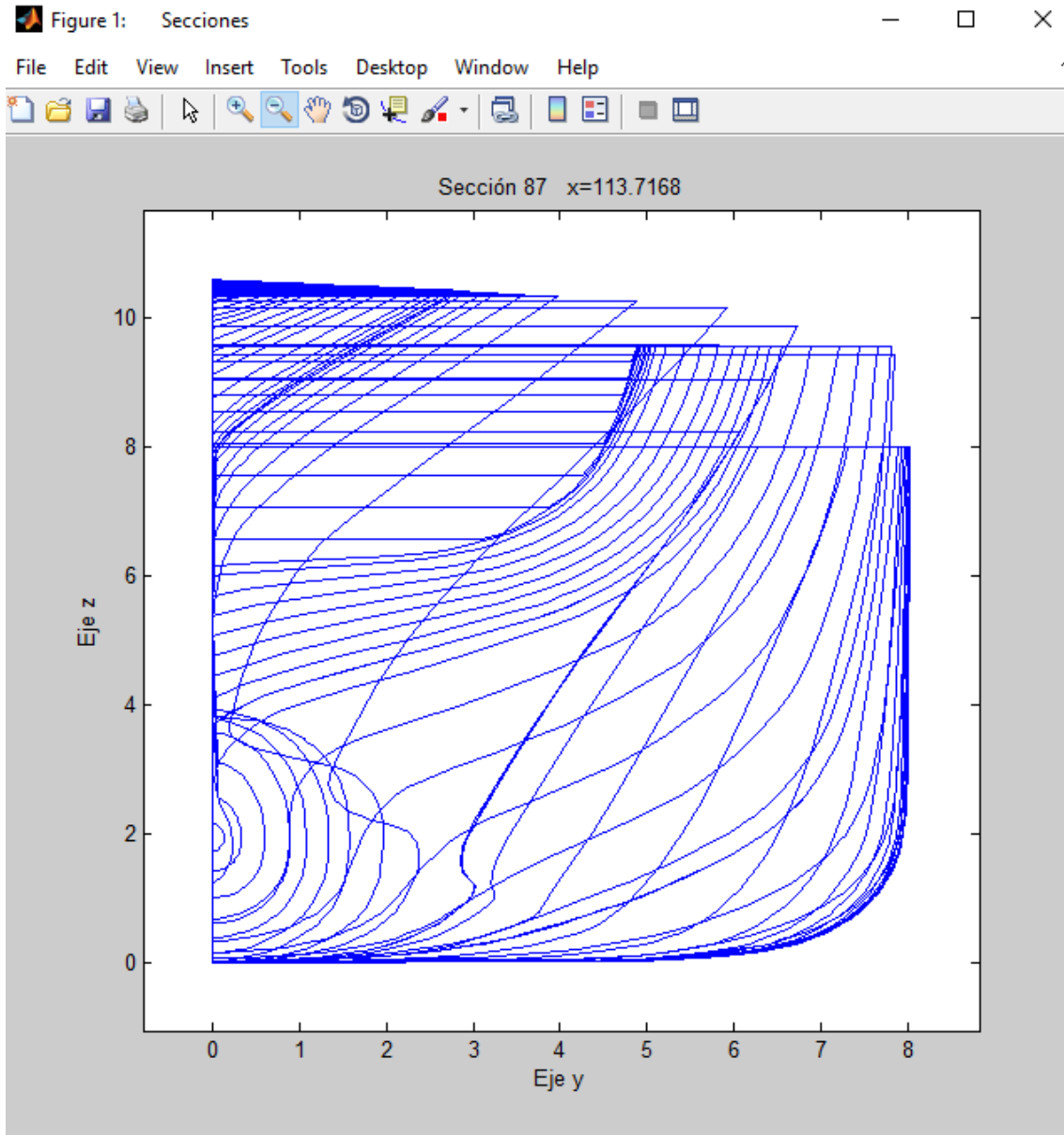


Figura 17. Secciones.

5.1.4 Variables hidrostáticas

Las variables hidrostáticas que se pueden obtener a partir del programa son las que aparecen a continuación.

Variables Hidrostaticas		
<input type="checkbox"/>	Area de flotacion (Aw)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Momento del área de flotación (Mx)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Centro de flotación (Xf)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Momento de inercia transversal (It)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Area de la sección (As)	<input type="checkbox"/>
	Nº de sección <input type="text"/>	
<input type="checkbox"/>	Radio metacéntrico transversal (BMT)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Momento de inercia de flotación (Iy)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Momento de inercia longitudinal (Il)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Radio metacéntrico longitudinal (BML)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Volumen de Carena (V)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Centro vertical de carena (ZB)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Momento del desplazamiento (MB)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Toneladas por centímetro de inmersión (TCI)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Coordenada horizontal del centro de carena (XB)	<input type="checkbox"/>

Figura 18. Valores hidrostaticos.

Se han de indicar los datos a calcular para que el programa los muestre tras el proceso de cálculo. Para ello se han de seleccionar los recuadros de cada una de las siguientes opciones:

- **Área de la flotación:** Este valor dará el total del área encerrada por el contorno que forman la línea de flotación del barco en el calado indicado, con el casco del barco. La magnitud de este valor se mostrará en metros cuadrados.
- **Momento del área de flotación:** El valor que muestra es el momento de inercia del área de la flotación, calculada a partir del eje transversal o eje OY para el calado que se haya seleccionado.
- **Centro de flotación:** Indicará la posición del centro de carena para ese calado, referenciándolo al inicio del eje de coordenadas, es decir, al punto 0. Ese punto estará en el punto más a popa del barco. Por lo tanto, mostrará la distancia a la que el centro de flotación está situado desde el punto más a popa del barco.
- **Momento de inercia transversal:** Este dato mostrará el valor del momento de inercia transversal del barco al calado seleccionado. Este momento se calculará a partir del eje longitudinal que cruza el barco de proa a popa por la sección media, para una altura igual al calado de cálculo. Se obtendrá a partir de los datos de las semimangas del área de la flotación para ese calado.
- **Área de la sección:** En caso que querer obtener el área de alguna sección en concreto en este apartado, se puede elegir el número de la sección a calcular en el apartado “Nº de sección” y de esa manera mostrará el programa el valor de la sección indicada.
- **Radio metacéntrico transversal:** El valor del radio metacéntrico da un valor intuitivo de la estabilidad del barco. A mayor radio metacéntrico, mayor beneficio para la estabilidad, en este caso, para la estabilidad transversal. Este valor se dará en metros.
- **Momento de inercia de flotación:** Si se selecciona esta opción, se obtiene el valor del momento de inercia de la flotación para el calado que se haya indicado en el programa para el proceso.
- **Momento de inercia longitudinal:** Este momento de inercia, dará el valor del momento de inercia referenciado al eje OX o eje transversal. Este dato se usará para calcular el radio metacéntrico longitudinal, por lo que es un dato importante para el cálculo de la estabilidad longitudinal.
- **Radio metacéntrico longitudinal:** El valor del radio metacéntrico longitudinal es el valor que indica la estabilidad longitudinal del barco, aunque normalmente el barco no sufre mucho en este aspecto, siempre es un dato de gran relevancia e interés.

- **Volumen de carena:** El valor del volumen de carena varía con el calado y las formas del casco. Muestra el volumen de agua desalojado por el barco para el calado indicado en el proceso. A partir del mismo se podrán obtener gran cantidad de datos, incluyendo la capacidad de carga.
- **Centro vertical de carena:** Indica el valor de la altura de la posición del centro de carena respecto del eje con altura 0, el cual coincide con el punto más bajo del barco. En la mayoría de los casos coincide con la posición de la quilla.
- **Momento de desplazamiento:** Se calcula a partir de integración vertical a partir de la sección maestra o de la sección de la perpendicular de popa. Toneladas por centímetro de inmersión: Las TCI o toneladas por centímetro de inmersión, indican las toneladas que hay que cargar (descargar) para que el barco inunde (emerja) un centímetro su calado actual. Este valor es diferente para cada calado.
- **Coordenada horizontal del centro de carena:** Muestra la distancia desde la posición más a popa del barco al centro de carena para cada calado. Este valor se da para calados en posición adrizado, no en posición inclinada en esta sección.

Se seleccionan todas ellas para obtener un informe con los datos generados para el calado máximo establecido en 6,5 m.

5.2 Valores hidrostáticos obtenidos

En la siguiente imagen aparecen los valores obtenidos para todas las variables hidrostáticas seleccionadas, expresadas numéricamente para la línea de flotación de calado máximo indicado.

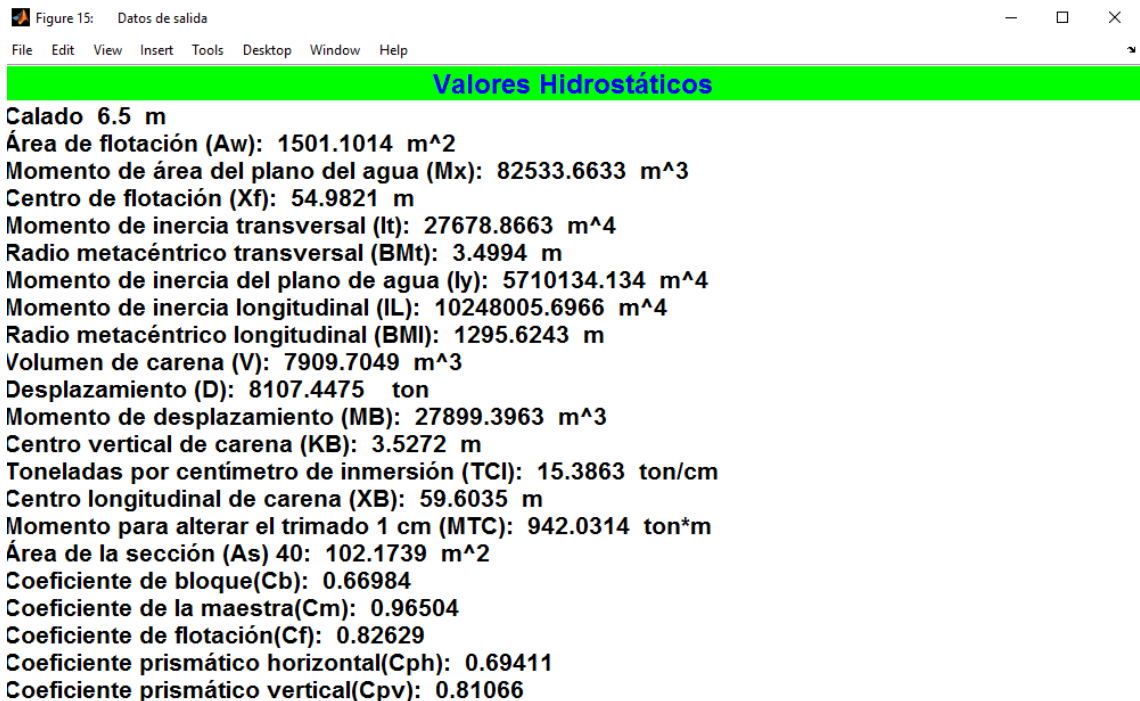


Figura 19. Valores hidrostáticos.

5.2.1 Comparación con los valores obtenidos mediante Maxsurf

En la siguiente tabla se realiza una comparación entre los valores obtenidos mediante el código matemático de Matlab y los datos anteriormente calculados mediante el software Maxsurf.

	Maxsurf	Matlab	
Calado Sección Media	6,5	6,5	Error
Desplazamiento (t)	8144,00	8114,57	0,36%
Área de la flotación m ²	1495,01	1501,10	-0,41%
Coef. Prismático (Cp)	0,69	0,69	-0,29%
Coef. Bloque (Cb)	0,67	0,67	0,59%
Coef. Cuaderna Maestra (Cm)	0,97	0,97	0,72%
Coef. Flotación (Cwp)	0,82	0,83	-0,24%
LCB Desde Ppp (+ a proa) m	51,73	59,60	-15,21%
LCF Desde Ppp (+ a proa) m	47,30	54,98	-16,24%
KB m	3,51	3,52	-0,28%
BMt m	3,48	3,49	-0,17%
BML m	145,47	1295,62	-790,66%
KMt m	6,99	7,01	-0,24%
KML m	148,98	1299,14	-772,03%
ITC t/cm	15,34	15,39	-0,32%
MTc t·m	113,14	942,03	-732,60%

Tabla 1. Comparación de valores hidrostáticos.

Cabe comentar que los resultados obtenidos para las distancias de la posición longitudinal de los centros de carena y flotación, están tomados desde el extremo más a popa del buque, a diferencia de los tomados por Maxsurf, los cuales son calculados con respecto a la perpendicular de popa. Esta se encuentra a 7 m del extremo más a popa por lo que restando a esos valores esta distancia, los resultados cuadran con errores por debajo del 2%.

Como se aprecia en general no existe mucha variación excepto en aquellos en los que se utiliza el momento de inercia longitudinal del área de flotación.

Se repasa el código detectando un pequeño error en la programación a la hora de aplicar el teorema de Steiner cuando se busca la inercia del área de flotación respecto a un eje transversal. La antigua codificación era la siguiente:

$$I_L(k) = I_y(k) + X_f(k)^2 \cdot A_w(k);$$

Cuando en realidad el movimiento del eje es hacia el centro de gravedad del área por lo que el momento de inercia siempre debe ser menor cuando esto ocurre, por lo tanto:

$$I_L(k) = I_y(k) - X_f(k)^2 \cdot A_w(k);$$

Una vez arreglado el error, los datos hidrostáticos quedan de la siguiente forma.

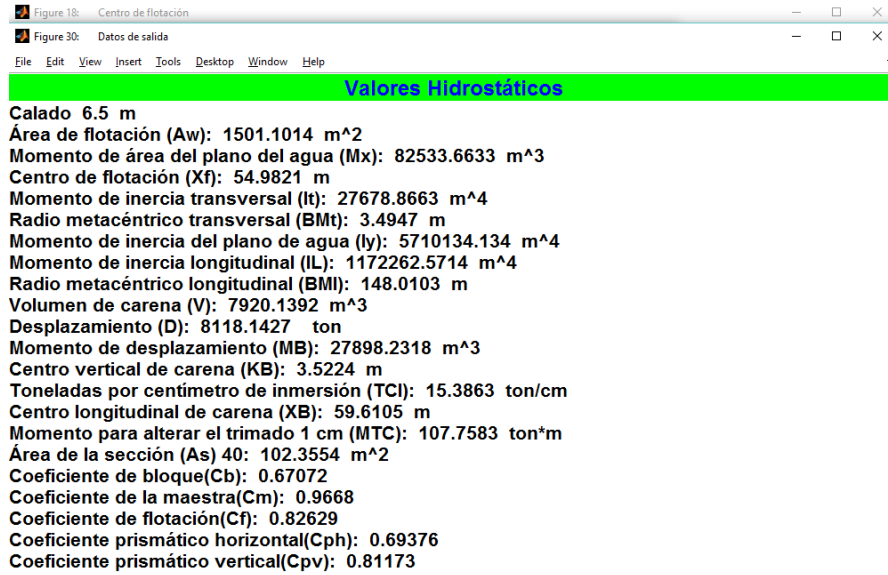


Figura 20. Valores hidroestáticos corregidos

Y comparando de nuevo los resultados:

	MaxSurf	MatLab	Error
Calado Sección Media	6,5	6,5	
Desplazamiento (t)	8144,00	8114,57	0,36%
Área de la flotación m ²	1495,01	1501,10	-0,41%
Coef. Prismático (Cp)	0,69	0,69	-0,29%
Coef. Bloque (Cb)	0,67	0,67	0,59%
Coef. Cuaderna Maestra (Cm)	0,97	0,97	0,72%
Coef. Flotación (Cwp)	0,82	0,83	-0,24%
LCB Desde Ppp (+ a proa) m	51,73	52,60	-1,68%
LCF Desde Ppp (+ a proa) m	47,30	47,98	-1,44%
KB m	3,51	3,52	-0,28%
BMt m	3,48	3,49	-0,17%
BML m	145,47	148,01	-1,75%
KMt m	6,99	7,01	-0,24%
KML m	148,98	151,53	-1,71%
ITC t/cm	15,34	15,39	-0,32%
MTc t·m	113,14	107,76	4,76%

Tabla 2. Valores hidroestáticos una vez corregido el código.

A continuación se muestran los valores de cada una de las variables en función del calado por separado.

5.2.2 Área de las secciones

En esta imagen se muestra la variación del área de las secciones referenciadas a cada calado. Esta variación la muestra gráficamente. En la columna de la izquierda se muestran los diferentes valores del área de las secciones, y en la línea inferior los datos de las secciones para cada calado.

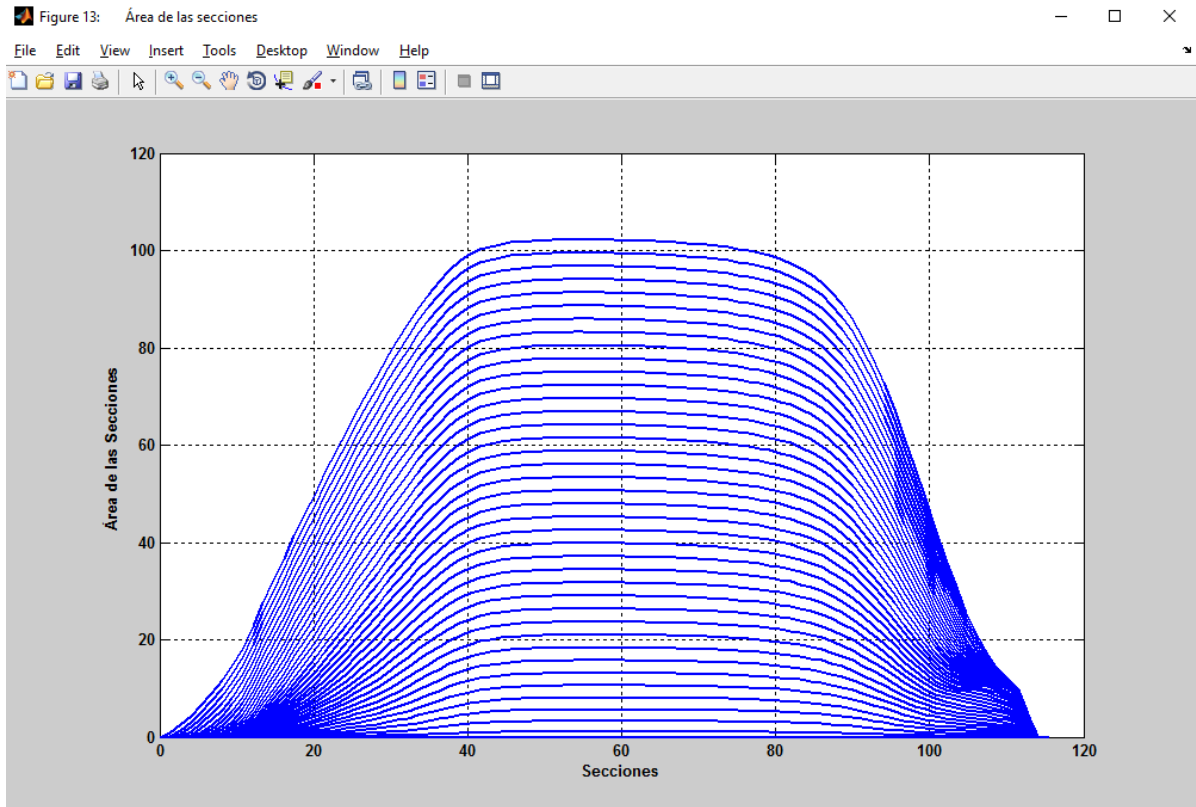


Figura 21. Áreas seccionales.

5.2.3 Área de la flotación

En esta imagen se muestra la variación del área de la flotación, o A_F con respecto a cada calado. Esta variación la muestra gráficamente. En la columna de la izquierda se muestran los diferentes calados, y en la línea inferior los datos del área de la flotación para cada calado.

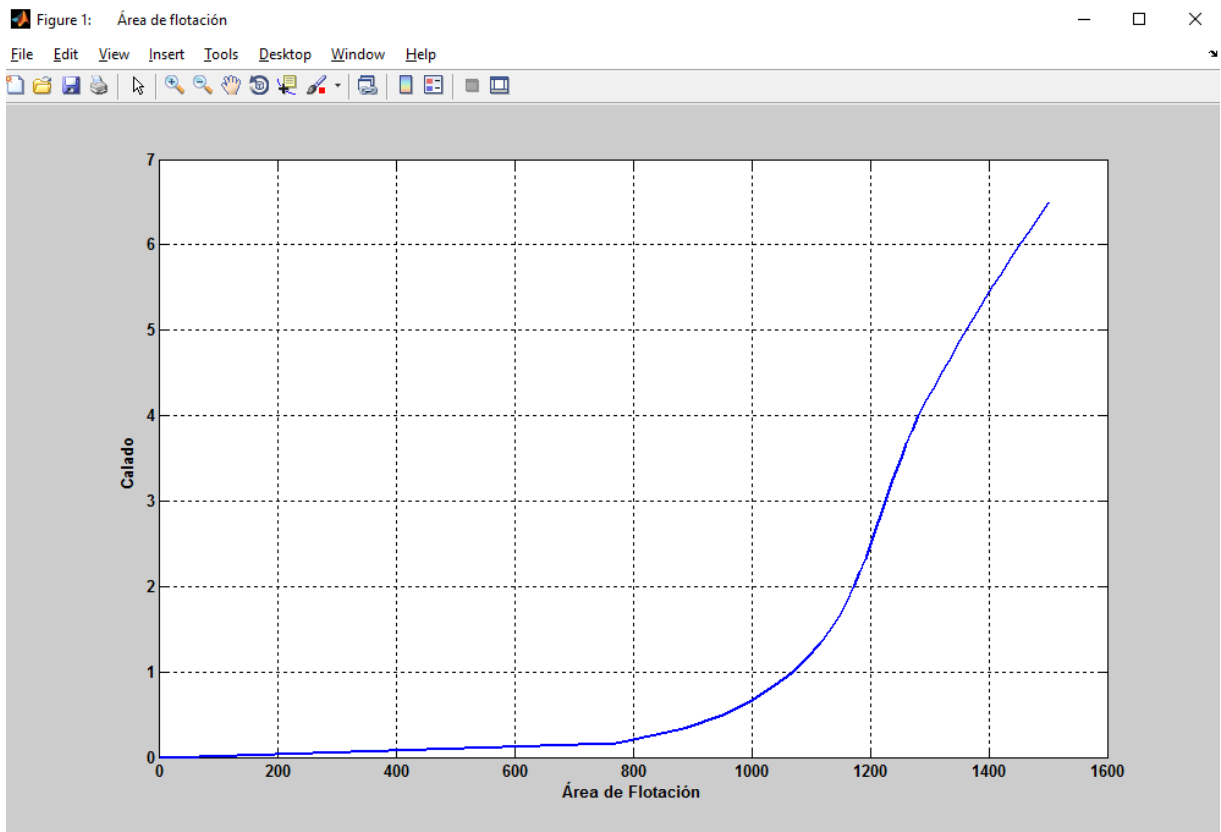


Figura 22. Área de la flotación.

5.2.4 Centro de la flotación

En esta imagen se muestra la variación del centro de flotación longitudinal, o \overline{XF} con respecto a la perpendicular de popa en su variación para cada calado. Esta variación la muestra gráficamente. En la columna de la izquierda se muestran los diferentes calados, y en la línea inferior los datos de la posición del centro de flotación longitudinal para cada calado.

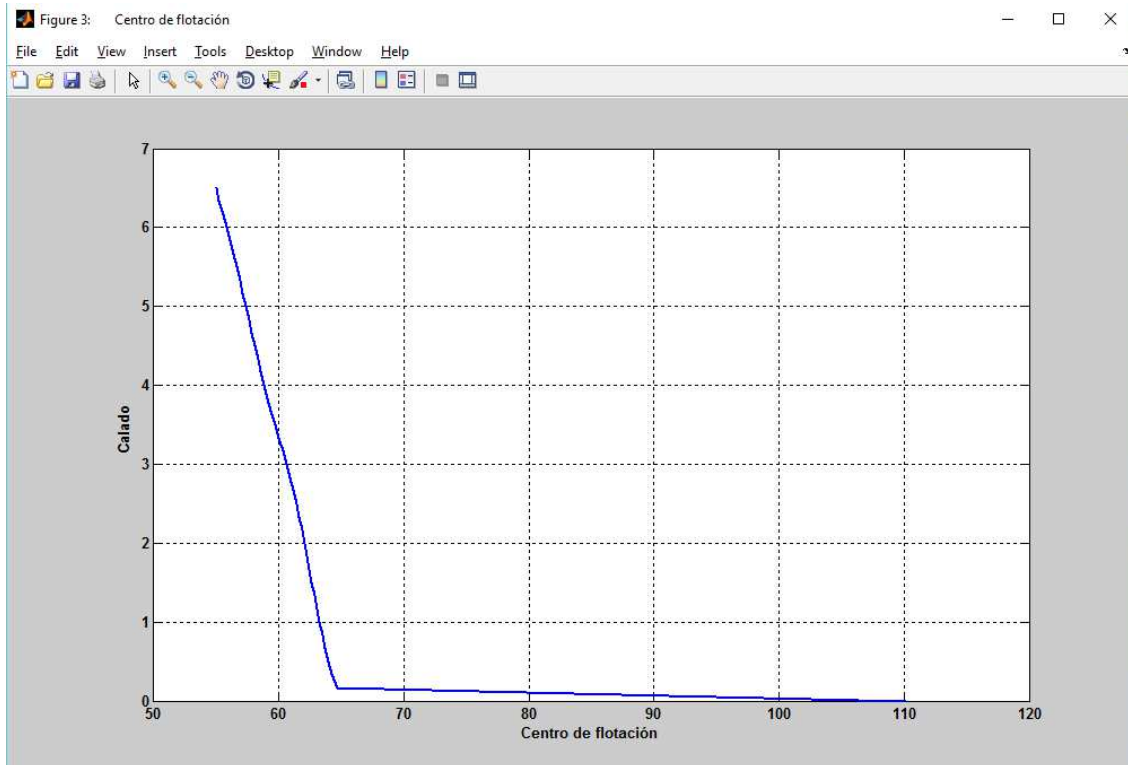


Figura 23. Centro de la flotación.

5.2.5 Volumen de carena

En esta imagen se muestra la variación del volumen de desplazamiento, o ∇ con respecto a cada calado. Esta variación la muestra gráficamente. En la columna de la izquierda se muestran los diferentes calados, y en la línea inferior los datos del volumen desplazamiento para cada calado.

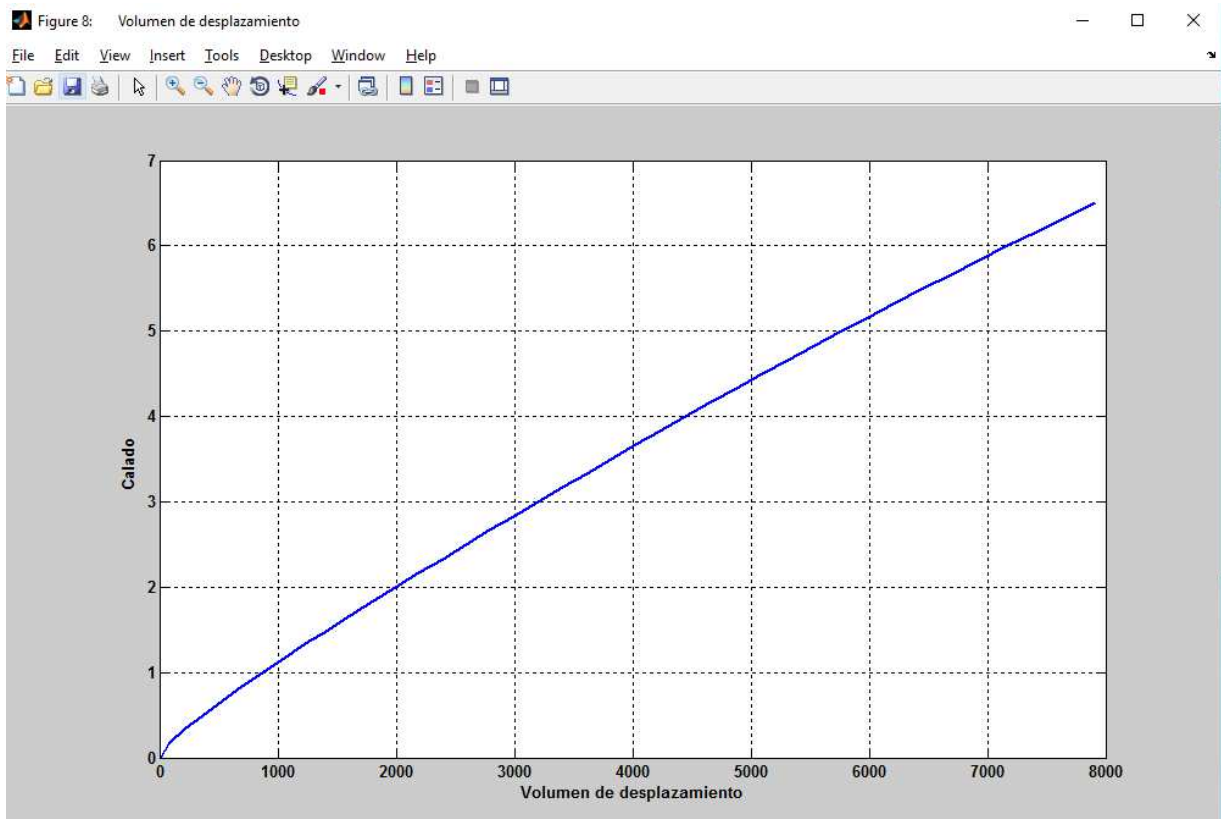


Figura 24. Volumen de carena.

5.2.6 Abscisa del centro de carena

En esta imagen se muestra la variación de la distancia del centro de carena a la perpendicular de popa, o \overline{XB} y su variación en cada calado. Esta variación la muestra gráficamente. En la columna de la izquierda se muestran los diferentes calados, y en la línea inferior los datos de la coordenada del centro de carena.

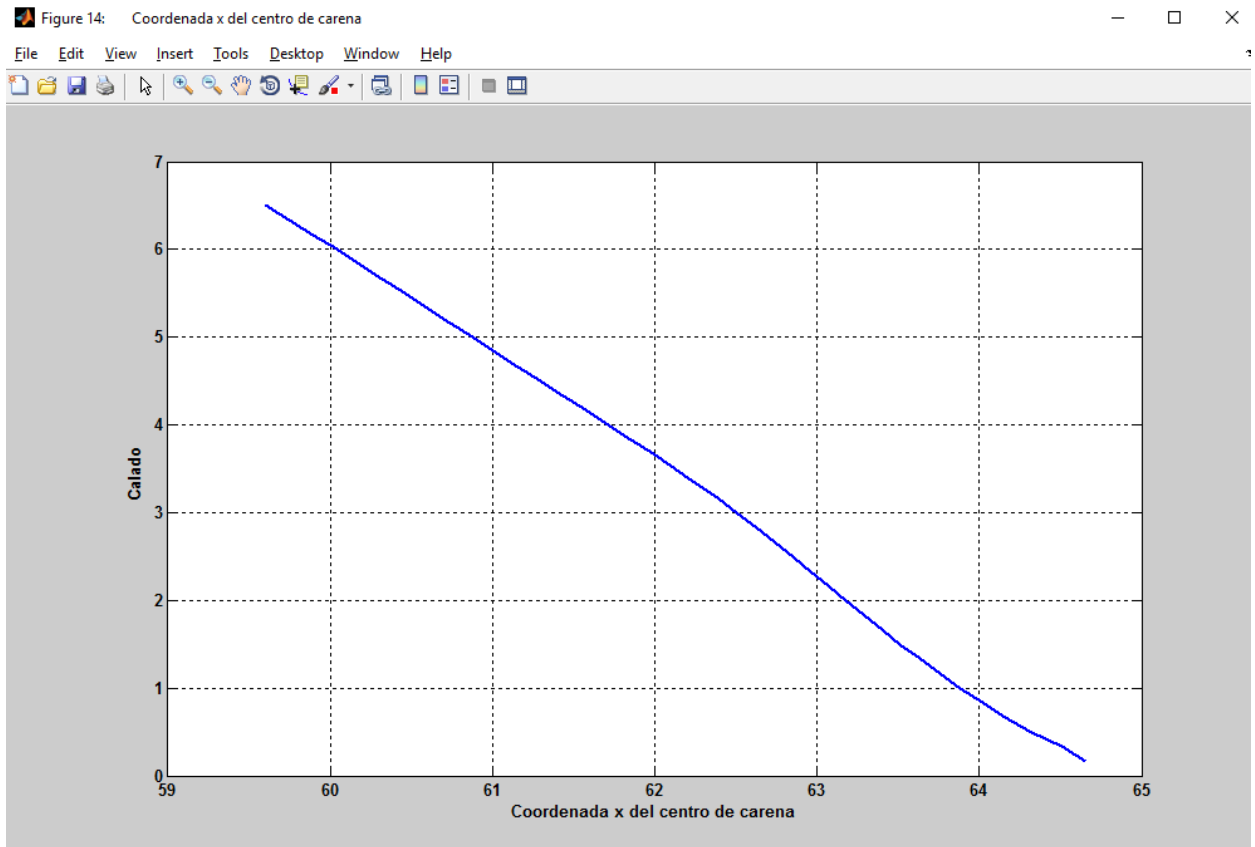


Figura 25. Abscisa del centro de carena.

5.2.7 Altura del centro de carena

En esta imagen se muestra la variación de la coordenada Z del centro de carena, o \overline{KB} con respecto a cada calado. Esta variación la muestra gráficamente. En la columna de la izquierda se muestran los diferentes calados, y en la línea inferior los datos de la coordenada vertical del centro de carena.

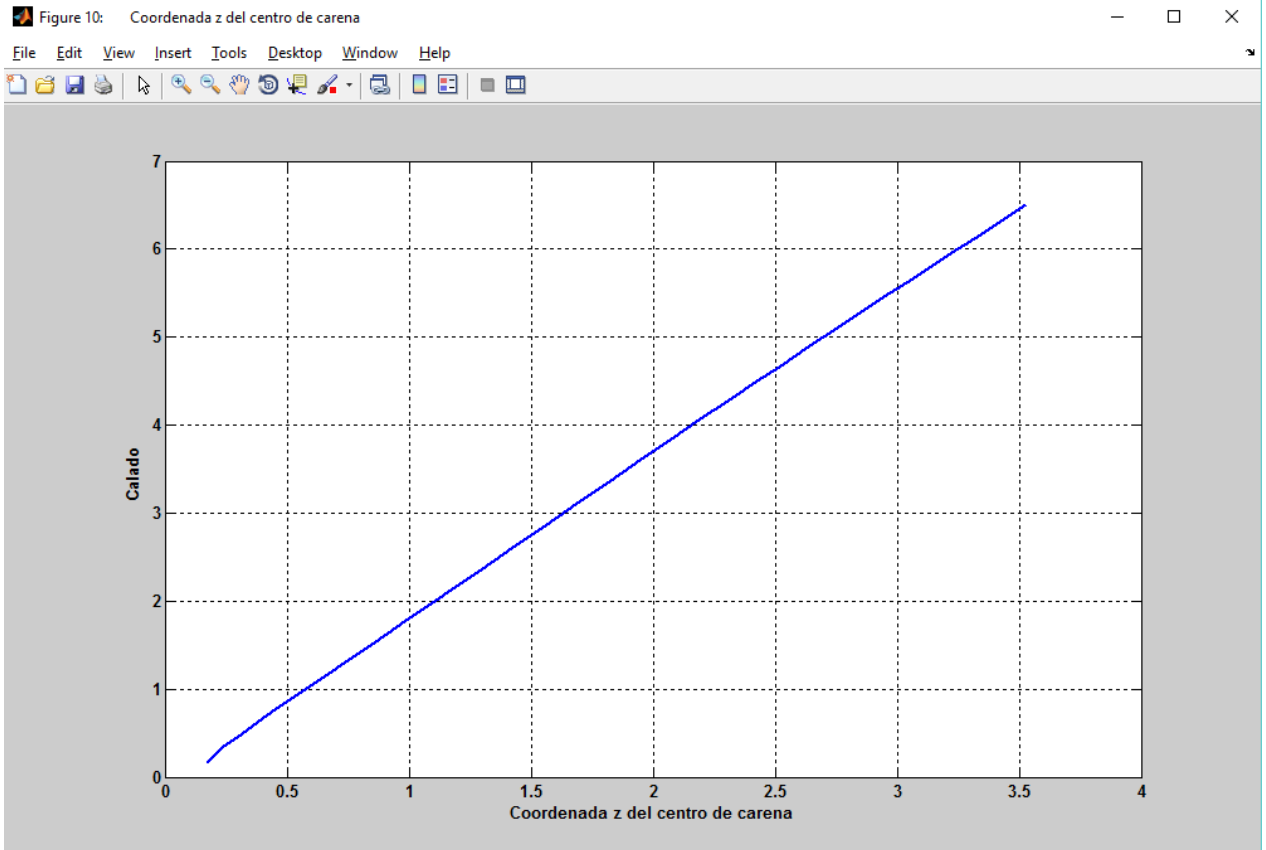


Figura 26. Altura del centro de carena.

5.2.8 Momento de inercia transversal del área de flotación

En esta imagen se muestra la variación del momento de inercia transversal, o I_t con respecto a cada calado. Esta variación la muestra gráficamente. En la columna de la izquierda se muestran los diferentes calados, y en la línea inferior los datos del momento de inercia transversal para cada calado.

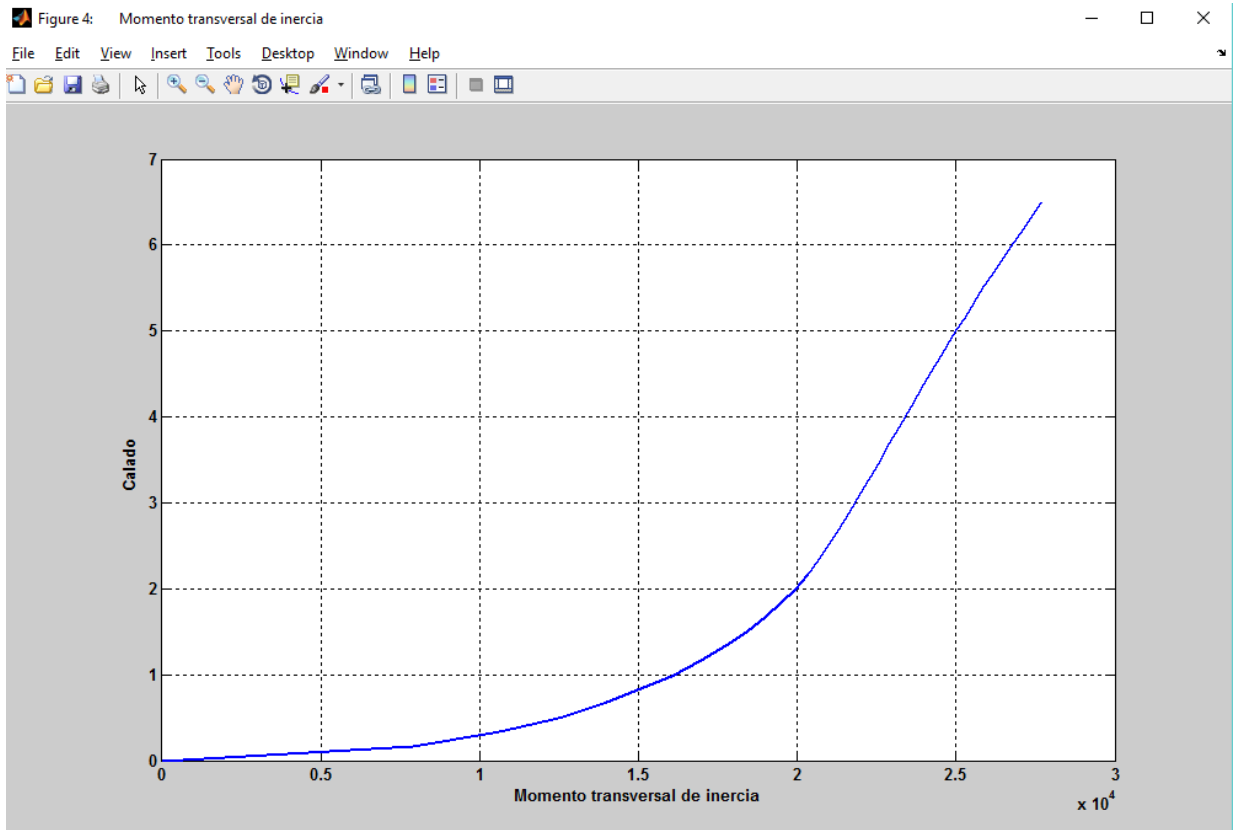


Figura 27. Momento de inercia transversal del área de la flotación.

5.2.9 Radio metacéntrico transversal

En esta imagen se muestra la variación del radio metacéntrico transversal, o \overline{BM}_t con respecto a cada calado. Esta variación la muestra gráficamente. En la columna de la izquierda se muestran los diferentes calados, y en la línea inferior los datos del radio metacéntrico transversal.

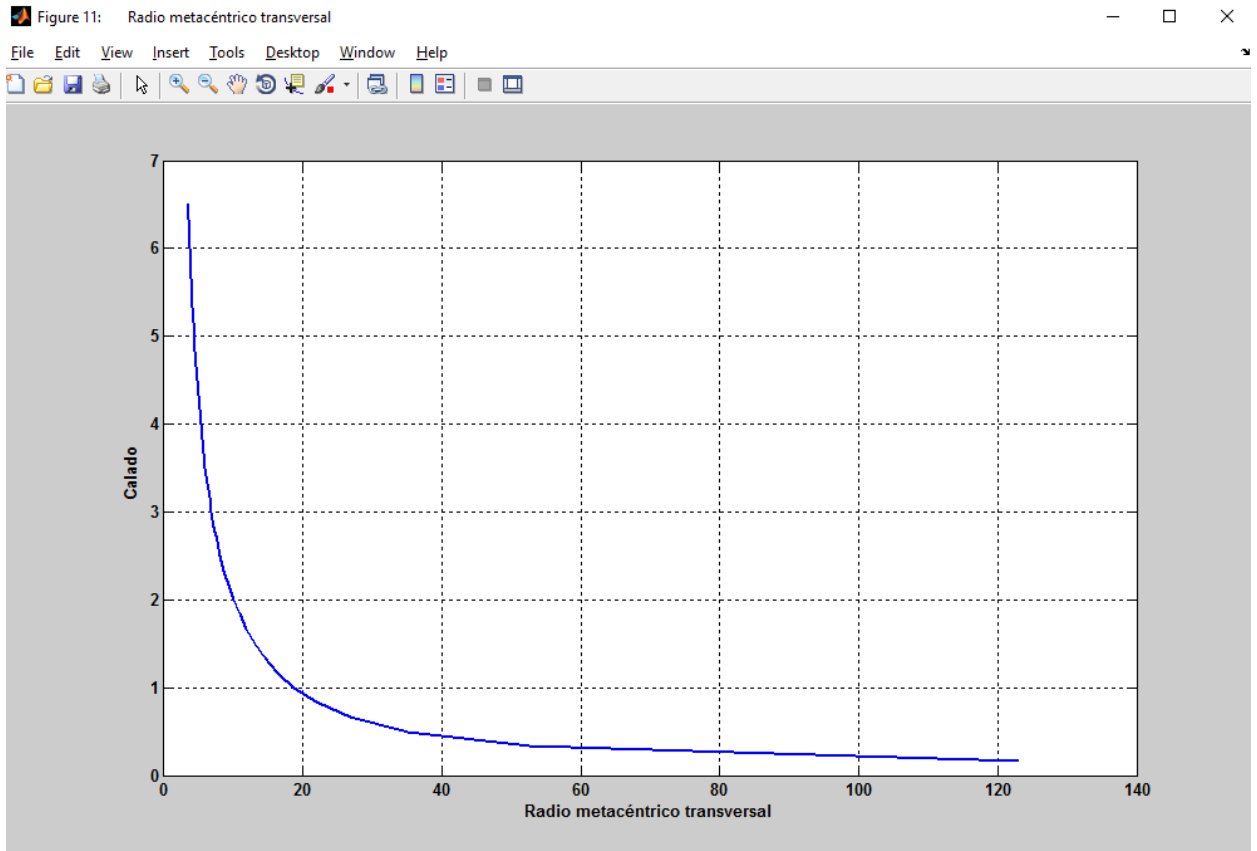


Figura 28. Radio metacéntrico transversal.

5.2.10 Momento de inercia longitudinal del área de flotación

En esta imagen se muestra la variación del momento longitudinal de inercia, o I_l con respecto a cada calado. Esta variación la muestra gráficamente. En la columna de la izquierda se muestran los diferentes calados, y en la línea inferior los datos del momento de inercia longitudinal para cada calado.

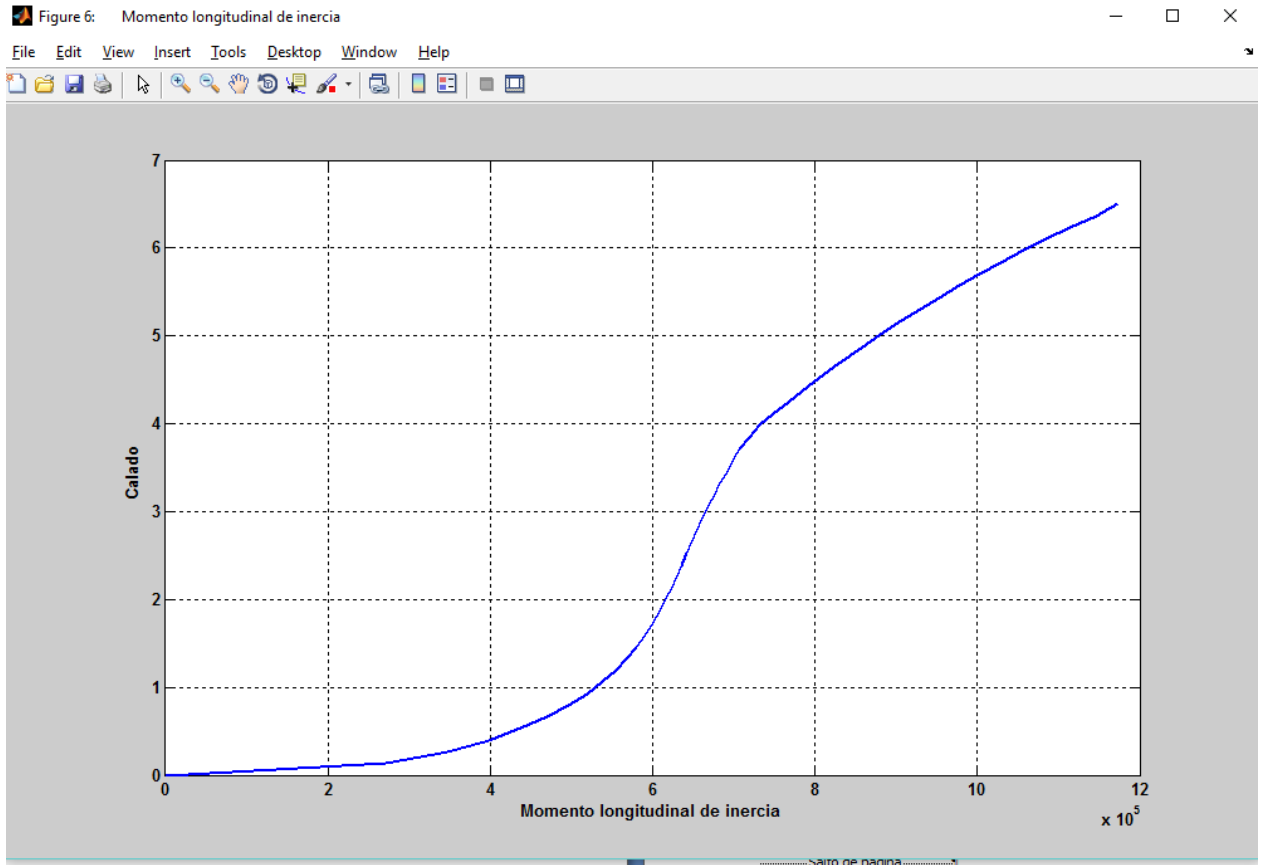


Figura 29. Momento de inercia respecto al eje longitudinal.

5.2.11 Radio metacéntrico longitudinal

En esta imagen se muestra la variación del radio metacéntrico longitudinal, o \overline{BM}_l con respecto a cada calado. Esta variación la muestra gráficamente. En la columna de la izquierda se muestran los diferentes calados, y en la línea inferior los datos del radio metacéntrico longitudinal.

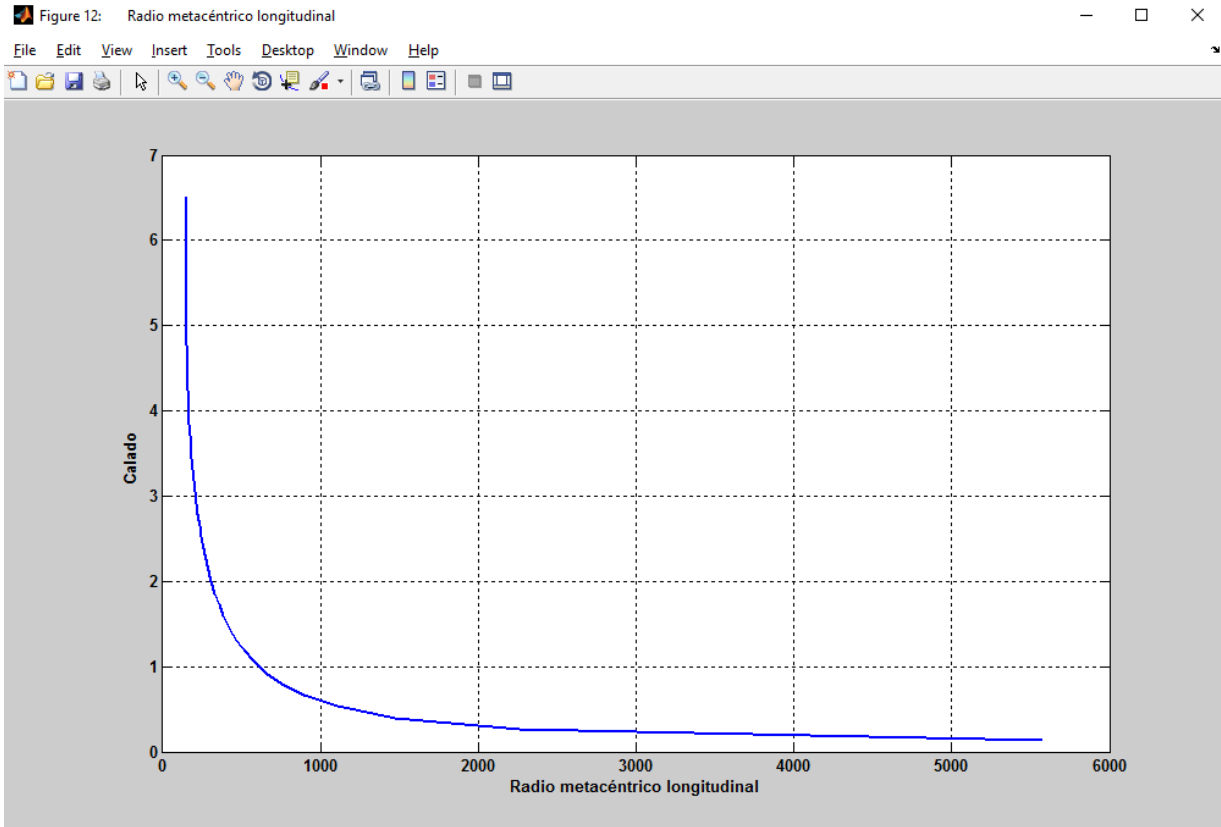


Figura 30. Radio metacéntrico longitudinal.

5.2.12 Toneladas por centímetro de inmersión

En esta imagen se muestra la variación de las toneladas por centímetro de inmersión, o *TCI* con respecto a cada calado. Esta variación la muestra gráficamente. En la columna de la izquierda se muestran los diferentes calados, y en la línea inferior los datos de las toneladas por centímetro de inmersión para cada calado.

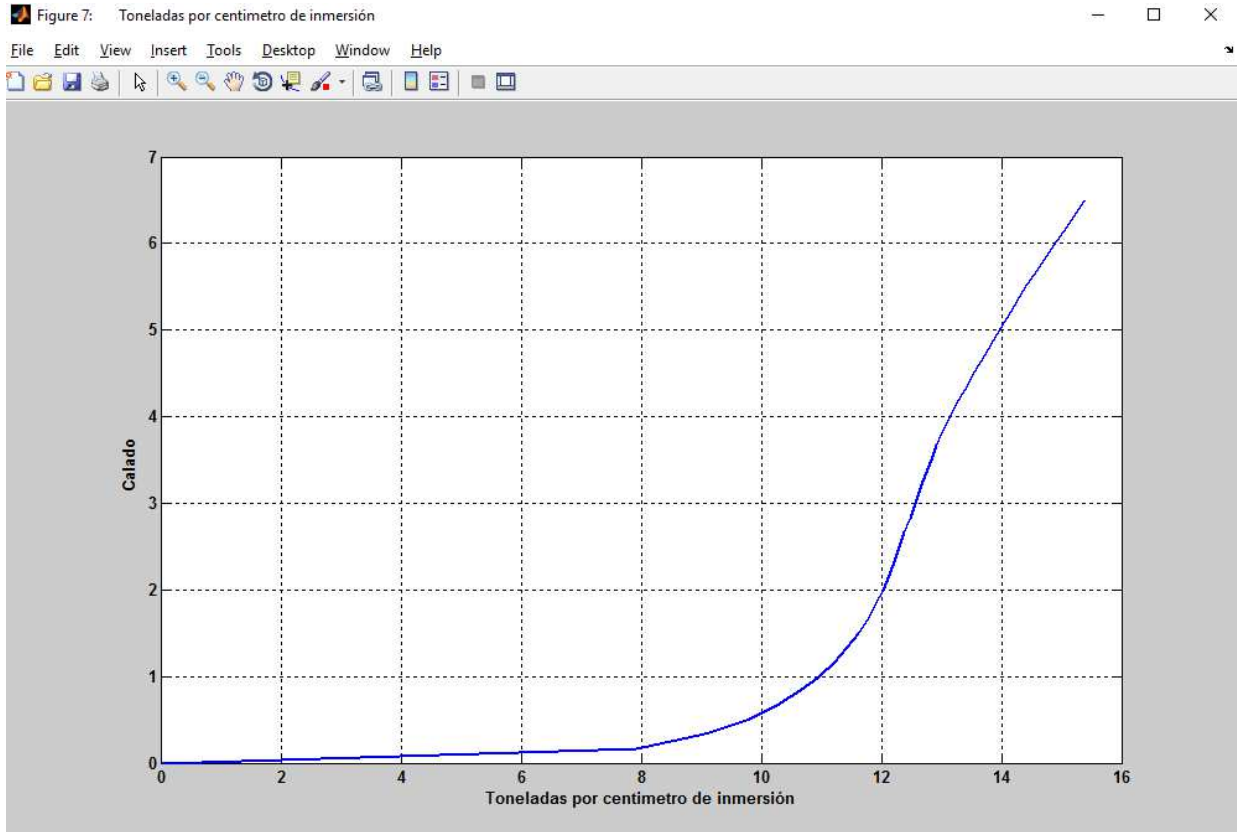


Figura 31. Toneladas por centímetro de inmersión.

5.3 Proceso de botadura

El siguiente punto a realizar es el de los cálculos del proceso de botadura mediante el código disponible en el programa de Matlab. Para ello será necesario introducir ciertos datos relacionados con el buque y con la grada. Estos últimos se estimarán debido a la falta de información sobre la grada, pero estarán dentro de un rango razonable y en torno a valores usuales.

Se deben tener los datos de entrada que necesita el programa, los cuales se definen a continuación:

- **Fichero Cálculos Hidrostáticos en Adrizado:** En este apartado se ha de incluir el fichero .xls que se obtiene a partir del cálculo de todos los datos del barco en el apartado “Valores Hidrostáticos en Adrizado” de este programa.
- **Líneas de agua:** Se han de incluir los valores de las líneas de agua en formato .xls como en el programa “Valores Hidrostáticos en Adrizado”. Este archivo también se ha de haber obtenido previamente.
- **Peso total:** El valor del peso total a incluir, es la suma de los pesos del barco en el momento de la botadura, pesos ajenos al barco que están incluidos en él en el momento de la botadura, etc. Se tomarán los calculados para el buque en rosca.
- **\overline{XG} posición longitudinal del centro de gravedad:** El valor de la posición del centro de gravedad es de gran importancia, por ello, se ha de incluir tanto la posición horizontal del centro de gravedad como la posición vertical del mismo. En este caso se debe incluir la distancia horizontal desde el punto más a popa del barco hasta la posición del centro de gravedad.
- **\overline{ZG} posición vertical del centro de gravedad:** En este caso, se debe indicar la posición vertical del centro de gravedad del conjunto de pesos que componen el barco en el momento de la botadura. Se tomará la distancia vertical desde la posición más baja del barco hasta el centro de gravedad.
- **Densidad del agua:** El valor de la densidad del agua ha de ser introducida también, ya que el proceso sería diferente de ser en un tipo de agua que en otra. El valor normal del agua de río es $1,000 \text{ t/m}^3$ mientras que el valor habitual del agua de mar es de $1,0259 \text{ t/m}^3$ exceptuando casos peculiares.
- **Ángulo de la grada:** La grada tiene una inclinación suficiente para que el barco caiga por su propio peso una vez se haya soltado de las “llaves” que le sujetan y le impiden el movimiento, pero no mucha inclinación para que no acelere demasiado y haya problemas en el momento de la botadura. El valor de este dato se incluirá en grados.
- **Altura de la anguila:** Como está explicado en el tutorial, esta altura indica la distancia perpendicular a la posición horizontal del barco desde la base del barco a la base de la anguila.
- **Posición de la anguila:** Se ha de indicar la posición en la que se sitúa el barco en referencia a la anguila para conocer el momento en el cual el barco dejará de estar apoyado en la anguila y debe de flotar por sí solo.
- **Longitud de la grada:** Es indiferente indicar esta distancia o la altura del agua en el punto K, a partir de ambas se pueden obtener los resultados deseados, ya que una depende de la otra. Esta distancia se toma en dirección paralela a la pendiente como se indica en el tutorial para ello.
- **Altura de agua punto K:** Se trata de la distancia vertical desde el nivel del mar en el momento de la botadura hasta el punto K de la grada.

A modo de resumen:

Datos del buque		
Peso	2012	t
XG	52,337	m
ZG	4,787	m
Datos de la grada		
Ángulo de la grada	3,5	º
Altura de anguila	1	m
Posición de la anguila	8	m
Longitud de la grada	-	m
Altura de agua a punto K	2-5	m

Tabla 3. Resumen de datos necesarios.

Estos se introducen en el programa en las casillas correspondientes como muestra la Figura 28.

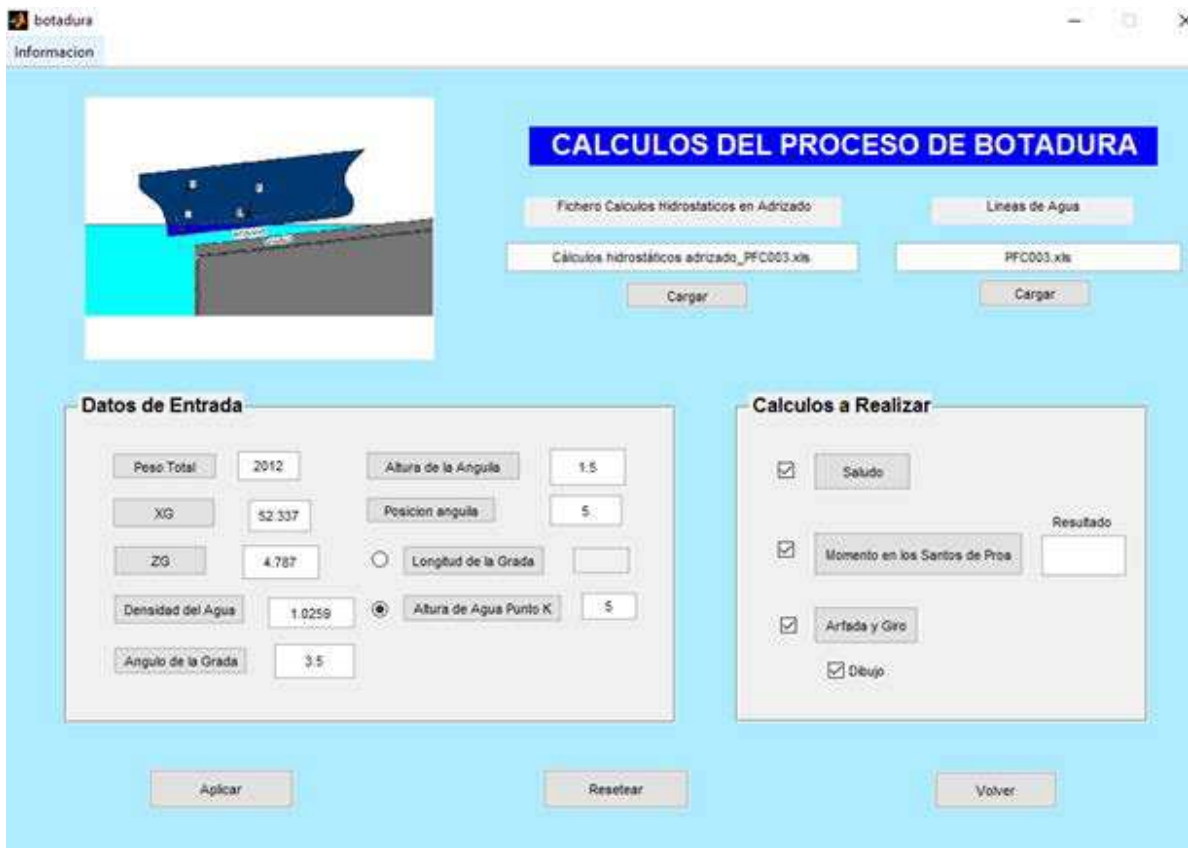


Figura 32. Interfaz proceso de botadura.

Se le pide al programa que calcule e informe de los procesos de botadura.

El primer informe trata sobre la existencia o no de saludo. En este caso el software devuelve el siguiente mensaje.

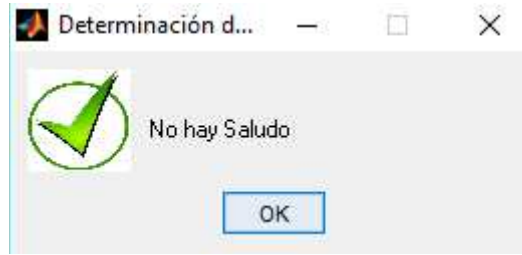


Figura 33. Aviso de la no existencia de saludo.

Esto quiere decir que existe suficiente calado para que el buque salga a flote cuando los santos de proa pasan por el punto K. El calado mínimo para que no haya saludo se ha calculado en 2,875 m.

El siguiente paso es el cálculo del giro y arfada. Se obtienen las siguientes imágenes en las que el programa interpola entre los datos hidrostáticos para obtener la posición del buque respecto a la superficie libre y los centros de carena para cada caso. La línea amarilla de las siguientes Figuras muestra la superficie libre, el punto rojo es el centro de carena y el verde el centro de gravedad.

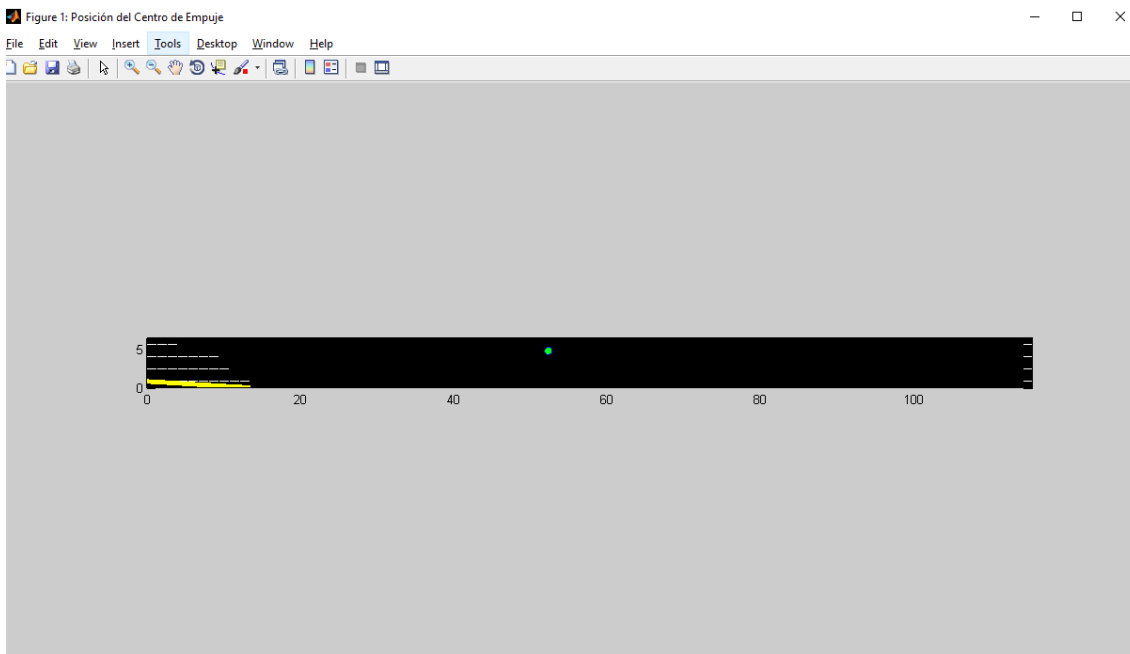


Figura 34. La superficie libre comienza a mojar el casco.

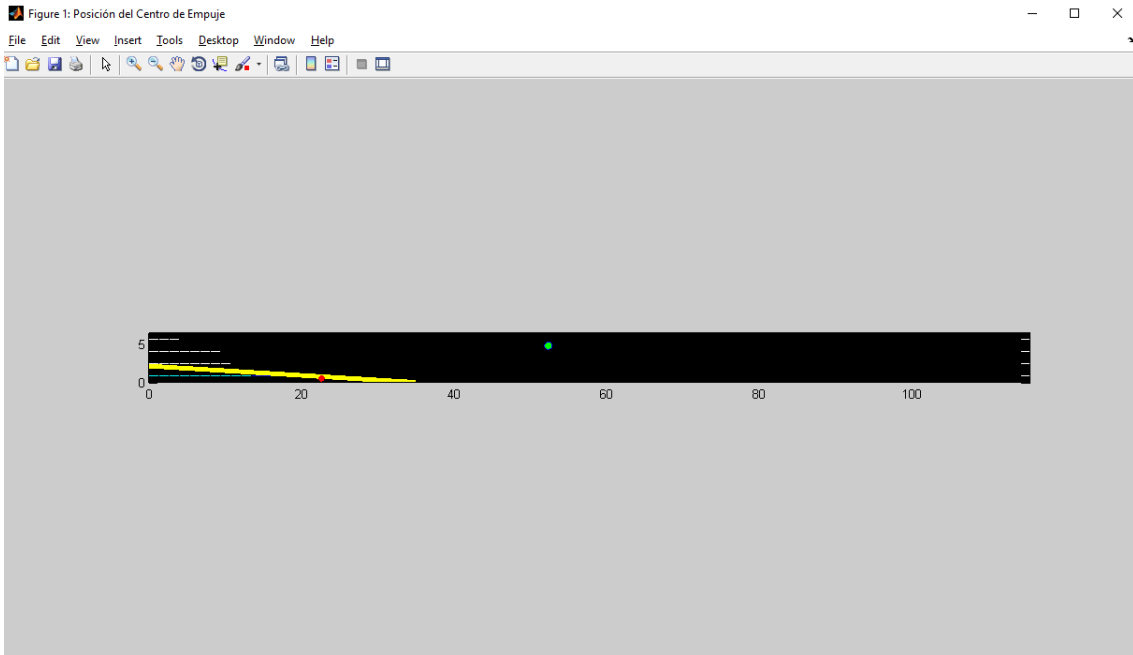


Figura 35. El buque comienza a sumergirse.

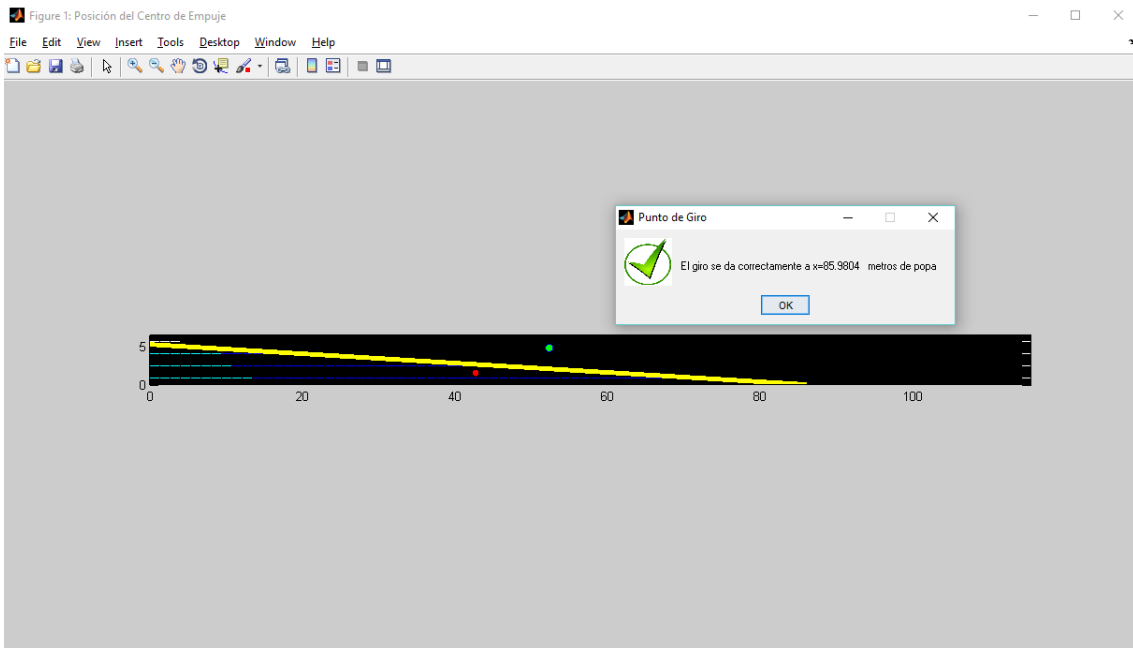


Figura 36. Posición final de la botadura antes del giro y dato de la posición en la eslora de la superficie libre cuando este comienza.

Como se aprecia en la imagen, en el mensaje emergente que aparece cuando el cálculo termina, el giro comenzará cuando la superficie libre se encuentre a 86 m del extremo de popa. Sin embargo no se aprecia en las imágenes por lo que se recomienda revisar el programa y hacer que estas imágenes sean más claras para una mayor precisión en la visualización.

El momento generado en los santos de proa tiene el valor, según el programa, de 84584,45 t·m, dividiendo este entre la distancia del centro de gravedad a los santos de proa se obtiene una reacción de 1669,5 t, un 34 % del peso del buque más el peso de la cuna. Valores un poco altos pero cercanos a los valores usuales (20% - 30%).

6 CONCLUSIONES

Una vez realizado los cálculos referentes a la botadura se está en disposición de analizar el programa y los datos obtenidos.

Para comenzar se puede comentar que el código parece ser muy útil y fácil de utilizar, así como preciso a la hora de realizar los cálculos como se ha podido comprobar en el punto 5.2.1. comparando los resultados obtenidos mediante el código y los resultados obtenidos mediante el software Maxsurf en el anterior capítulo.

En contraposición, aparte de pequeño error en el cálculo de la inercia longitudinal del área de la flotación comentado en el apartado 5.2.1. también, las desventajas y faltas principales que se pueden apreciar en este código se enumeran a continuación:

- Falta de un informe final en el que se realice un resumen de los datos obtenidos y facilitar así la generación de información.
- Una buena mejora sería la generación de los diagramas de momentos característicos de peso y empuje respecto a la proa de los Santos de proa y al extremo de popa de las imadas.
- Falta de nitidez en las imágenes de la simulación del lanzamiento, esto hace difícil apreciar la situación del barco.
- Sería una buena práctica añadir los cálculos relacionados con el estudio dinámico del lanzamiento.

Aparte de eso es una buena herramienta para realizar el estudio de botadura en cuanto a estabilidad se refiere. Como se ha podido comprobar, para los datos introducidos, la botadura se podría realizar sin problema obteniendo un proceso limpio, sin ninguno de los problemas de arfada y saludo.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Libros, manuales y Reglamentos:

1. Alvariño, R.; Azpíroz, J.; Meizoso, M. (1997) “El proyecto básico del buque mercante”. Madrid, España. Colegio de ingenieros navales.
2. Papanikolaou, A. (2014) “Ship Design, Methodologies of Preliminary Design”. Atenas, Grecia. Springer.
3. O’Dogherty, P.; Carlier, M. (1983) “Proyecto hidrodinámico de buques atuneros”. Madrid, España. Canal de experiencias hidrodinámicas, El Pardo.
4. Versteeg, H.K.; Malalasekera, W. (1995) “An introduction to Computational fluid dynamics. The finite volumen method”. Essex, Inglaterra. Longman Scientific and Technical.
5. Maxsurf. (2013) “Maxsurf Resistance”. Versión 20. Bentley systems.
6. GiD. (2014) “Advanced course”. GiD.
7. ANSYS. (2009) “Help ANSYS CFX, Release 15.0”. ANSYS.
8. Marpol 73/78 Annex I (2006). “New Regulation 12 A – Oil fuel tank protection”. DNV.
9. Maxsurf. (2013) “Maxsurf Stability”. Versión 20. Bentley systems.

Proyectos Académicos:

1. Planes, T. “Estudio de diferente técnicas de modelización en la construcción naval. Aplicación mediante Ram-Series”. Cartagena, España. UPCT.
2. Royo, G. (2011) “Dimensionamiento, predicción de potencia y diseño de las hélices y timón de un buque mercante”. Barcelona, España. UPC.
3. Bartrons, J. (2014) “Estudio hidrodinámico por CFD del casco de una lancha motora”. Barcelona, España. UPC.
4. Ortín, J.L. (2013) “Diseño y desarrollo de un IMOCA Open 60”. Cartagena, España. UPCT.
5. Ortín, J.L. (2015) “Hydrodynamics modelling of hulls using Ranse Codes”. Auckland, Nueva Zelanda. The university of Auckland.
6. Manzano, R. (2008) “Buque de cabotaje 2700 t.p.m.”. Madrid, España. UPM.
7. Clemente, P.D. (2014) “Cálculo de datos hidrostáticos y la botadura de un barco en Matlab”. Cartagena, España. UPCT.

Tesis PhD:

1. Carlier M. (1985) “Análisis hidrodinámico y proyecto del bulbo de proa”. Madrid, España. UPM.
2. Ahumada, J.M. (2009) “Evaluación numérica de la resistencia al avance de buques”. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile.
3. Clinton, S. (2012) “A solution for every Multiphase Challenge”. CAE Support and Training.

4. Zdravistch, F. “Hydrodynamics Analysis of Ships Side by Side in Waves using AQWA and Resistance and Diffraction Simulation over a Ship Hull using ANSYS-CFD”. ANSYS inc.

Artículos publicados:

1. Watson, D. G.; Gilfillan, A.E. (1976) “Some ship Design methods”. Londres, Inglaterra. The royal institution of naval architects.
2. Toxopeus, S. (2007) “Validation of Slender-body method for prediction of linear manoeuvring coefficients using experiments and viscous-flow calculations”. Holanda. Delft University of Technology.
3. Howland, J.; Qin, Z.; Dewhurst, T.B. (2014) “Using Computational fluid dynamics to predict drag on a boat hull”. Cerdarville, EEUU. The Research and Scholarship Symposium.

Apuntes:

1. “Hidrodinámica, Resistencia y Propulsión”. Ingeniería naval y oceanica. Cartagena, España. UPCT.
2. “Sistemas de construcción de buques y artefactos flotantes”. Ingeniería naval y oceanica. Cartagena, España. UPCT.
3. “Dibujo naval”. Ingeniería técnica naval. Cartagena, España. UPCT.

**ANEXO I – ESTUDIO DE
ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES**

ANEXO I. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES

	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	FN	Cb	Cm	Cp	Pc	Δ	CC	PR	PR+PM	PR+PM<Δ
ALT. 0	109,12	16,81	8,75	6,60	6,49	1,92	2,55	12,47	0,75	0,220	0,687	0,983	0,699	1615	8524,94	5344949,36	2042,90	7543	VERDADERO
ALT. 1	107,12	15,81	8,15	6,00	6,78	1,94	2,64	13,14	0,74	0,222	0,684	0,983	0,696	1456	7121,58	4941943,65	1857,40	7357	FALSO
ALT. 2	107,12	15,81	8,15	6,30	6,78	1,94	2,51	13,14	0,77	0,222	0,684	0,983	0,696	1456	7477,91	4941943,65	1857,40	7357	VERDADERO
ALT. 3	107,12	15,81	8,15	6,60	6,78	1,94	2,40	13,14	0,81	0,222	0,684	0,983	0,696	1456	7834,25	4941943,65	1857,40	7357	VERDADERO
ALT. 4	107,12	15,81	8,15	6,90	6,78	1,94	2,29	13,14	0,85	0,222	0,684	0,983	0,696	1456	8190,59	4941943,65	1857,40	7357	VERDADERO
ALT. 5	107,12	15,81	8,15	7,20	6,78	1,94	2,20	13,14	0,88	0,222	0,684	0,983	0,696	1456	8546,93	4941943,65	1857,40	7357	VERDADERO
ALT. 6	107,12	15,81	8,45	6,00	6,78	1,87	2,64	12,67	0,71	0,222	0,684	0,983	0,696	1461	7121,58	4957733,78	1880,57	7381	FALSO
ALT. 7	107,12	15,81	8,45	6,30	6,78	1,87	2,51	12,67	0,74	0,222	0,684	0,983	0,696	1461	7477,91	4957733,78	1880,57	7381	VERDADERO
ALT. 8	107,12	15,81	8,45	6,60	6,78	1,87	2,40	12,67	0,78	0,222	0,684	0,983	0,696	1461	7834,25	4957733,78	1880,57	7381	VERDADERO
ALT. 9	107,12	15,81	8,45	6,90	6,78	1,87	2,29	12,67	0,82	0,222	0,684	0,983	0,696	1461	8190,59	4957733,78	1880,57	7381	VERDADERO
ALT. 10	107,12	15,81	8,45	7,20	6,78	1,87	2,20	12,67	0,85	0,222	0,684	0,983	0,696	1461	8546,93	4957733,78	1880,57	7381	VERDADERO
ALT. 11	107,12	15,81	8,75	6,00	6,78	1,81	2,64	12,24	0,69	0,222	0,684	0,983	0,696	1467	7121,58	4974345,44	1903,34	7403	FALSO
ALT. 12	107,12	15,81	8,75	6,30	6,78	1,81	2,51	12,24	0,72	0,222	0,684	0,983	0,696	1467	7477,91	4974345,44	1903,34	7403	VERDADERO
ALT. 13	107,12	15,81	8,75	6,60	6,78	1,81	2,40	12,24	0,75	0,222	0,684	0,983	0,696	1467	7834,25	4974345,44	1903,34	7403	VERDADERO
ALT. 14	107,12	15,81	8,75	6,90	6,78	1,81	2,29	12,24	0,79	0,222	0,684	0,983	0,696	1467	8190,59	4974345,44	1903,34	7403	VERDADERO
ALT. 15	107,12	15,81	8,75	7,20	6,78	1,81	2,20	12,24	0,82	0,222	0,684	0,983	0,696	1467	8546,93	4974345,44	1903,34	7403	VERDADERO
ALT. 16	107,12	15,81	9,05	6,00	6,78	1,75	2,64	11,83	0,66	0,222	0,684	0,983	0,696	1474	7121,58	4991654,67	1925,72	7426	FALSO
ALT. 17	107,12	15,81	9,05	6,30	6,78	1,75	2,51	11,83	0,70	0,222	0,684	0,983	0,696	1474	7477,91	4991654,67	1925,72	7426	VERDADERO
ALT. 18	107,12	15,81	9,05	6,60	6,78	1,75	2,40	11,83	0,73	0,222	0,684	0,983	0,696	1474	7834,25	4991654,67	1925,72	7426	VERDADERO
ALT. 19	107,12	15,81	9,05	6,90	6,78	1,75	2,29	11,83	0,76	0,222	0,684	0,983	0,696	1474	8190,59	4991654,67	1925,72	7426	VERDADERO
ALT. 20	107,12	15,81	9,05	7,20	6,78	1,75	2,20	11,83	0,79	0,222	0,684	0,983	0,696	1474	8546,93	4991654,67	1925,72	7426	VERDADERO
ALT. 21	107,12	15,81	9,35	6,00	6,78	1,69	2,64	11,45	0,64	0,222	0,684	0,983	0,696	1480	7121,58	5009556,17	1947,73	7448	FALSO
ALT. 22	107,12	15,81	9,35	6,30	6,78	1,69	2,51	11,45	0,67	0,222	0,684	0,983	0,696	1480	7477,91	5009556,17	1947,73	7448	VERDADERO
ALT. 23	107,12	15,81	9,35	6,60	6,78	1,69	2,40	11,45	0,71	0,222	0,684	0,983	0,696	1480	7834,25	5009556,17	1947,73	7448	VERDADERO
ALT. 24	107,12	15,81	9,35	6,90	6,78	1,69	2,29	11,45	0,74	0,222	0,684	0,983	0,696	1480	8190,59	5009556,17	1947,73	7448	VERDADERO
ALT. 25	107,12	15,81	9,35	7,20	6,78	1,69	2,20	11,45	0,77	0,222	0,684	0,983	0,696	1480	8546,93	5009556,17	1947,73	7448	VERDADERO
ALT. 26	107,12	16,31	8,15	6,00	6,57	2,00	2,72	13,14	0,74	0,222	0,684	0,983	0,696	1501	7346,83	5057054,25	1904,01	7404	FALSO
ALT. 27	107,12	16,31	8,15	6,30	6,57	2,00	2,59	13,14	0,77	0,222	0,684	0,983	0,696	1501	7714,44	5057054,25	1904,01	7404	VERDADERO
ALT. 28	107,12	16,31	8,15	6,60	6,57	2,00	2,47	13,14	0,81	0,222	0,684	0,983	0,696	1501	8082,05	5057054,25	1904,01	7404	VERDADERO
ALT. 29	107,12	16,31	8,15	6,90	6,57	2,00	2,36	13,14	0,85	0,222	0,684	0,983	0,696	1501	8449,66	5057054,25	1904,01	7404	VERDADERO
ALT. 30	107,12	16,31	8,15	7,20	6,57	2,00	2,27	13,14	0,88	0,222	0,684	0,983	0,696	1501	8817,27	5057054,25	1904,01	7404	VERDADERO
ALT. 31	107,12	16,31	8,45	6,00	6,57	1,93	2,72	12,67	0,71	0,222	0,684	0,983	0,696	1507	7346,83	5073329,13	1927,92	7428	FALSO
ALT. 32	107,12	16,31	8,45	6,30	6,57	1,93	2,59	12,67	0,74	0,222	0,684	0,983	0,696	1507	7714,44	5073329,13	1927,92	7428	VERDADERO
ALT. 33	107,12	16,31	8,45	6,60	6,57	1,93	2,47	12,67	0,78	0,222	0,684	0,983	0,696	1507	8082,05	5073329,13	1927,92	7428	VERDADERO
ALT. 34	107,12	16,31	8,45	6,90	6,57	1,93	2,36	12,67	0,82	0,222	0,684	0,983	0,696	1507	8449,66	5073329,13	1927,92	7428	VERDADERO

ANEXO I. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES

	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	FN	Cb	Cm	Cp	Pc	Δ	CC	PR	PR+PM	PR+PM<Δ
ALT. 35	107,12	16,31	8,45	7,20	6,57	1,93	2,27	12,67	0,85	0,222	0,684	0,983	0,696	1507	8817,27	5073329,13	1927,92	7428	VERDADERO
ALT. 36	107,12	16,31	8,75	6,00	6,57	1,86	2,72	12,24	0,69	0,222	0,684	0,983	0,696	1513	7346,83	5090451,88	1951,41	7451	FALSO
ALT. 37	107,12	16,31	8,75	6,30	6,57	1,86	2,59	12,24	0,72	0,222	0,684	0,983	0,696	1513	7714,44	5090451,88	1951,41	7451	VERDADERO
ALT. 38	107,12	16,31	8,75	6,60	6,57	1,86	2,47	12,24	0,75	0,222	0,684	0,983	0,696	1513	8082,05	5090451,88	1951,41	7451	VERDADERO
ALT. 39	107,12	16,31	8,75	6,90	6,57	1,86	2,36	12,24	0,79	0,222	0,684	0,983	0,696	1513	8449,66	5090451,88	1951,41	7451	VERDADERO
ALT. 40	107,12	16,31	8,75	7,20	6,57	1,86	2,27	12,24	0,82	0,222	0,684	0,983	0,696	1513	8817,27	5090451,88	1951,41	7451	VERDADERO
ALT. 41	107,12	16,31	9,05	6,00	6,57	1,80	2,72	11,83	0,66	0,222	0,684	0,983	0,696	1520	7346,83	5108294,61	1974,49	7474	FALSO
ALT. 42	107,12	16,31	9,05	6,30	6,57	1,80	2,59	11,83	0,70	0,222	0,684	0,983	0,696	1520	7714,44	5108294,61	1974,49	7474	VERDADERO
ALT. 43	107,12	16,31	9,05	6,60	6,57	1,80	2,47	11,83	0,73	0,222	0,684	0,983	0,696	1520	8082,05	5108294,61	1974,49	7474	VERDADERO
ALT. 44	107,12	16,31	9,05	6,90	6,57	1,80	2,36	11,83	0,76	0,222	0,684	0,983	0,696	1520	8449,66	5108294,61	1974,49	7474	VERDADERO
ALT. 45	107,12	16,31	9,05	7,20	6,57	1,80	2,27	11,83	0,79	0,222	0,684	0,983	0,696	1520	8817,27	5108294,61	1974,49	7474	VERDADERO
ALT. 46	107,12	16,31	9,35	6,00	6,57	1,74	2,72	11,45	0,64	0,222	0,684	0,983	0,696	1527	7346,83	5126748,65	1997,20	7497	FALSO
ALT. 47	107,12	16,31	9,35	6,30	6,57	1,74	2,59	11,45	0,67	0,222	0,684	0,983	0,696	1527	7714,44	5126748,65	1997,20	7497	VERDADERO
ALT. 48	107,12	16,31	9,35	6,60	6,57	1,74	2,47	11,45	0,71	0,222	0,684	0,983	0,696	1527	8082,05	5126748,65	1997,20	7497	VERDADERO
ALT. 49	107,12	16,31	9,35	6,90	6,57	1,74	2,36	11,45	0,74	0,222	0,684	0,983	0,696	1527	8449,66	5126748,65	1997,20	7497	VERDADERO
ALT. 50	107,12	16,31	9,35	7,20	6,57	1,74	2,27	11,45	0,77	0,222	0,684	0,983	0,696	1527	8817,27	5126748,65	1997,20	7497	VERDADERO
ALT. 51	107,12	16,81	8,15	6,00	6,37	2,06	2,80	13,14	0,74	0,222	0,684	0,983	0,696	1547	7572,08	5172112,41	1950,62	7451	VERDADERO
ALT. 52	107,12	16,81	8,15	6,30	6,37	2,06	2,67	13,14	0,77	0,222	0,684	0,983	0,696	1547	7950,96	5172112,41	1950,62	7451	VERDADERO
ALT. 53	107,12	16,81	8,15	6,60	6,37	2,06	2,55	13,14	0,81	0,222	0,684	0,983	0,696	1547	8329,84	5172112,41	1950,62	7451	VERDADERO
ALT. 54	107,12	16,81	8,15	6,90	6,37	2,06	2,44	13,14	0,85	0,222	0,684	0,983	0,696	1547	8708,72	5172112,41	1950,62	7451	VERDADERO
ALT. 55	107,12	16,81	8,15	7,20	6,37	2,06	2,34	13,14	0,88	0,222	0,684	0,983	0,696	1547	9087,60	5172112,41	1950,62	7451	VERDADERO
ALT. 56	107,12	16,81	8,45	6,00	6,37	1,99	2,80	12,67	0,71	0,222	0,684	0,983	0,696	1553	7572,08	5188871,67	1975,27	7475	VERDADERO
ALT. 57	107,12	16,81	8,45	6,30	6,37	1,99	2,67	12,67	0,74	0,222	0,684	0,983	0,696	1553	7950,96	5188871,67	1975,27	7475	VERDADERO
ALT. 58	107,12	16,81	8,45	6,60	6,37	1,99	2,55	12,67	0,78	0,222	0,684	0,983	0,696	1553	8329,84	5188871,67	1975,27	7475	VERDADERO
ALT. 59	107,12	16,81	8,45	6,90	6,37	1,99	2,44	12,67	0,82	0,222	0,684	0,983	0,696	1553	8708,72	5188871,67	1975,27	7475	VERDADERO
ALT. 60	107,12	16,81	8,45	7,20	6,37	1,99	2,34	12,67	0,85	0,222	0,684	0,983	0,696	1553	9087,60	5188871,67	1975,27	7475	VERDADERO
ALT. 61	107,12	16,81	8,75	6,00	6,37	1,92	2,80	12,24	0,69	0,222	0,684	0,983	0,696	1560	7572,08	5206505,17	1999,47	7499	VERDADERO
ALT. 62	107,12	16,81	8,75	6,30	6,37	1,92	2,67	12,24	0,72	0,222	0,684	0,983	0,696	1560	7950,96	5206505,17	1999,47	7499	VERDADERO
ALT. 63	107,12	16,81	8,75	6,60	6,37	1,92	2,55	12,24	0,75	0,222	0,684	0,983	0,696	1560	8329,84	5206505,17	1999,47	7499	VERDADERO
ALT. 64	107,12	16,81	8,75	6,90	6,37	1,92	2,44	12,24	0,79	0,222	0,684	0,983	0,696	1560	8708,72	5206505,17	1999,47	7499	VERDADERO
ALT. 65	107,12	16,81	8,75	7,20	6,37	1,92	2,34	12,24	0,82	0,222	0,684	0,983	0,696	1560	9087,60	5206505,17	1999,47	7499	VERDADERO
ALT. 66	107,12	16,81	9,05	6,00	6,37	1,86	2,80	11,83	0,66	0,222	0,684	0,983	0,696	1566	7572,08	5224881,05	2023,27	7523	VERDADERO
ALT. 67	107,12	16,81	9,05	6,30	6,37	1,86	2,67	11,83	0,70	0,222	0,684	0,983	0,696	1566	7950,96	5224881,05	2023,27	7523	VERDADERO
ALT. 68	107,12	16,81	9,05	6,60	6,37	1,86	2,55	11,83	0,73	0,222	0,684	0,983	0,696	1566	8329,84	5224881,05	2023,27	7523	VERDADERO
ALT. 69	107,12	16,81	9,05	6,90	6,37	1,86	2,44	11,83	0,76	0,222	0,684	0,983	0,696	1566	8708,72	5224881,05	2023,27	7523	VERDADERO
ALT. 70	107,12	16,81	9,05	7,20	6,37	1,86	2,34	11,83	0,79	0,222	0,684	0,983	0,696	1566	9087,60	5224881,05	2023,27	7523	VERDADERO
ALT. 71	107,12	16,81	9,35	6,00	6,37	1,80	2,80	11,45	0,64	0,222	0,684	0,983	0,696	1573	7572,08	5243887,31	2046,67	7547	VERDADERO
ALT. 72	107,12	16,81	9,35	6,30	6,37	1,80	2,67	11,45	0,67	0,222	0,684	0,983	0,696	1573	7950,96	5243887,31	2046,67	7547	VERDADERO

ANEXO I. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES

	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	FN	Cb	Cm	Cp	Pc	Δ	CC	PR	PR+PM	PR+PM<Δ
ALT. 73	107,12	16,81	9,35	6,60	6,37	1,80	2,55	11,45	0,71	0,222	0,684	0,983	0,696	1573	8329,84	5243887,31	2046,67	7547	VERDADERO
ALT. 74	107,12	16,81	9,35	6,90	6,37	1,80	2,44	11,45	0,74	0,222	0,684	0,983	0,696	1573	8708,72	5243887,31	2046,67	7547	VERDADERO
ALT. 75	107,12	16,81	9,35	7,20	6,37	1,80	2,34	11,45	0,77	0,222	0,684	0,983	0,696	1573	9087,60	5243887,31	2046,67	7547	VERDADERO
ALT. 76	107,12	17,31	8,15	6,00	6,19	2,12	2,89	13,14	0,74	0,222	0,684	0,983	0,696	1593	7797,33	5287119,27	1997,24	7497	VERDADERO
ALT. 77	107,12	17,31	8,15	6,30	6,19	2,12	2,75	13,14	0,77	0,222	0,684	0,983	0,696	1593	8187,49	5287119,27	1997,24	7497	VERDADERO
ALT. 78	107,12	17,31	8,15	6,60	6,19	2,12	2,62	13,14	0,81	0,222	0,684	0,983	0,696	1593	8577,64	5287119,27	1997,24	7497	VERDADERO
ALT. 79	107,12	17,31	8,15	6,90	6,19	2,12	2,51	13,14	0,85	0,222	0,684	0,983	0,696	1593	8967,79	5287119,27	1997,24	7497	VERDADERO
ALT. 80	107,12	17,31	8,15	7,20	6,19	2,12	2,41	13,14	0,88	0,222	0,684	0,983	0,696	1593	9357,94	5287119,27	1997,24	7497	VERDADERO
ALT. 81	107,12	17,31	8,45	6,00	6,19	2,05	2,89	12,67	0,71	0,222	0,684	0,983	0,696	1599	7797,33	5304362,59	2022,61	7523	VERDADERO
ALT. 82	107,12	17,31	8,45	6,30	6,19	2,05	2,75	12,67	0,74	0,222	0,684	0,983	0,696	1599	8187,49	5304362,59	2022,61	7523	VERDADERO
ALT. 83	107,12	17,31	8,45	6,60	6,19	2,05	2,62	12,67	0,78	0,222	0,684	0,983	0,696	1599	8577,64	5304362,59	2022,61	7523	VERDADERO
ALT. 84	107,12	17,31	8,45	6,90	6,19	2,05	2,51	12,67	0,82	0,222	0,684	0,983	0,696	1599	8967,79	5304362,59	2022,61	7523	VERDADERO
ALT. 85	107,12	17,31	8,45	7,20	6,19	2,05	2,41	12,67	0,85	0,222	0,684	0,983	0,696	1599	9357,94	5304362,59	2022,61	7523	VERDADERO
ALT. 86	107,12	17,31	8,75	6,00	6,19	1,98	2,89	12,24	0,69	0,222	0,684	0,983	0,696	1606	7797,33	5322506,50	2047,54	7548	VERDADERO
ALT. 87	107,12	17,31	8,75	6,30	6,19	1,98	2,75	12,24	0,72	0,222	0,684	0,983	0,696	1606	8187,49	5322506,50	2047,54	7548	VERDADERO
ALT. 88	107,12	17,31	8,75	6,60	6,19	1,98	2,62	12,24	0,75	0,222	0,684	0,983	0,696	1606	8577,64	5322506,50	2047,54	7548	VERDADERO
ALT. 89	107,12	17,31	8,75	6,90	6,19	1,98	2,51	12,24	0,79	0,222	0,684	0,983	0,696	1606	8967,79	5322506,50	2047,54	7548	VERDADERO
ALT. 90	107,12	17,31	8,75	7,20	6,19	1,98	2,41	12,24	0,82	0,222	0,684	0,983	0,696	1606	9357,94	5322506,50	2047,54	7548	VERDADERO
ALT. 91	107,12	17,31	9,05	6,00	6,19	1,91	2,89	11,83	0,66	0,222	0,684	0,983	0,696	1613	7797,33	5341415,21	2072,04	7572	VERDADERO
ALT. 92	107,12	17,31	9,05	6,30	6,19	1,91	2,75	11,83	0,70	0,222	0,684	0,983	0,696	1613	8187,49	5341415,21	2072,04	7572	VERDADERO
ALT. 93	107,12	17,31	9,05	6,60	6,19	1,91	2,62	11,83	0,73	0,222	0,684	0,983	0,696	1613	8577,64	5341415,21	2072,04	7572	VERDADERO
ALT. 94	107,12	17,31	9,05	6,90	6,19	1,91	2,51	11,83	0,76	0,222	0,684	0,983	0,696	1613	8967,79	5341415,21	2072,04	7572	VERDADERO
ALT. 95	107,12	17,31	9,05	7,20	6,19	1,91	2,41	11,83	0,79	0,222	0,684	0,983	0,696	1613	9357,94	5341415,21	2072,04	7572	VERDADERO
ALT. 96	107,12	17,31	9,35	6,00	6,19	1,85	2,89	11,45	0,64	0,222	0,684	0,983	0,696	1620	7797,33	5360973,37	2096,14	7596	VERDADERO
ALT. 97	107,12	17,31	9,35	6,30	6,19	1,85	2,75	11,45	0,67	0,222	0,684	0,983	0,696	1620	8187,49	5360973,37	2096,14	7596	VERDADERO
ALT. 98	107,12	17,31	9,35	6,60	6,19	1,85	2,62	11,45	0,71	0,222	0,684	0,983	0,696	1620	8577,64	5360973,37	2096,14	7596	VERDADERO
ALT. 99	107,12	17,31	9,35	6,90	6,19	1,85	2,51	11,45	0,74	0,222	0,684	0,983	0,696	1620	8967,79	5360973,37	2096,14	7596	VERDADERO
ALT. 100	107,12	17,31	9,35	7,20	6,19	1,85	2,41	11,45	0,77	0,222	0,684	0,983	0,696	1620	9357,94	5360973,37	2096,14	7596	VERDADERO
ALT. 101	107,12	17,81	8,15	6,00	6,02	2,18	2,97	13,14	0,74	0,222	0,684	0,983	0,696	1639	8022,59	5402075,94	2043,85	7544	VERDADERO
ALT. 102	107,12	17,81	8,15	6,30	6,02	2,18	2,83	13,14	0,77	0,222	0,684	0,983	0,696	1639	8424,01	5402075,94	2043,85	7544	VERDADERO
ALT. 103	107,12	17,81	8,15	6,60	6,02	2,18	2,70	13,14	0,81	0,222	0,684	0,983	0,696	1639	8825,43	5402075,94	2043,85	7544	VERDADERO
ALT. 104	107,12	17,81	8,15	6,90	6,02	2,18	2,58	13,14	0,85	0,222	0,684	0,983	0,696	1639	9226,85	5402075,94	2043,85	7544	VERDADERO
ALT. 105	107,12	17,81	8,15	7,20	6,02	2,18	2,47	13,14	0,88	0,222	0,684	0,983	0,696	1639	9628,27	5402075,94	2043,85	7544	VERDADERO
ALT. 106	107,12	17,81	8,45	6,00	6,02	2,11	2,97	12,67	0,71	0,222	0,684	0,983	0,696	1645	8022,59	5419802,98	2069,96	7570	VERDADERO
ALT. 107	107,12	17,81	8,45	6,30	6,02	2,11	2,83	12,67	0,74	0,222	0,684	0,983	0,696	1645	8424,01	5419802,98	2069,96	7570	VERDADERO
ALT. 108	107,12	17,81	8,45	6,60	6,02	2,11	2,70	12,67	0,78	0,222	0,684	0,983	0,696	1645	8825,43	5419802,98	2069,96	7570	VERDADERO
ALT. 109	107,12	17,81	8,45	6,90	6,02	2,11	2,58	12,67	0,82	0,222	0,684	0,983	0,696	1645	9226,85	5419802,98	2069,96	7570	VERDADERO
ALT. 110	107,12	17,81	8,45	7,20	6,02	2,11	2,47	12,67	0,85	0,222	0,684	0,983	0,696	1645	9628,27	5419802,98	2069,96	7570	VERDADERO

ANEXO I. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES

	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	FN	Cb	Cm	Cp	Pc	Δ	CC	PR	PR+PM	PR+PM< Δ
ALT. 111	107,12	17,81	8,75	6,00	6,02	2,03	2,97	12,24	0,69	0,222	0,684	0,983	0,696	1652	8022,59	5438456,98	2095,60	7596	VERDADERO
ALT. 112	107,12	17,81	8,75	6,30	6,02	2,03	2,83	12,24	0,72	0,222	0,684	0,983	0,696	1652	8424,01	5438456,98	2095,60	7596	VERDADERO
ALT. 113	107,12	17,81	8,75	6,60	6,02	2,03	2,70	12,24	0,75	0,222	0,684	0,983	0,696	1652	8825,43	5438456,98	2095,60	7596	VERDADERO
ALT. 114	107,12	17,81	8,75	6,90	6,02	2,03	2,58	12,24	0,79	0,222	0,684	0,983	0,696	1652	9226,85	5438456,98	2095,60	7596	VERDADERO
ALT. 115	107,12	17,81	8,75	7,20	6,02	2,03	2,47	12,24	0,82	0,222	0,684	0,983	0,696	1652	9628,27	5438456,98	2095,60	7596	VERDADERO
ALT. 116	107,12	17,81	9,05	6,00	6,02	1,97	2,97	11,83	0,66	0,222	0,684	0,983	0,696	1659	8022,59	5457898,21	2120,82	7621	VERDADERO
ALT. 117	107,12	17,81	9,05	6,30	6,02	1,97	2,83	11,83	0,70	0,222	0,684	0,983	0,696	1659	8424,01	5457898,21	2120,82	7621	VERDADERO
ALT. 118	107,12	17,81	9,05	6,60	6,02	1,97	2,70	11,83	0,73	0,222	0,684	0,983	0,696	1659	8825,43	5457898,21	2120,82	7621	VERDADERO
ALT. 119	107,12	17,81	9,05	6,90	6,02	1,97	2,58	11,83	0,76	0,222	0,684	0,983	0,696	1659	9226,85	5457898,21	2120,82	7621	VERDADERO
ALT. 120	107,12	17,81	9,05	7,20	6,02	1,97	2,47	11,83	0,79	0,222	0,684	0,983	0,696	1659	9628,27	5457898,21	2120,82	7621	VERDADERO
ALT. 121	107,12	17,81	9,35	6,00	6,02	1,90	2,97	11,45	0,64	0,222	0,684	0,983	0,696	1667	8022,59	5478007,97	2145,61	7646	VERDADERO
ALT. 122	107,12	17,81	9,35	6,30	6,02	1,90	2,83	11,45	0,67	0,222	0,684	0,983	0,696	1667	8424,01	5478007,97	2145,61	7646	VERDADERO
ALT. 123	107,12	17,81	9,35	6,60	6,02	1,90	2,70	11,45	0,71	0,222	0,684	0,983	0,696	1667	8825,43	5478007,97	2145,61	7646	VERDADERO
ALT. 124	107,12	17,81	9,35	6,90	6,02	1,90	2,58	11,45	0,74	0,222	0,684	0,983	0,696	1667	9226,85	5478007,97	2145,61	7646	VERDADERO
ALT. 125	107,12	17,81	9,35	7,20	6,02	1,90	2,47	11,45	0,77	0,222	0,684	0,983	0,696	1667	9628,27	5478007,97	2145,61	7646	VERDADERO
ALT. 126	108,12	15,81	8,15	6,00	6,84	1,94	2,64	13,26	0,74	0,221	0,685	0,983	0,697	1482	7204,94	5006927,58	1877,13	7377	FALSO
ALT. 127	108,12	15,81	8,15	6,30	6,84	1,94	2,51	13,26	0,77	0,221	0,685	0,983	0,697	1482	7565,45	5006927,58	1877,13	7377	VERDADERO
ALT. 128	108,12	15,81	8,15	6,60	6,84	1,94	2,40	13,26	0,81	0,221	0,685	0,983	0,697	1482	7925,96	5006927,58	1877,13	7377	VERDADERO
ALT. 129	108,12	15,81	8,15	6,90	6,84	1,94	2,29	13,26	0,85	0,221	0,685	0,983	0,697	1482	8286,47	5006927,58	1877,13	7377	VERDADERO
ALT. 130	108,12	15,81	8,15	7,20	6,84	1,94	2,20	13,26	0,88	0,221	0,685	0,983	0,697	1482	8646,98	5006927,58	1877,13	7377	VERDADERO
ALT. 131	108,12	15,81	8,45	6,00	6,84	1,87	2,64	12,79	0,71	0,221	0,685	0,983	0,697	1487	7204,94	5022641,42	1900,63	7401	FALSO
ALT. 132	108,12	15,81	8,45	6,30	6,84	1,87	2,51	12,79	0,74	0,221	0,685	0,983	0,697	1487	7565,45	5022641,42	1900,63	7401	VERDADERO
ALT. 133	108,12	15,81	8,45	6,60	6,84	1,87	2,40	12,79	0,78	0,221	0,685	0,983	0,697	1487	7925,96	5022641,42	1900,63	7401	VERDADERO
ALT. 134	108,12	15,81	8,45	6,90	6,84	1,87	2,29	12,79	0,82	0,221	0,685	0,983	0,697	1487	8286,47	5022641,42	1900,63	7401	VERDADERO
ALT. 135	108,12	15,81	8,45	7,20	6,84	1,87	2,20	12,79	0,85	0,221	0,685	0,983	0,697	1487	8646,98	5022641,42	1900,63	7401	VERDADERO
ALT. 136	108,12	15,81	8,75	6,00	6,84	1,81	2,64	12,35	0,69	0,221	0,685	0,983	0,697	1493	7204,94	5039211,27	1923,72	7424	FALSO
ALT. 137	108,12	15,81	8,75	6,30	6,84	1,81	2,51	12,35	0,72	0,221	0,685	0,983	0,697	1493	7565,45	5039211,27	1923,72	7424	VERDADERO
ALT. 138	108,12	15,81	8,75	6,60	6,84	1,81	2,40	12,35	0,75	0,221	0,685	0,983	0,697	1493	7925,96	5039211,27	1923,72	7424	VERDADERO
ALT. 139	108,12	15,81	8,75	6,90	6,84	1,81	2,29	12,35	0,79	0,221	0,685	0,983	0,697	1493	8286,47	5039211,27	1923,72	7424	VERDADERO
ALT. 140	108,12	15,81	8,75	7,20	6,84	1,81	2,20	12,35	0,82	0,221	0,685	0,983	0,697	1493	8646,98	5039211,27	1923,72	7424	VERDADERO
ALT. 141	108,12	15,81	9,05	6,00	6,84	1,75	2,64	11,94	0,66	0,221	0,685	0,983	0,697	1500	7204,94	5056508,94	1946,41	7446	FALSO
ALT. 142	108,12	15,81	9,05	6,30	6,84	1,75	2,51	11,94	0,70	0,221	0,685	0,983	0,697	1500	7565,45	5056508,94	1946,41	7446	VERDADERO
ALT. 143	108,12	15,81	9,05	6,60	6,84	1,75	2,40	11,94	0,73	0,221	0,685	0,983	0,697	1500	7925,96	5056508,94	1946,41	7446	VERDADERO
ALT. 144	108,12	15,81	9,05	6,90	6,84	1,75	2,29	11,94	0,76	0,221	0,685	0,983	0,697	1500	8286,47	5056508,94	1946,41	7446	VERDADERO
ALT. 145	108,12	15,81	9,05	7,20	6,84	1,75	2,20	11,94	0,79	0,221	0,685	0,983	0,697	1500	8646,98	5056508,94	1946,41	7446	VERDADERO
ALT. 146	108,12	15,81	9,35	6,00	6,84	1,69	2,64	11,56	0,64	0,221	0,685	0,983	0,697	1506	7204,94	5074425,51	1968,73	7469	FALSO
ALT. 147	108,12	15,81	9,35	6,30	6,84	1,69	2,51	11,56	0,67	0,221	0,685	0,983	0,697	1506	7565,45	5074425,51	1968,73	7469	VERDADERO
ALT. 148	108,12	15,81	9,35	6,60	6,84	1,69	2,40	11,56	0,71	0,221	0,685	0,983	0,697	1506	7925,96	5074425,51	1968,73	7469	VERDADERO

ANEXO I. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES

	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	FN	Cb	Cm	Cp	Pc	Δ	CC	PR	PR+PM	PR+PM<Δ
ALT. 149	108,12	15,81	9,35	6,90	6,84	1,69	2,29	11,56	0,74	0,221	0,685	0,983	0,697	1506	8286,47	5074425,51	1968,73	7469	VERDADERO
ALT. 150	108,12	15,81	9,35	7,20	6,84	1,69	2,20	11,56	0,77	0,221	0,685	0,983	0,697	1506	8646,98	5074425,51	1968,73	7469	VERDADERO
ALT. 151	108,12	16,31	8,15	6,00	6,63	2,00	2,72	13,26	0,74	0,221	0,685	0,983	0,697	1528	7432,83	5124064,34	1924,37	7424	VERDADERO
ALT. 152	108,12	16,31	8,15	6,30	6,63	2,00	2,59	13,26	0,77	0,221	0,685	0,983	0,697	1528	7804,74	5124064,34	1924,37	7424	VERDADERO
ALT. 153	108,12	16,31	8,15	6,60	6,63	2,00	2,47	13,26	0,81	0,221	0,685	0,983	0,697	1528	8176,65	5124064,34	1924,37	7424	VERDADERO
ALT. 154	108,12	16,31	8,15	6,90	6,63	2,00	2,36	13,26	0,85	0,221	0,685	0,983	0,697	1528	8548,56	5124064,34	1924,37	7424	VERDADERO
ALT. 155	108,12	16,31	8,15	7,20	6,63	2,00	2,27	13,26	0,88	0,221	0,685	0,983	0,697	1528	8920,48	5124064,34	1924,37	7424	VERDADERO
ALT. 156	108,12	16,31	8,45	6,00	6,63	1,93	2,72	12,79	0,71	0,221	0,685	0,983	0,697	1534	7432,83	5140260,33	1948,61	7449	FALSO
ALT. 157	108,12	16,31	8,45	6,30	6,63	1,93	2,59	12,79	0,74	0,221	0,685	0,983	0,697	1534	7804,74	5140260,33	1948,61	7449	VERDADERO
ALT. 158	108,12	16,31	8,45	6,60	6,63	1,93	2,47	12,79	0,78	0,221	0,685	0,983	0,697	1534	8176,65	5140260,33	1948,61	7449	VERDADERO
ALT. 159	108,12	16,31	8,45	6,90	6,63	1,93	2,36	12,79	0,82	0,221	0,685	0,983	0,697	1534	8548,56	5140260,33	1948,61	7449	VERDADERO
ALT. 160	108,12	16,31	8,45	7,20	6,63	1,93	2,27	12,79	0,85	0,221	0,685	0,983	0,697	1534	8920,48	5140260,33	1948,61	7449	VERDADERO
ALT. 161	108,12	16,31	8,75	6,00	6,63	1,86	2,72	12,35	0,69	0,221	0,685	0,983	0,697	1540	7432,83	5157339,77	1972,43	7472	FALSO
ALT. 162	108,12	16,31	8,75	6,30	6,63	1,86	2,59	12,35	0,72	0,221	0,685	0,983	0,697	1540	7804,74	5157339,77	1972,43	7472	VERDADERO
ALT. 163	108,12	16,31	8,75	6,60	6,63	1,86	2,47	12,35	0,75	0,221	0,685	0,983	0,697	1540	8176,65	5157339,77	1972,43	7472	VERDADERO
ALT. 164	108,12	16,31	8,75	6,90	6,63	1,86	2,36	12,35	0,79	0,221	0,685	0,983	0,697	1540	8548,56	5157339,77	1972,43	7472	VERDADERO
ALT. 165	108,12	16,31	8,75	7,20	6,63	1,86	2,27	12,35	0,82	0,221	0,685	0,983	0,697	1540	8920,48	5157339,77	1972,43	7472	VERDADERO
ALT. 166	108,12	16,31	9,05	6,00	6,63	1,80	2,72	11,94	0,66	0,221	0,685	0,983	0,697	1547	7432,83	5175170,40	1995,84	7496	FALSO
ALT. 167	108,12	16,31	9,05	6,30	6,63	1,80	2,59	11,94	0,70	0,221	0,685	0,983	0,697	1547	7804,74	5175170,40	1995,84	7496	VERDADERO
ALT. 168	108,12	16,31	9,05	6,60	6,63	1,80	2,47	11,94	0,73	0,221	0,685	0,983	0,697	1547	8176,65	5175170,40	1995,84	7496	VERDADERO
ALT. 169	108,12	16,31	9,05	6,90	6,63	1,80	2,36	11,94	0,76	0,221	0,685	0,983	0,697	1547	8548,56	5175170,40	1995,84	7496	VERDADERO
ALT. 170	108,12	16,31	9,05	7,20	6,63	1,80	2,27	11,94	0,79	0,221	0,685	0,983	0,697	1547	8920,48	5175170,40	1995,84	7496	VERDADERO
ALT. 171	108,12	16,31	9,35	6,00	6,63	1,74	2,72	11,56	0,64	0,221	0,685	0,983	0,697	1554	7432,83	5193639,84	2018,87	7519	FALSO
ALT. 172	108,12	16,31	9,35	6,30	6,63	1,74	2,59	11,56	0,67	0,221	0,685	0,983	0,697	1554	7804,74	5193639,84	2018,87	7519	VERDADERO
ALT. 173	108,12	16,31	9,35	6,60	6,63	1,74	2,47	11,56	0,71	0,221	0,685	0,983	0,697	1554	8176,65	5193639,84	2018,87	7519	VERDADERO
ALT. 174	108,12	16,31	9,35	6,90	6,63	1,74	2,36	11,56	0,74	0,221	0,685	0,983	0,697	1554	8548,56	5193639,84	2018,87	7519	VERDADERO
ALT. 175	108,12	16,31	9,35	7,20	6,63	1,74	2,27	11,56	0,77	0,221	0,685	0,983	0,697	1554	8920,48	5193639,84	2018,87	7519	VERDADERO
ALT. 176	108,12	16,81	8,15	6,00	6,43	2,06	2,80	13,26	0,74	0,221	0,685	0,983	0,697	1575	7660,72	5241147,47	1971,60	7472	VERDADERO
ALT. 177	108,12	16,81	8,15	6,30	6,43	2,06	2,67	13,26	0,77	0,221	0,685	0,983	0,697	1575	8044,03	5241147,47	1971,60	7472	VERDADERO
ALT. 178	108,12	16,81	8,15	6,60	6,43	2,06	2,55	13,26	0,81	0,221	0,685	0,983	0,697	1575	8427,35	5241147,47	1971,60	7472	VERDADERO
ALT. 179	108,12	16,81	8,15	6,90	6,43	2,06	2,44	13,26	0,85	0,221	0,685	0,983	0,697	1575	8810,66	5241147,47	1971,60	7472	VERDADERO
ALT. 180	108,12	16,81	8,15	7,20	6,43	2,06	2,34	13,26	0,88	0,221	0,685	0,983	0,697	1575	9193,98	5241147,47	1971,60	7472	VERDADERO
ALT. 181	108,12	16,81	8,45	6,00	6,43	1,99	2,80	12,79	0,71	0,221	0,685	0,983	0,697	1581	7660,72	5257825,26	1996,59	7497	VERDADERO
ALT. 182	108,12	16,81	8,45	6,30	6,43	1,99	2,67	12,79	0,74	0,221	0,685	0,983	0,697	1581	8044,03	5257825,26	1996,59	7497	VERDADERO
ALT. 183	108,12	16,81	8,45	6,60	6,43	1,99	2,55	12,79	0,78	0,221	0,685	0,983	0,697	1581	8427,35	5257825,26	1996,59	7497	VERDADERO
ALT. 184	108,12	16,81	8,45	6,90	6,43	1,99	2,44	12,79	0,82	0,221	0,685	0,983	0,697	1581	8810,66	5257825,26	1996,59	7497	VERDADERO
ALT. 185	108,12	16,81	8,45	7,20	6,43	1,99	2,34	12,79	0,85	0,221	0,685	0,983	0,697	1581	9193,98	5257825,26	1996,59	7497	VERDADERO
ALT. 186	108,12	16,81	8,75	6,00	6,43	1,92	2,80	12,35	0,69	0,221	0,685	0,983	0,697	1587	7660,72	5275413,95	2021,14	7521	VERDADERO

ANEXO I. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES

	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	FN	Cb	Cm	Cp	Pc	Δ	CC	PR	PR+PM	PR+PM<Δ
ALT. 187	108,12	16,81	8,75	6,30	6,43	1,92	2,67	12,35	0,72	0,221	0,685	0,983	0,697	1587	8044,03	5275413,95	2021,14	7521	VERDADERO
ALT. 188	108,12	16,81	8,75	6,60	6,43	1,92	2,55	12,35	0,75	0,221	0,685	0,983	0,697	1587	8427,35	5275413,95	2021,14	7521	VERDADERO
ALT. 189	108,12	16,81	8,75	6,90	6,43	1,92	2,44	12,35	0,79	0,221	0,685	0,983	0,697	1587	8810,66	5275413,95	2021,14	7521	VERDADERO
ALT. 190	108,12	16,81	8,75	7,20	6,43	1,92	2,34	12,35	0,82	0,221	0,685	0,983	0,697	1587	9193,98	5275413,95	2021,14	7521	VERDADERO
ALT. 191	108,12	16,81	9,05	6,00	6,43	1,86	2,80	11,94	0,66	0,221	0,685	0,983	0,697	1594	7660,72	5293777,19	2045,27	7545	VERDADERO
ALT. 192	108,12	16,81	9,05	6,30	6,43	1,86	2,67	11,94	0,70	0,221	0,685	0,983	0,697	1594	8044,03	5293777,19	2045,27	7545	VERDADERO
ALT. 193	108,12	16,81	9,05	6,60	6,43	1,86	2,55	11,94	0,73	0,221	0,685	0,983	0,697	1594	8427,35	5293777,19	2045,27	7545	VERDADERO
ALT. 194	108,12	16,81	9,05	6,90	6,43	1,86	2,44	11,94	0,76	0,221	0,685	0,983	0,697	1594	8810,66	5293777,19	2045,27	7545	VERDADERO
ALT. 195	108,12	16,81	9,05	7,20	6,43	1,86	2,34	11,94	0,79	0,221	0,685	0,983	0,697	1594	9193,98	5293777,19	2045,27	7545	VERDADERO
ALT. 196	108,12	16,81	9,35	6,00	6,43	1,80	2,80	11,56	0,64	0,221	0,685	0,983	0,697	1601	7660,72	5312799,15	2069,00	7569	VERDADERO
ALT. 197	108,12	16,81	9,35	6,30	6,43	1,80	2,67	11,56	0,67	0,221	0,685	0,983	0,697	1601	8044,03	5312799,15	2069,00	7569	VERDADERO
ALT. 198	108,12	16,81	9,35	6,60	6,43	1,80	2,55	11,56	0,71	0,221	0,685	0,983	0,697	1601	8427,35	5312799,15	2069,00	7569	VERDADERO
ALT. 199	108,12	16,81	9,35	6,90	6,43	1,80	2,44	11,56	0,74	0,221	0,685	0,983	0,697	1601	8810,66	5312799,15	2069,00	7569	VERDADERO
ALT. 200	108,12	16,81	9,35	7,20	6,43	1,80	2,34	11,56	0,77	0,221	0,685	0,983	0,697	1601	9193,98	5312799,15	2069,00	7569	VERDADERO
ALT. 201	108,12	17,31	8,15	6,00	6,25	2,12	2,89	13,26	0,74	0,221	0,685	0,983	0,697	1622	7888,61	5358178,15	2018,84	7519	VERDADERO
ALT. 202	108,12	17,31	8,15	6,30	6,25	2,12	2,75	13,26	0,77	0,221	0,685	0,983	0,697	1622	8283,32	5358178,15	2018,84	7519	VERDADERO
ALT. 203	108,12	17,31	8,15	6,60	6,25	2,12	2,62	13,26	0,81	0,221	0,685	0,983	0,697	1622	8678,04	5358178,15	2018,84	7519	VERDADERO
ALT. 204	108,12	17,31	8,15	6,90	6,25	2,12	2,51	13,26	0,85	0,221	0,685	0,983	0,697	1622	9072,76	5358178,15	2018,84	7519	VERDADERO
ALT. 205	108,12	17,31	8,15	7,20	6,25	2,12	2,41	13,26	0,88	0,221	0,685	0,983	0,697	1622	9467,48	5358178,15	2018,84	7519	VERDADERO
ALT. 206	108,12	17,31	8,45	6,00	6,25	2,05	2,89	12,79	0,71	0,221	0,685	0,983	0,697	1628	7888,61	5375337,39	2044,57	7545	VERDADERO
ALT. 207	108,12	17,31	8,45	6,30	6,25	2,05	2,75	12,79	0,74	0,221	0,685	0,983	0,697	1628	8283,32	5375337,39	2044,57	7545	VERDADERO
ALT. 208	108,12	17,31	8,45	6,60	6,25	2,05	2,62	12,79	0,78	0,221	0,685	0,983	0,697	1628	8678,04	5375337,39	2044,57	7545	VERDADERO
ALT. 209	108,12	17,31	8,45	6,90	6,25	2,05	2,51	12,79	0,82	0,221	0,685	0,983	0,697	1628	9072,76	5375337,39	2044,57	7545	VERDADERO
ALT. 210	108,12	17,31	8,45	7,20	6,25	2,05	2,41	12,79	0,85	0,221	0,685	0,983	0,697	1628	9467,48	5375337,39	2044,57	7545	VERDADERO
ALT. 211	108,12	17,31	8,75	6,00	6,25	1,98	2,89	12,35	0,69	0,221	0,685	0,983	0,697	1634	7888,61	5393434,98	2069,85	7570	VERDADERO
ALT. 212	108,12	17,31	8,75	6,30	6,25	1,98	2,75	12,35	0,72	0,221	0,685	0,983	0,697	1634	8283,32	5393434,98	2069,85	7570	VERDADERO
ALT. 213	108,12	17,31	8,75	6,60	6,25	1,98	2,62	12,35	0,75	0,221	0,685	0,983	0,697	1634	8678,04	5393434,98	2069,85	7570	VERDADERO
ALT. 214	108,12	17,31	8,75	6,90	6,25	1,98	2,51	12,35	0,79	0,221	0,685	0,983	0,697	1634	9072,76	5393434,98	2069,85	7570	VERDADERO
ALT. 215	108,12	17,31	8,75	7,20	6,25	1,98	2,41	12,35	0,82	0,221	0,685	0,983	0,697	1634	9467,48	5393434,98	2069,85	7570	VERDADERO
ALT. 216	108,12	17,31	9,05	6,00	6,25	1,91	2,89	11,94	0,66	0,221	0,685	0,983	0,697	1641	7888,61	5412330,52	2094,70	7595	VERDADERO
ALT. 217	108,12	17,31	9,05	6,30	6,25	1,91	2,75	11,94	0,70	0,221	0,685	0,983	0,697	1641	8283,32	5412330,52	2094,70	7595	VERDADERO
ALT. 218	108,12	17,31	9,05	6,60	6,25	1,91	2,62	11,94	0,73	0,221	0,685	0,983	0,697	1641	8678,04	5412330,52	2094,70	7595	VERDADERO
ALT. 219	108,12	17,31	9,05	6,90	6,25	1,91	2,51	11,94	0,76	0,221	0,685	0,983	0,697	1641	9072,76	5412330,52	2094,70	7595	VERDADERO
ALT. 220	108,12	17,31	9,05	7,20	6,25	1,91	2,41	11,94	0,79	0,221	0,685	0,983	0,697	1641	9467,48	5412330,52	2094,70	7595	VERDADERO
ALT. 221	108,12	17,31	9,35	6,00	6,25	1,85	2,89	11,56	0,64	0,221	0,685	0,983	0,697	1649	7888,61	5431904,68	2119,14	7619	VERDADERO
ALT. 222	108,12	17,31	9,35	6,30	6,25	1,85	2,75	11,56	0,67	0,221	0,685	0,983	0,697	1649	8283,32	5431904,68	2119,14	7619	VERDADERO
ALT. 223	108,12	17,31	9,35	6,60	6,25	1,85	2,62	11,56	0,71	0,221	0,685	0,983	0,697	1649	8678,04	5431904,68	2119,14	7619	VERDADERO
ALT. 224	108,12	17,31	9,35	6,90	6,25	1,85	2,51	11,56	0,74	0,221	0,685	0,983	0,697	1649	9072,76	5431904,68	2119,14	7619	VERDADERO

ANEXO I. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES

	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	FN	Cb	Cm	Cp	Pc	Δ	CC	PR	PR+PM	PR+PM<Δ
ALT. 225	108,12	17,31	9,35	7,20	6,25	1,85	2,41	11,56	0,77	0,221	0,685	0,983	0,697	1649	9467,48	5431904,68	2119,14	7619	VERDADERO
ALT. 226	108,12	17,81	8,15	6,00	6,07	2,18	2,97	13,26	0,74	0,221	0,685	0,983	0,697	1668	8116,50	5475157,48	2066,08	7566	VERDADERO
ALT. 227	108,12	17,81	8,15	6,30	6,07	2,18	2,83	13,26	0,77	0,221	0,685	0,983	0,697	1668	8522,62	5475157,48	2066,08	7566	VERDADERO
ALT. 228	108,12	17,81	8,15	6,60	6,07	2,18	2,70	13,26	0,81	0,221	0,685	0,983	0,697	1668	8928,74	5475157,48	2066,08	7566	VERDADERO
ALT. 229	108,12	17,81	8,15	6,90	6,07	2,18	2,58	13,26	0,85	0,221	0,685	0,983	0,697	1668	9334,86	5475157,48	2066,08	7566	VERDADERO
ALT. 230	108,12	17,81	8,15	7,20	6,07	2,18	2,47	13,26	0,88	0,221	0,685	0,983	0,697	1668	9740,98	5475157,48	2066,08	7566	VERDADERO
ALT. 231	108,12	17,81	8,45	6,00	6,07	2,11	2,97	12,79	0,71	0,221	0,685	0,983	0,697	1675	8116,50	5492797,84	2092,55	7593	VERDADERO
ALT. 232	108,12	17,81	8,45	6,30	6,07	2,11	2,83	12,79	0,74	0,221	0,685	0,983	0,697	1675	8522,62	5492797,84	2092,55	7593	VERDADERO
ALT. 233	108,12	17,81	8,45	6,60	6,07	2,11	2,70	12,79	0,78	0,221	0,685	0,983	0,697	1675	8928,74	5492797,84	2092,55	7593	VERDADERO
ALT. 234	108,12	17,81	8,45	6,90	6,07	2,11	2,58	12,79	0,82	0,221	0,685	0,983	0,697	1675	9334,86	5492797,84	2092,55	7593	VERDADERO
ALT. 235	108,12	17,81	8,45	7,20	6,07	2,11	2,47	12,79	0,85	0,221	0,685	0,983	0,697	1675	9740,98	5492797,84	2092,55	7593	VERDADERO
ALT. 236	108,12	17,81	8,75	6,00	6,07	2,03	2,97	12,35	0,69	0,221	0,685	0,983	0,697	1681	8116,50	5511404,01	2118,56	7619	VERDADERO
ALT. 237	108,12	17,81	8,75	6,30	6,07	2,03	2,83	12,35	0,72	0,221	0,685	0,983	0,697	1681	8522,62	5511404,01	2118,56	7619	VERDADERO
ALT. 238	108,12	17,81	8,75	6,60	6,07	2,03	2,70	12,35	0,75	0,221	0,685	0,983	0,697	1681	8928,74	5511404,01	2118,56	7619	VERDADERO
ALT. 239	108,12	17,81	8,75	6,90	6,07	2,03	2,58	12,35	0,79	0,221	0,685	0,983	0,697	1681	9334,86	5511404,01	2118,56	7619	VERDADERO
ALT. 240	108,12	17,81	8,75	7,20	6,07	2,03	2,47	12,35	0,82	0,221	0,685	0,983	0,697	1681	9740,98	5511404,01	2118,56	7619	VERDADERO
ALT. 241	108,12	17,81	9,05	6,00	6,07	1,97	2,97	11,94	0,66	0,221	0,685	0,983	0,697	1689	8116,50	5530831,52	2144,12	7644	VERDADERO
ALT. 242	108,12	17,81	9,05	6,30	6,07	1,97	2,83	11,94	0,70	0,221	0,685	0,983	0,697	1689	8522,62	5530831,52	2144,12	7644	VERDADERO
ALT. 243	108,12	17,81	9,05	6,60	6,07	1,97	2,70	11,94	0,73	0,221	0,685	0,983	0,697	1689	8928,74	5530831,52	2144,12	7644	VERDADERO
ALT. 244	108,12	17,81	9,05	6,90	6,07	1,97	2,58	11,94	0,76	0,221	0,685	0,983	0,697	1689	9334,86	5530831,52	2144,12	7644	VERDADERO
ALT. 245	108,12	17,81	9,05	7,20	6,07	1,97	2,47	11,94	0,79	0,221	0,685	0,983	0,697	1689	9740,98	5530831,52	2144,12	7644	VERDADERO
ALT. 246	108,12	17,81	9,35	6,00	6,07	1,90	2,97	11,56	0,64	0,221	0,685	0,983	0,697	1696	8116,50	5550957,57	2169,27	7669	VERDADERO
ALT. 247	108,12	17,81	9,35	6,30	6,07	1,90	2,83	11,56	0,67	0,221	0,685	0,983	0,697	1696	8522,62	5550957,57	2169,27	7669	VERDADERO
ALT. 248	108,12	17,81	9,35	6,60	6,07	1,90	2,70	11,56	0,71	0,221	0,685	0,983	0,697	1696	8928,74	5550957,57	2169,27	7669	VERDADERO
ALT. 249	108,12	17,81	9,35	6,90	6,07	1,90	2,58	11,56	0,74	0,221	0,685	0,983	0,697	1696	9334,86	5550957,57	2169,27	7669	VERDADERO
ALT. 250	108,12	17,81	9,35	7,20	6,07	1,90	2,47	11,56	0,77	0,221	0,685	0,983	0,697	1696	9740,98	5550957,57	2169,27	7669	VERDADERO
ALT. 251	109,12	15,81	8,15	6,00	6,90	1,94	2,64	13,39	0,74	0,220	0,687	0,983	0,699	1508	7288,38	5072518,55	1896,95	7397	FALSO
ALT. 252	109,12	15,81	8,15	6,30	6,90	1,94	2,51	13,39	0,77	0,220	0,687	0,983	0,699	1508	7653,06	5072518,55	1896,95	7397	VERDADERO
ALT. 253	109,12	15,81	8,15	6,60	6,90	1,94	2,40	13,39	0,81	0,220	0,687	0,983	0,699	1508	8017,75	5072518,55	1896,95	7397	VERDADERO
ALT. 254	109,12	15,81	8,15	6,90	6,90	1,94	2,29	13,39	0,85	0,220	0,687	0,983	0,699	1508	8382,43	5072518,55	1896,95	7397	VERDADERO
ALT. 255	109,12	15,81	8,15	7,20	6,90	1,94	2,20	13,39	0,88	0,220	0,687	0,983	0,699	1508	8747,12	5072518,55	1896,95	7397	VERDADERO
ALT. 256	109,12	15,81	8,45	6,00	6,90	1,87	2,64	12,91	0,71	0,220	0,687	0,983	0,699	1514	7288,38	5088147,26	1920,77	7421	FALSO
ALT. 257	109,12	15,81	8,45	6,30	6,90	1,87	2,51	12,91	0,74	0,220	0,687	0,983	0,699	1514	7653,06	5088147,26	1920,77	7421	VERDADERO
ALT. 258	109,12	15,81	8,45	6,60	6,90	1,87	2,40	12,91	0,78	0,220	0,687	0,983	0,699	1514	8017,75	5088147,26	1920,77	7421	VERDADERO
ALT. 259	109,12	15,81	8,45	6,90	6,90	1,87	2,29	12,91	0,82	0,220	0,687	0,983	0,699	1514	8382,43	5088147,26	1920,77	7421	VERDADERO
ALT. 260	109,12	15,81	8,45	7,20	6,90	1,87	2,20	12,91	0,85	0,220	0,687	0,983	0,699	1514	8747,12	5088147,26	1920,77	7421	VERDADERO
ALT. 261	109,12	15,81	8,75	6,00	6,90	1,81	2,64	12,47	0,69	0,220	0,687	0,983	0,699	1519	7288,38	5104667,26	1944,18	7444	FALSO
ALT. 262	109,12	15,81	8,75	6,30	6,90	1,81	2,51	12,47	0,72	0,220	0,687	0,983	0,699	1519	7653,06	5104667,26	1944,18	7444	VERDADERO

ANEXO I. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES

	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	FN	Cb	Cm	Cp	Pc	Δ	CC	PR	PR+PM	PR+PM< Δ
ALT. 263	109,12	15,81	8,75	6,60	6,90	1,81	2,40	12,47	0,75	0,220	0,687	0,983	0,699	1519	8017,75	5104667,26	1944,18	7444	VERDADERO
ALT. 264	109,12	15,81	8,75	6,90	6,90	1,81	2,29	12,47	0,79	0,220	0,687	0,983	0,699	1519	8382,43	5104667,26	1944,18	7444	VERDADERO
ALT. 265	109,12	15,81	8,75	7,20	6,90	1,81	2,20	12,47	0,82	0,220	0,687	0,983	0,699	1519	8747,12	5104667,26	1944,18	7444	VERDADERO
ALT. 266	109,12	15,81	9,05	6,00	6,90	1,75	2,64	12,05	0,66	0,220	0,687	0,983	0,699	1526	7288,38	5121946,08	1967,19	7467	FALSO
ALT. 267	109,12	15,81	9,05	6,30	6,90	1,75	2,51	12,05	0,70	0,220	0,687	0,983	0,699	1526	7653,06	5121946,08	1967,19	7467	VERDADERO
ALT. 268	109,12	15,81	9,05	6,60	6,90	1,75	2,40	12,05	0,73	0,220	0,687	0,983	0,699	1526	8017,75	5121946,08	1967,19	7467	VERDADERO
ALT. 269	109,12	15,81	9,05	6,90	6,90	1,75	2,29	12,05	0,76	0,220	0,687	0,983	0,699	1526	8382,43	5121946,08	1967,19	7467	VERDADERO
ALT. 270	109,12	15,81	9,05	7,20	6,90	1,75	2,20	12,05	0,79	0,220	0,687	0,983	0,699	1526	8747,12	5121946,08	1967,19	7467	VERDADERO
ALT. 271	109,12	15,81	9,35	6,00	6,90	1,69	2,64	11,67	0,64	0,220	0,687	0,983	0,699	1532	7288,38	5139871,08	1989,82	7490	FALSO
ALT. 272	109,12	15,81	9,35	6,30	6,90	1,69	2,51	11,67	0,67	0,220	0,687	0,983	0,699	1532	7653,06	5139871,08	1989,82	7490	VERDADERO
ALT. 273	109,12	15,81	9,35	6,60	6,90	1,69	2,40	11,67	0,71	0,220	0,687	0,983	0,699	1532	8017,75	5139871,08	1989,82	7490	VERDADERO
ALT. 274	109,12	15,81	9,35	6,90	6,90	1,69	2,29	11,67	0,74	0,220	0,687	0,983	0,699	1532	8382,43	5139871,08	1989,82	7490	VERDADERO
ALT. 275	109,12	15,81	9,35	7,20	6,90	1,69	2,20	11,67	0,77	0,220	0,687	0,983	0,699	1532	8747,12	5139871,08	1989,82	7490	VERDADERO
ALT. 276	109,12	16,31	8,15	6,00	6,69	2,00	2,72	13,39	0,74	0,220	0,687	0,983	0,699	1556	7518,91	5191700,24	1944,81	7445	VERDADERO
ALT. 277	109,12	16,31	8,15	6,30	6,69	2,00	2,59	13,39	0,77	0,220	0,687	0,983	0,699	1556	7895,13	5191700,24	1944,81	7445	VERDADERO
ALT. 278	109,12	16,31	8,15	6,60	6,69	2,00	2,47	13,39	0,81	0,220	0,687	0,983	0,699	1556	8271,34	5191700,24	1944,81	7445	VERDADERO
ALT. 279	109,12	16,31	8,15	6,90	6,69	2,00	2,36	13,39	0,85	0,220	0,687	0,983	0,699	1556	8647,56	5191700,24	1944,81	7445	VERDADERO
ALT. 280	109,12	16,31	8,15	7,20	6,69	2,00	2,27	13,39	0,88	0,220	0,687	0,983	0,699	1556	9023,78	5191700,24	1944,81	7445	VERDADERO
ALT. 281	109,12	16,31	8,45	6,00	6,69	1,93	2,72	12,91	0,71	0,220	0,687	0,983	0,699	1561	7518,91	5207808,23	1969,39	7469	VERDADERO
ALT. 282	109,12	16,31	8,45	6,30	6,69	1,93	2,59	12,91	0,74	0,220	0,687	0,983	0,699	1561	7895,13	5207808,23	1969,39	7469	VERDADERO
ALT. 283	109,12	16,31	8,45	6,60	6,69	1,93	2,47	12,91	0,78	0,220	0,687	0,983	0,699	1561	8271,34	5207808,23	1969,39	7469	VERDADERO
ALT. 284	109,12	16,31	8,45	6,90	6,69	1,93	2,36	12,91	0,82	0,220	0,687	0,983	0,699	1561	8647,56	5207808,23	1969,39	7469	VERDADERO
ALT. 285	109,12	16,31	8,45	7,20	6,69	1,93	2,27	12,91	0,85	0,220	0,687	0,983	0,699	1561	9023,78	5207808,23	1969,39	7469	VERDADERO
ALT. 286	109,12	16,31	8,75	6,00	6,69	1,86	2,72	12,47	0,69	0,220	0,687	0,983	0,699	1567	7518,91	5224836,08	1993,54	7494	VERDADERO
ALT. 287	109,12	16,31	8,75	6,30	6,69	1,86	2,59	12,47	0,72	0,220	0,687	0,983	0,699	1567	7895,13	5224836,08	1993,54	7494	VERDADERO
ALT. 288	109,12	16,31	8,75	6,60	6,69	1,86	2,47	12,47	0,75	0,220	0,687	0,983	0,699	1567	8271,34	5224836,08	1993,54	7494	VERDADERO
ALT. 289	109,12	16,31	8,75	6,90	6,69	1,86	2,36	12,47	0,79	0,220	0,687	0,983	0,699	1567	8647,56	5224836,08	1993,54	7494	VERDADERO
ALT. 290	109,12	16,31	8,75	7,20	6,69	1,86	2,27	12,47	0,82	0,220	0,687	0,983	0,699	1567	9023,78	5224836,08	1993,54	7494	VERDADERO
ALT. 291	109,12	16,31	9,05	6,00	6,69	1,80	2,72	12,05	0,66	0,220	0,687	0,983	0,699	1574	7518,91	5242647,09	2017,28	7517	VERDADERO
ALT. 292	109,12	16,31	9,05	6,30	6,69	1,80	2,59	12,05	0,70	0,220	0,687	0,983	0,699	1574	7895,13	5242647,09	2017,28	7517	VERDADERO
ALT. 293	109,12	16,31	9,05	6,60	6,69	1,80	2,47	12,05	0,73	0,220	0,687	0,983	0,699	1574	8271,34	5242647,09	2017,28	7517	VERDADERO
ALT. 294	109,12	16,31	9,05	6,90	6,69	1,80	2,36	12,05	0,76	0,220	0,687	0,983	0,699	1574	8647,56	5242647,09	2017,28	7517	VERDADERO
ALT. 295	109,12	16,31	9,05	7,20	6,69	1,80	2,27	12,05	0,79	0,220	0,687	0,983	0,699	1574	9023,78	5242647,09	2017,28	7517	VERDADERO
ALT. 296	109,12	16,31	9,35	6,00	6,69	1,74	2,72	11,67	0,64	0,220	0,687	0,983	0,699	1581	7518,91	5261125,05	2040,62	7541	FALSO
ALT. 297	109,12	16,31	9,35	6,30	6,69	1,74	2,59	11,67	0,67	0,220	0,687	0,983	0,699	1581	7895,13	5261125,05	2040,62	7541	VERDADERO
ALT. 298	109,12	16,31	9,35	6,60	6,69	1,74	2,47	11,67	0,71	0,220	0,687	0,983	0,699	1581	8271,34	5261125,05	2040,62	7541	VERDADERO
ALT. 299	109,12	16,31	9,35	6,90	6,69	1,74	2,36	11,67	0,74	0,220	0,687	0,983	0,699	1581	8647,56	5261125,05	2040,62	7541	VERDADERO
ALT. 300	109,12	16,31	9,35	7,20	6,69	1,74	2,27	11,67	0,77	0,220	0,687	0,983	0,699	1581	9023,78	5261125,05	2040,62	7541	VERDADERO

ANEXO I. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES

	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	FN	Cb	Cm	Cp	Pc	Δ	CC	PR	PR+PM	PR+PM<Δ
ALT. 301	109,12	16,81	8,15	6,00	6,49	2,06	2,80	13,39	0,74	0,220	0,687	0,983	0,699	1603	7749,43	5310827,11	1992,67	7493	VERDADERO
ALT. 302	109,12	16,81	8,15	6,30	6,49	2,06	2,67	13,39	0,77	0,220	0,687	0,983	0,699	1603	8137,19	5310827,11	1992,67	7493	VERDADERO
ALT. 303	109,12	16,81	8,15	6,60	6,49	2,06	2,55	13,39	0,81	0,220	0,687	0,983	0,699	1603	8524,94	5310827,11	1992,67	7493	VERDADERO
ALT. 304	109,12	16,81	8,15	6,90	6,49	2,06	2,44	13,39	0,85	0,220	0,687	0,983	0,699	1603	8912,70	5310827,11	1992,67	7493	VERDADERO
ALT. 305	109,12	16,81	8,15	7,20	6,49	2,06	2,34	13,39	0,88	0,220	0,687	0,983	0,699	1603	9300,45	5310827,11	1992,67	7493	VERDADERO
ALT. 306	109,12	16,81	8,45	6,00	6,49	1,99	2,80	12,91	0,71	0,220	0,687	0,983	0,699	1609	7749,43	5327414,02	2018,01	7518	VERDADERO
ALT. 307	109,12	16,81	8,45	6,30	6,49	1,99	2,67	12,91	0,74	0,220	0,687	0,983	0,699	1609	8137,19	5327414,02	2018,01	7518	VERDADERO
ALT. 308	109,12	16,81	8,45	6,60	6,49	1,99	2,55	12,91	0,78	0,220	0,687	0,983	0,699	1609	8524,94	5327414,02	2018,01	7518	VERDADERO
ALT. 309	109,12	16,81	8,45	6,90	6,49	1,99	2,44	12,91	0,82	0,220	0,687	0,983	0,699	1609	8912,70	5327414,02	2018,01	7518	VERDADERO
ALT. 310	109,12	16,81	8,45	7,20	6,49	1,99	2,34	12,91	0,85	0,220	0,687	0,983	0,699	1609	9300,45	5327414,02	2018,01	7518	VERDADERO
ALT. 311	109,12	16,81	8,75	6,00	6,49	1,92	2,80	12,47	0,69	0,220	0,687	0,983	0,699	1615	7749,43	5344949,36	2042,90	7543	VERDADERO
ALT. 312	109,12	16,81	8,75	6,30	6,49	1,92	2,67	12,47	0,72	0,220	0,687	0,983	0,699	1615	8137,19	5344949,36	2042,90	7543	VERDADERO
ALT. 313	109,12	16,81	8,75	6,60	6,49	1,92	2,55	12,47	0,75	0,220	0,687	0,983	0,699	1615	8524,94	5344949,36	2042,90	7543	VERDADERO
ALT. 314	109,12	16,81	8,75	6,90	6,49	1,92	2,44	12,47	0,79	0,220	0,687	0,983	0,699	1615	8912,70	5344949,36	2042,90	7543	VERDADERO
ALT. 315	109,12	16,81	8,75	7,20	6,49	1,92	2,34	12,47	0,82	0,220	0,687	0,983	0,699	1615	9300,45	5344949,36	2042,90	7543	VERDADERO
ALT. 316	109,12	16,81	9,05	6,00	6,49	1,86	2,80	12,05	0,66	0,220	0,687	0,983	0,699	1622	7749,43	5363292,21	2067,36	7567	VERDADERO
ALT. 317	109,12	16,81	9,05	6,30	6,49	1,86	2,67	12,05	0,70	0,220	0,687	0,983	0,699	1622	8137,19	5363292,21	2067,36	7567	VERDADERO
ALT. 318	109,12	16,81	9,05	6,60	6,49	1,86	2,55	12,05	0,73	0,220	0,687	0,983	0,699	1622	8524,94	5363292,21	2067,36	7567	VERDADERO
ALT. 319	109,12	16,81	9,05	6,90	6,49	1,86	2,44	12,05	0,76	0,220	0,687	0,983	0,699	1622	8912,70	5363292,21	2067,36	7567	VERDADERO
ALT. 320	109,12	16,81	9,05	7,20	6,49	1,86	2,34	12,05	0,79	0,220	0,687	0,983	0,699	1622	9300,45	5363292,21	2067,36	7567	VERDADERO
ALT. 321	109,12	16,81	9,35	6,00	6,49	1,80	2,80	11,67	0,64	0,220	0,687	0,983	0,699	1629	7749,43	5382322,79	2091,42	7591	VERDADERO
ALT. 322	109,12	16,81	9,35	6,30	6,49	1,80	2,67	11,67	0,67	0,220	0,687	0,983	0,699	1629	8137,19	5382322,79	2091,42	7591	VERDADERO
ALT. 323	109,12	16,81	9,35	6,60	6,49	1,80	2,55	11,67	0,71	0,220	0,687	0,983	0,699	1629	8524,94	5382322,79	2091,42	7591	VERDADERO
ALT. 324	109,12	16,81	9,35	6,90	6,49	1,80	2,44	11,67	0,74	0,220	0,687	0,983	0,699	1629	8912,70	5382322,79	2091,42	7591	VERDADERO
ALT. 325	109,12	16,81	9,35	7,20	6,49	1,80	2,34	11,67	0,77	0,220	0,687	0,983	0,699	1629	9300,45	5382322,79	2091,42	7591	VERDADERO
ALT. 326	109,12	17,31	8,15	6,00	6,30	2,12	2,89	13,39	0,74	0,220	0,687	0,983	0,699	1651	7979,96	5429900,34	2040,54	7541	VERDADERO
ALT. 327	109,12	17,31	8,15	6,30	6,30	2,12	2,75	13,39	0,77	0,220	0,687	0,983	0,699	1651	8379,25	5429900,34	2040,54	7541	VERDADERO
ALT. 328	109,12	17,31	8,15	6,60	6,30	2,12	2,62	13,39	0,81	0,220	0,687	0,983	0,699	1651	8778,54	5429900,34	2040,54	7541	VERDADERO
ALT. 329	109,12	17,31	8,15	6,90	6,30	2,12	2,51	13,39	0,85	0,220	0,687	0,983	0,699	1651	9177,83	5429900,34	2040,54	7541	VERDADERO
ALT. 330	109,12	17,31	8,15	7,20	6,30	2,12	2,41	13,39	0,88	0,220	0,687	0,983	0,699	1651	9577,12	5429900,34	2040,54	7541	VERDADERO
ALT. 331	109,12	17,31	8,45	6,00	6,30	2,05	2,89	12,91	0,71	0,220	0,687	0,983	0,699	1657	7979,96	5446965,81	2066,62	7567	VERDADERO
ALT. 332	109,12	17,31	8,45	6,30	6,30	2,05	2,75	12,91	0,74	0,220	0,687	0,983	0,699	1657	8379,25	5446965,81	2066,62	7567	VERDADERO
ALT. 333	109,12	17,31	8,45	6,60	6,30	2,05	2,62	12,91	0,78	0,220	0,687	0,983	0,699	1657	8778,54	5446965,81	2066,62	7567	VERDADERO
ALT. 334	109,12	17,31	8,45	6,90	6,30	2,05	2,51	12,91	0,82	0,220	0,687	0,983	0,699	1657	9177,83	5446965,81	2066,62	7567	VERDADERO
ALT. 335	109,12	17,31	8,45	7,20	6,30	2,05	2,41	12,91	0,85	0,220	0,687	0,983	0,699	1657	9577,12	5446965,81	2066,62	7567	VERDADERO
ALT. 336	109,12	17,31	8,75	6,00	6,30	1,98	2,89	12,47	0,69	0,220	0,687	0,983	0,699	1663	7979,96	5465008,30	2092,25	7592	VERDADERO
ALT. 337	109,12	17,31	8,75	6,30	6,30	1,98	2,75	12,47	0,72	0,220	0,687	0,983	0,699	1663	8379,25	5465008,30	2092,25	7592	VERDADERO
ALT. 338	109,12	17,31	8,75	6,60	6,30	1,98	2,62	12,47	0,75	0,220	0,687	0,983	0,699	1663	8778,54	5465008,30	2092,25	7592	VERDADERO

ANEXO I. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES

	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	FN	Cb	Cm	Cp	Pc	Δ	CC	PR	PR+PM	PR+PM<Δ
ALT. 339	109,12	17,31	8,75	6,90	6,30	1,98	2,51	12,47	0,79	0,220	0,687	0,983	0,699	1663	9177,83	5465008,30	2092,25	7592	VERDADERO
ALT. 340	109,12	17,31	8,75	7,20	6,30	1,98	2,41	12,47	0,82	0,220	0,687	0,983	0,699	1663	9577,12	5465008,30	2092,25	7592	VERDADERO
ALT. 341	109,12	17,31	9,05	6,00	6,30	1,91	2,89	12,05	0,66	0,220	0,687	0,983	0,699	1670	7979,96	5483882,66	2117,45	7617	VERDADERO
ALT. 342	109,12	17,31	9,05	6,30	6,30	1,91	2,75	12,05	0,70	0,220	0,687	0,983	0,699	1670	8379,25	5483882,66	2117,45	7617	VERDADERO
ALT. 343	109,12	17,31	9,05	6,60	6,30	1,91	2,62	12,05	0,73	0,220	0,687	0,983	0,699	1670	8778,54	5483882,66	2117,45	7617	VERDADERO
ALT. 344	109,12	17,31	9,05	6,90	6,30	1,91	2,51	12,05	0,76	0,220	0,687	0,983	0,699	1670	9177,83	5483882,66	2117,45	7617	VERDADERO
ALT. 345	109,12	17,31	9,05	7,20	6,30	1,91	2,41	12,05	0,79	0,220	0,687	0,983	0,699	1670	9577,12	5483882,66	2117,45	7617	VERDADERO
ALT. 346	109,12	17,31	9,35	6,00	6,30	1,85	2,89	11,67	0,64	0,220	0,687	0,983	0,699	1677	7979,96	5503465,54	2142,22	7642	VERDADERO
ALT. 347	109,12	17,31	9,35	6,30	6,30	1,85	2,75	11,67	0,67	0,220	0,687	0,983	0,699	1677	8379,25	5503465,54	2142,22	7642	VERDADERO
ALT. 348	109,12	17,31	9,35	6,60	6,30	1,85	2,62	11,67	0,71	0,220	0,687	0,983	0,699	1677	8778,54	5503465,54	2142,22	7642	VERDADERO
ALT. 349	109,12	17,31	9,35	6,90	6,30	1,85	2,51	11,67	0,74	0,220	0,687	0,983	0,699	1677	9177,83	5503465,54	2142,22	7642	VERDADERO
ALT. 350	109,12	17,31	9,35	7,20	6,30	1,85	2,41	11,67	0,77	0,220	0,687	0,983	0,699	1677	9577,12	5503465,54	2142,22	7642	VERDADERO
ALT. 351	109,12	17,81	8,15	6,00	6,13	2,18	2,97	13,39	0,74	0,220	0,687	0,983	0,699	1698	8210,49	5548921,04	2088,40	7588	VERDADERO
ALT. 352	109,12	17,81	8,15	6,30	6,13	2,18	2,83	13,39	0,77	0,220	0,687	0,983	0,699	1698	8621,32	5548921,04	2088,40	7588	VERDADERO
ALT. 353	109,12	17,81	8,15	6,60	6,13	2,18	2,70	13,39	0,81	0,220	0,687	0,983	0,699	1698	9032,14	5548921,04	2088,40	7588	VERDADERO
ALT. 354	109,12	17,81	8,15	6,90	6,13	2,18	2,58	13,39	0,85	0,220	0,687	0,983	0,699	1698	9442,96	5548921,04	2088,40	7588	VERDADERO
ALT. 355	109,12	17,81	8,15	7,20	6,13	2,18	2,47	13,39	0,88	0,220	0,687	0,983	0,699	1698	9853,79	5548921,04	2088,40	7588	VERDADERO
ALT. 356	109,12	17,81	8,45	6,00	6,13	2,11	2,97	12,91	0,71	0,220	0,687	0,983	0,699	1704	8210,49	5566464,75	2115,24	7615	VERDADERO
ALT. 357	109,12	17,81	8,45	6,30	6,13	2,11	2,83	12,91	0,74	0,220	0,687	0,983	0,699	1704	8621,32	5566464,75	2115,24	7615	VERDADERO
ALT. 358	109,12	17,81	8,45	6,60	6,13	2,11	2,70	12,91	0,78	0,220	0,687	0,983	0,699	1704	9032,14	5566464,75	2115,24	7615	VERDADERO
ALT. 359	109,12	17,81	8,45	6,90	6,13	2,11	2,58	12,91	0,82	0,220	0,687	0,983	0,699	1704	9442,96	5566464,75	2115,24	7615	VERDADERO
ALT. 360	109,12	17,81	8,45	7,20	6,13	2,11	2,47	12,91	0,85	0,220	0,687	0,983	0,699	1704	9853,79	5566464,75	2115,24	7615	VERDADERO
ALT. 361	109,12	17,81	8,75	6,00	6,13	2,03	2,97	12,47	0,69	0,220	0,687	0,983	0,699	1711	8210,49	5585014,05	2141,61	7642	VERDADERO
ALT. 362	109,12	17,81	8,75	6,30	6,13	2,03	2,83	12,47	0,72	0,220	0,687	0,983	0,699	1711	8621,32	5585014,05	2141,61	7642	VERDADERO
ALT. 363	109,12	17,81	8,75	6,60	6,13	2,03	2,70	12,47	0,75	0,220	0,687	0,983	0,699	1711	9032,14	5585014,05	2141,61	7642	VERDADERO
ALT. 364	109,12	17,81	8,75	6,90	6,13	2,03	2,58	12,47	0,79	0,220	0,687	0,983	0,699	1711	9442,96	5585014,05	2141,61	7642	VERDADERO
ALT. 365	109,12	17,81	8,75	7,20	6,13	2,03	2,47	12,47	0,82	0,220	0,687	0,983	0,699	1711	9853,79	5585014,05	2141,61	7642	VERDADERO
ALT. 366	109,12	17,81	9,05	6,00	6,13	1,97	2,97	12,05	0,66	0,220	0,687	0,983	0,699	1718	8210,49	5604419,60	2167,53	7668	VERDADERO
ALT. 367	109,12	17,81	9,05	6,30	6,13	1,97	2,83	12,05	0,70	0,220	0,687	0,983	0,699	1718	8621,32	5604419,60	2167,53	7668	VERDADERO
ALT. 368	109,12	17,81	9,05	6,60	6,13	1,97	2,70	12,05	0,73	0,220	0,687	0,983	0,699	1718	9032,14	5604419,60	2167,53	7668	VERDADERO
ALT. 369	109,12	17,81	9,05	6,90	6,13	1,97	2,58	12,05	0,76	0,220	0,687	0,983	0,699	1718	9442,96	5604419,60	2167,53	7668	VERDADERO
ALT. 370	109,12	17,81	9,05	7,20	6,13	1,97	2,47	12,05	0,79	0,220	0,687	0,983	0,699	1718	9853,79	5604419,60	2167,53	7668	VERDADERO
ALT. 371	109,12	17,81	9,35	6,00	6,13	1,90	2,97	11,67	0,64	0,220	0,687	0,983	0,699	1725	8210,49	5624554,46	2193,03	7693	VERDADERO
ALT. 372	109,12	17,81	9,35	6,30	6,13	1,90	2,83	11,67	0,67	0,220	0,687	0,983	0,699	1725	8621,32	5624554,46	2193,03	7693	VERDADERO
ALT. 373	109,12	17,81	9,35	6,60	6,13	1,90	2,70	11,67	0,71	0,220	0,687	0,983	0,699	1725	9032,14	5624554,46	2193,03	7693	VERDADERO
ALT. 374	109,12	17,81	9,35	6,90	6,13	1,90	2,58	11,67	0,74	0,220	0,687	0,983	0,699	1725	9442,96	5624554,46	2193,03	7693	VERDADERO
ALT. 375	109,12	17,81	9,35	7,20	6,13	1,90	2,47	11,67	0,77	0,220	0,687	0,983	0,699	1725	9853,79	5624554,46	2193,03	7693	VERDADERO
ALT. 376	110,12	15,81	8,15	6,00	6,97	1,94	2,64	13,51	0,74	0,219	0,688	0,983	0,700	1535	7371,89	5138718,26	1916,84	7417	FALSO

ANEXO I. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES

	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	FN	Cb	Cm	Cp	Pc	Δ	CC	PR	PR+PM	PR+PM< Δ
ALT. 377	110,12	15,81	8,15	6,30	6,97	1,94	2,51	13,51	0,77	0,219	0,688	0,983	0,700	1535	7740,76	5138718,26	1916,84	7417	VERDADERO
ALT. 378	110,12	15,81	8,15	6,60	6,97	1,94	2,40	13,51	0,81	0,219	0,688	0,983	0,700	1535	8109,62	5138718,26	1916,84	7417	VERDADERO
ALT. 379	110,12	15,81	8,15	6,90	6,97	1,94	2,29	13,51	0,85	0,219	0,688	0,983	0,700	1535	8478,48	5138718,26	1916,84	7417	VERDADERO
ALT. 380	110,12	15,81	8,15	7,20	6,97	1,94	2,20	13,51	0,88	0,219	0,688	0,983	0,700	1535	8847,35	5138718,26	1916,84	7417	VERDADERO
ALT. 381	110,12	15,81	8,45	6,00	6,97	1,87	2,64	13,03	0,71	0,219	0,688	0,983	0,700	1540	7371,89	5154252,87	1941,00	7441	FALSO
ALT. 382	110,12	15,81	8,45	6,30	6,97	1,87	2,51	13,03	0,74	0,219	0,688	0,983	0,700	1540	7740,76	5154252,87	1941,00	7441	VERDADERO
ALT. 383	110,12	15,81	8,45	6,60	6,97	1,87	2,40	13,03	0,78	0,219	0,688	0,983	0,700	1540	8109,62	5154252,87	1941,00	7441	VERDADERO
ALT. 384	110,12	15,81	8,45	6,90	6,97	1,87	2,29	13,03	0,82	0,219	0,688	0,983	0,700	1540	8478,48	5154252,87	1941,00	7441	VERDADERO
ALT. 385	110,12	15,81	8,45	7,20	6,97	1,87	2,20	13,03	0,85	0,219	0,688	0,983	0,700	1540	8847,35	5154252,87	1941,00	7441	VERDADERO
ALT. 386	110,12	15,81	8,75	6,00	6,97	1,81	2,64	12,58	0,69	0,219	0,688	0,983	0,700	1546	7371,89	5170714,90	1964,73	7465	FALSO
ALT. 387	110,12	15,81	8,75	6,30	6,97	1,81	2,51	12,58	0,72	0,219	0,688	0,983	0,700	1546	7740,76	5170714,90	1964,73	7465	VERDADERO
ALT. 388	110,12	15,81	8,75	6,60	6,97	1,81	2,40	12,58	0,75	0,219	0,688	0,983	0,700	1546	8109,62	5170714,90	1964,73	7465	VERDADERO
ALT. 389	110,12	15,81	8,75	6,90	6,97	1,81	2,29	12,58	0,79	0,219	0,688	0,983	0,700	1546	8478,48	5170714,90	1964,73	7465	VERDADERO
ALT. 390	110,12	15,81	8,75	7,20	6,97	1,81	2,20	12,58	0,82	0,219	0,688	0,983	0,700	1546	8847,35	5170714,90	1964,73	7465	VERDADERO
ALT. 391	110,12	15,81	9,05	6,00	6,97	1,75	2,64	12,17	0,66	0,219	0,688	0,983	0,700	1552	7371,89	5187967,45	1988,05	7488	FALSO
ALT. 392	110,12	15,81	9,05	6,30	6,97	1,75	2,51	12,17	0,70	0,219	0,688	0,983	0,700	1552	7740,76	5187967,45	1988,05	7488	VERDADERO
ALT. 393	110,12	15,81	9,05	6,60	6,97	1,75	2,40	12,17	0,73	0,219	0,688	0,983	0,700	1552	8109,62	5187967,45	1988,05	7488	VERDADERO
ALT. 394	110,12	15,81	9,05	6,90	6,97	1,75	2,29	12,17	0,76	0,219	0,688	0,983	0,700	1552	8478,48	5187967,45	1988,05	7488	VERDADERO
ALT. 395	110,12	15,81	9,05	7,20	6,97	1,75	2,20	12,17	0,79	0,219	0,688	0,983	0,700	1552	8847,35	5187967,45	1988,05	7488	VERDADERO
ALT. 396	110,12	15,81	9,35	6,00	6,97	1,69	2,64	11,78	0,64	0,219	0,688	0,983	0,700	1559	7371,89	5205894,12	2011,00	7511	FALSO
ALT. 397	110,12	15,81	9,35	6,30	6,97	1,69	2,51	11,78	0,67	0,219	0,688	0,983	0,700	1559	7740,76	5205894,12	2011,00	7511	VERDADERO
ALT. 398	110,12	15,81	9,35	6,60	6,97	1,69	2,40	11,78	0,71	0,219	0,688	0,983	0,700	1559	8109,62	5205894,12	2011,00	7511	VERDADERO
ALT. 399	110,12	15,81	9,35	6,90	6,97	1,69	2,29	11,78	0,74	0,219	0,688	0,983	0,700	1559	8478,48	5205894,12	2011,00	7511	VERDADERO
ALT. 400	110,12	15,81	9,35	7,20	6,97	1,69	2,20	11,78	0,77	0,219	0,688	0,983	0,700	1559	8847,35	5205894,12	2011,00	7511	VERDADERO
ALT. 401	110,12	16,31	8,15	6,00	6,75	2,00	2,72	13,51	0,74	0,219	0,688	0,983	0,700	1583	7605,06	5259963,72	1965,34	7465	VERDADERO
ALT. 402	110,12	16,31	8,15	6,30	6,75	2,00	2,59	13,51	0,77	0,219	0,688	0,983	0,700	1583	7985,59	5259963,72	1965,34	7465	VERDADERO
ALT. 403	110,12	16,31	8,15	6,60	6,75	2,00	2,47	13,51	0,81	0,219	0,688	0,983	0,700	1583	8366,12	5259963,72	1965,34	7465	VERDADERO
ALT. 404	110,12	16,31	8,15	6,90	6,75	2,00	2,36	13,51	0,85	0,219	0,688	0,983	0,700	1583	8746,65	5259963,72	1965,34	7465	VERDADERO
ALT. 405	110,12	16,31	8,15	7,20	6,75	2,00	2,27	13,51	0,88	0,219	0,688	0,983	0,700	1583	9127,18	5259963,72	1965,34	7465	VERDADERO
ALT. 406	110,12	16,31	8,45	6,00	6,75	1,93	2,72	13,03	0,71	0,219	0,688	0,983	0,700	1589	7605,06	5275974,46	1990,25	7490	VERDADERO
ALT. 407	110,12	16,31	8,45	6,30	6,75	1,93	2,59	13,03	0,74	0,219	0,688	0,983	0,700	1589	7985,59	5275974,46	1990,25	7490	VERDADERO
ALT. 408	110,12	16,31	8,45	6,60	6,75	1,93	2,47	13,03	0,78	0,219	0,688	0,983	0,700	1589	8366,12	5275974,46	1990,25	7490	VERDADERO
ALT. 409	110,12	16,31	8,45	6,90	6,75	1,93	2,36	13,03	0,82	0,219	0,688	0,983	0,700	1589	8746,65	5275974,46	1990,25	7490	VERDADERO
ALT. 410	110,12	16,31	8,45	7,20	6,75	1,93	2,27	13,03	0,85	0,219	0,688	0,983	0,700	1589	9127,18	5275974,46	1990,25	7490	VERDADERO
ALT. 411	110,12	16,31	8,75	6,00	6,75	1,86	2,72	12,58	0,69	0,219	0,688	0,983	0,700	1595	7605,06	5292942,32	2014,74	7515	VERDADERO
ALT. 412	110,12	16,31	8,75	6,30	6,75	1,86	2,59	12,58	0,72	0,219	0,688	0,983	0,700	1595	7985,59	5292942,32	2014,74	7515	VERDADERO
ALT. 413	110,12	16,31	8,75	6,60	6,75	1,86	2,47	12,58	0,75	0,219	0,688	0,983	0,700	1595	8366,12	5292942,32	2014,74	7515	VERDADERO
ALT. 414	110,12	16,31	8,75	6,90	6,75	1,86	2,36	12,58	0,79	0,219	0,688	0,983	0,700	1595	8746,65	5292942,32	2014,74	7515	VERDADERO

ANEXO I. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES

	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	FN	Cb	Cm	Cp	Pc	Δ	CC	PR	PR+PM	PR+PM<Δ
ALT. 415	110,12	16,31	8,75	7,20	6,75	1,86	2,27	12,58	0,82	0,219	0,688	0,983	0,700	1595	9127,18	5292942,32	2014,74	7515	VERDADERO
ALT. 416	110,12	16,31	9,05	6,00	6,75	1,80	2,72	12,17	0,66	0,219	0,688	0,983	0,700	1601	7605,06	5310726,05	2038,80	7539	VERDADERO
ALT. 417	110,12	16,31	9,05	6,30	6,75	1,80	2,59	12,17	0,70	0,219	0,688	0,983	0,700	1601	7985,59	5310726,05	2038,80	7539	VERDADERO
ALT. 418	110,12	16,31	9,05	6,60	6,75	1,80	2,47	12,17	0,73	0,219	0,688	0,983	0,700	1601	8366,12	5310726,05	2038,80	7539	VERDADERO
ALT. 419	110,12	16,31	9,05	6,90	6,75	1,80	2,36	12,17	0,76	0,219	0,688	0,983	0,700	1601	8746,65	5310726,05	2038,80	7539	VERDADERO
ALT. 420	110,12	16,31	9,05	7,20	6,75	1,80	2,27	12,17	0,79	0,219	0,688	0,983	0,700	1601	9127,18	5310726,05	2038,80	7539	VERDADERO
ALT. 421	110,12	16,31	9,35	6,00	6,75	1,74	2,72	11,78	0,64	0,219	0,688	0,983	0,700	1608	7605,06	5329205,58	2062,47	7562	VERDADERO
ALT. 422	110,12	16,31	9,35	6,30	6,75	1,74	2,59	11,78	0,67	0,219	0,688	0,983	0,700	1608	7985,59	5329205,58	2062,47	7562	VERDADERO
ALT. 423	110,12	16,31	9,35	6,60	6,75	1,74	2,47	11,78	0,71	0,219	0,688	0,983	0,700	1608	8366,12	5329205,58	2062,47	7562	VERDADERO
ALT. 424	110,12	16,31	9,35	6,90	6,75	1,74	2,36	11,78	0,74	0,219	0,688	0,983	0,700	1608	8746,65	5329205,58	2062,47	7562	VERDADERO
ALT. 425	110,12	16,31	9,35	7,20	6,75	1,74	2,27	11,78	0,77	0,219	0,688	0,983	0,700	1608	9127,18	5329205,58	2062,47	7562	VERDADERO
ALT. 426	110,12	16,81	8,15	6,00	6,55	2,06	2,80	13,51	0,74	0,219	0,688	0,983	0,700	1631	7838,23	5381153,12	2013,83	7514	VERDADERO
ALT. 427	110,12	16,81	8,15	6,30	6,55	2,06	2,67	13,51	0,77	0,219	0,688	0,983	0,700	1631	8230,43	5381153,12	2013,83	7514	VERDADERO
ALT. 428	110,12	16,81	8,15	6,60	6,55	2,06	2,55	13,51	0,81	0,219	0,688	0,983	0,700	1631	8622,63	5381153,12	2013,83	7514	VERDADERO
ALT. 429	110,12	16,81	8,15	6,90	6,55	2,06	2,44	13,51	0,85	0,219	0,688	0,983	0,700	1631	9014,83	5381153,12	2013,83	7514	VERDADERO
ALT. 430	110,12	16,81	8,15	7,20	6,55	2,06	2,34	13,51	0,88	0,219	0,688	0,983	0,700	1631	9407,02	5381153,12	2013,83	7514	VERDADERO
ALT. 431	110,12	16,81	8,45	6,00	6,55	1,99	2,80	13,03	0,71	0,219	0,688	0,983	0,700	1637	7838,23	5397639,62	2039,51	7540	VERDADERO
ALT. 432	110,12	16,81	8,45	6,30	6,55	1,99	2,67	13,03	0,74	0,219	0,688	0,983	0,700	1637	8230,43	5397639,62	2039,51	7540	VERDADERO
ALT. 433	110,12	16,81	8,45	6,60	6,55	1,99	2,55	13,03	0,78	0,219	0,688	0,983	0,700	1637	8622,63	5397639,62	2039,51	7540	VERDADERO
ALT. 434	110,12	16,81	8,45	6,90	6,55	1,99	2,44	13,03	0,82	0,219	0,688	0,983	0,700	1637	9014,83	5397639,62	2039,51	7540	VERDADERO
ALT. 435	110,12	16,81	8,45	7,20	6,55	1,99	2,34	13,03	0,85	0,219	0,688	0,983	0,700	1637	9407,02	5397639,62	2039,51	7540	VERDADERO
ALT. 436	110,12	16,81	8,75	6,00	6,55	1,92	2,80	12,58	0,69	0,219	0,688	0,983	0,700	1643	7838,23	5415112,95	2064,74	7565	VERDADERO
ALT. 437	110,12	16,81	8,75	6,30	6,55	1,92	2,67	12,58	0,72	0,219	0,688	0,983	0,700	1643	8230,43	5415112,95	2064,74	7565	VERDADERO
ALT. 438	110,12	16,81	8,75	6,60	6,55	1,92	2,55	12,58	0,75	0,219	0,688	0,983	0,700	1643	8622,63	5415112,95	2064,74	7565	VERDADERO
ALT. 439	110,12	16,81	8,75	6,90	6,55	1,92	2,44	12,58	0,79	0,219	0,688	0,983	0,700	1643	9014,83	5415112,95	2064,74	7565	VERDADERO
ALT. 440	110,12	16,81	8,75	7,20	6,55	1,92	2,34	12,58	0,82	0,219	0,688	0,983	0,700	1643	9407,02	5415112,95	2064,74	7565	VERDADERO
ALT. 441	110,12	16,81	9,05	6,00	6,55	1,86	2,80	12,17	0,66	0,219	0,688	0,983	0,700	1650	7838,23	5433427,53	2089,55	7590	VERDADERO
ALT. 442	110,12	16,81	9,05	6,30	6,55	1,86	2,67	12,17	0,70	0,219	0,688	0,983	0,700	1650	8230,43	5433427,53	2089,55	7590	VERDADERO
ALT. 443	110,12	16,81	9,05	6,60	6,55	1,86	2,55	12,17	0,73	0,219	0,688	0,983	0,700	1650	8622,63	5433427,53	2089,55	7590	VERDADERO
ALT. 444	110,12	16,81	9,05	6,90	6,55	1,86	2,44	12,17	0,76	0,219	0,688	0,983	0,700	1650	9014,83	5433427,53	2089,55	7590	VERDADERO
ALT. 445	110,12	16,81	9,05	7,20	6,55	1,86	2,34	12,17	0,79	0,219	0,688	0,983	0,700	1650	9407,02	5433427,53	2089,55	7590	VERDADERO
ALT. 446	110,12	16,81	9,35	6,00	6,55	1,80	2,80	11,78	0,64	0,219	0,688	0,983	0,700	1657	7838,23	5452459,55	2113,94	7614	VERDADERO
ALT. 447	110,12	16,81	9,35	6,30	6,55	1,80	2,67	11,78	0,67	0,219	0,688	0,983	0,700	1657	8230,43	5452459,55	2113,94	7614	VERDADERO
ALT. 448	110,12	16,81	9,35	6,60	6,55	1,80	2,55	11,78	0,71	0,219	0,688	0,983	0,700	1657	8622,63	5452459,55	2113,94	7614	VERDADERO
ALT. 449	110,12	16,81	9,35	6,90	6,55	1,80	2,44	11,78	0,74	0,219	0,688	0,983	0,700	1657	9014,83	5452459,55	2113,94	7614	VERDADERO
ALT. 450	110,12	16,81	9,35	7,20	6,55	1,80	2,34	11,78	0,77	0,219	0,688	0,983	0,700	1657	9407,02	5452459,55	2113,94	7614	VERDADERO
ALT. 451	110,12	17,31	8,15	6,00	6,36	2,12	2,89	13,51	0,74	0,219	0,688	0,983	0,700	1680	8071,40	5502287,67	2062,32	7562	VERDADERO
ALT. 452	110,12	17,31	8,15	6,30	6,36	2,12	2,75	13,51	0,77	0,219	0,688	0,983	0,700	1680	8475,27	5502287,67	2062,32	7562	VERDADERO

ANEXO I. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES

	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	FN	Cb	Cm	Cp	Pc	Δ	CC	PR	PR+PM	PR+PM<Δ
ALT. 453	110,12	17,31	8,15	6,60	6,36	2,12	2,62	13,51	0,81	0,219	0,688	0,983	0,700	1680	8879,13	5502287,67	2062,32	7562	VERDADERO
ALT. 454	110,12	17,31	8,15	6,90	6,36	2,12	2,51	13,51	0,85	0,219	0,688	0,983	0,700	1680	9283,00	5502287,67	2062,32	7562	VERDADERO
ALT. 455	110,12	17,31	8,15	7,20	6,36	2,12	2,41	13,51	0,88	0,219	0,688	0,983	0,700	1680	9686,86	5502287,67	2062,32	7562	VERDADERO
ALT. 456	110,12	17,31	8,45	6,00	6,36	2,05	2,89	13,03	0,71	0,219	0,688	0,983	0,700	1686	8071,40	5519249,57	2088,77	7589	VERDADERO
ALT. 457	110,12	17,31	8,45	6,30	6,36	2,05	2,75	13,03	0,74	0,219	0,688	0,983	0,700	1686	8475,27	5519249,57	2088,77	7589	VERDADERO
ALT. 458	110,12	17,31	8,45	6,60	6,36	2,05	2,62	13,03	0,78	0,219	0,688	0,983	0,700	1686	8879,13	5519249,57	2088,77	7589	VERDADERO
ALT. 459	110,12	17,31	8,45	6,90	6,36	2,05	2,51	13,03	0,82	0,219	0,688	0,983	0,700	1686	9283,00	5519249,57	2088,77	7589	VERDADERO
ALT. 460	110,12	17,31	8,45	7,20	6,36	2,05	2,41	13,03	0,85	0,219	0,688	0,983	0,700	1686	9686,86	5519249,57	2088,77	7589	VERDADERO
ALT. 461	110,12	17,31	8,75	6,00	6,36	1,98	2,89	12,58	0,69	0,219	0,688	0,983	0,700	1692	8071,40	5537228,03	2114,75	7615	VERDADERO
ALT. 462	110,12	17,31	8,75	6,30	6,36	1,98	2,75	12,58	0,72	0,219	0,688	0,983	0,700	1692	8475,27	5537228,03	2114,75	7615	VERDADERO
ALT. 463	110,12	17,31	8,75	6,60	6,36	1,98	2,62	12,58	0,75	0,219	0,688	0,983	0,700	1692	8879,13	5537228,03	2114,75	7615	VERDADERO
ALT. 464	110,12	17,31	8,75	6,90	6,36	1,98	2,51	12,58	0,79	0,219	0,688	0,983	0,700	1692	9283,00	5537228,03	2114,75	7615	VERDADERO
ALT. 465	110,12	17,31	8,75	7,20	6,36	1,98	2,41	12,58	0,82	0,219	0,688	0,983	0,700	1692	9686,86	5537228,03	2114,75	7615	VERDADERO
ALT. 466	110,12	17,31	9,05	6,00	6,36	1,91	2,89	12,17	0,66	0,219	0,688	0,983	0,700	1699	8071,40	5556073,11	2140,29	7640	VERDADERO
ALT. 467	110,12	17,31	9,05	6,30	6,36	1,91	2,75	12,17	0,70	0,219	0,688	0,983	0,700	1699	8475,27	5556073,11	2140,29	7640	VERDADERO
ALT. 468	110,12	17,31	9,05	6,60	6,36	1,91	2,62	12,17	0,73	0,219	0,688	0,983	0,700	1699	8879,13	5556073,11	2140,29	7640	VERDADERO
ALT. 469	110,12	17,31	9,05	6,90	6,36	1,91	2,51	12,17	0,76	0,219	0,688	0,983	0,700	1699	9283,00	5556073,11	2140,29	7640	VERDADERO
ALT. 470	110,12	17,31	9,05	7,20	6,36	1,91	2,41	12,17	0,79	0,219	0,688	0,983	0,700	1699	9686,86	5556073,11	2140,29	7640	VERDADERO
ALT. 471	110,12	17,31	9,35	6,00	6,36	1,85	2,89	11,78	0,64	0,219	0,688	0,983	0,700	1706	8071,40	5575657,31	2165,41	7665	VERDADERO
ALT. 472	110,12	17,31	9,35	6,30	6,36	1,85	2,75	11,78	0,67	0,219	0,688	0,983	0,700	1706	8475,27	5575657,31	2165,41	7665	VERDADERO
ALT. 473	110,12	17,31	9,35	6,60	6,36	1,85	2,62	11,78	0,71	0,219	0,688	0,983	0,700	1706	8879,13	5575657,31	2165,41	7665	VERDADERO
ALT. 474	110,12	17,31	9,35	6,90	6,36	1,85	2,51	11,78	0,74	0,219	0,688	0,983	0,700	1706	9283,00	5575657,31	2165,41	7665	VERDADERO
ALT. 475	110,12	17,31	9,35	7,20	6,36	1,85	2,41	11,78	0,77	0,219	0,688	0,983	0,700	1706	9686,86	5575657,31	2165,41	7665	VERDADERO
ALT. 476	110,12	17,81	8,15	6,00	6,18	2,18	2,97	13,51	0,74	0,219	0,688	0,983	0,700	1728	8304,57	5623368,49	2110,81	7611	VERDADERO
ALT. 477	110,12	17,81	8,15	6,30	6,18	2,18	2,83	13,51	0,77	0,219	0,688	0,983	0,700	1728	8720,10	5623368,49	2110,81	7611	VERDADERO
ALT. 478	110,12	17,81	8,15	6,60	6,18	2,18	2,70	13,51	0,81	0,219	0,688	0,983	0,700	1728	9135,64	5623368,49	2110,81	7611	VERDADERO
ALT. 479	110,12	17,81	8,15	6,90	6,18	2,18	2,58	13,51	0,85	0,219	0,688	0,983	0,700	1728	9551,17	5623368,49	2110,81	7611	VERDADERO
ALT. 480	110,12	17,81	8,15	7,20	6,18	2,18	2,47	13,51	0,88	0,219	0,688	0,983	0,700	1728	9966,70	5623368,49	2110,81	7611	VERDADERO
ALT. 481	110,12	17,81	8,45	6,00	6,18	2,11	2,97	13,03	0,71	0,219	0,688	0,983	0,700	1734	8304,57	5640805,46	2138,02	7638	VERDADERO
ALT. 482	110,12	17,81	8,45	6,30	6,18	2,11	2,83	13,03	0,74	0,219	0,688	0,983	0,700	1734	8720,10	5640805,46	2138,02	7638	VERDADERO
ALT. 483	110,12	17,81	8,45	6,60	6,18	2,11	2,70	13,03	0,78	0,219	0,688	0,983	0,700	1734	9135,64	5640805,46	2138,02	7638	VERDADERO
ALT. 484	110,12	17,81	8,45	6,90	6,18	2,11	2,58	13,03	0,82	0,219	0,688	0,983	0,700	1734	9551,17	5640805,46	2138,02	7638	VERDADERO
ALT. 485	110,12	17,81	8,45	7,20	6,18	2,11	2,47	13,03	0,85	0,219	0,688	0,983	0,700	1734	9966,70	5640805,46	2138,02	7638	VERDADERO
ALT. 486	110,12	17,81	8,75	6,00	6,18	2,03	2,97	12,58	0,69	0,219	0,688	0,983	0,700	1741	8304,57	5659288,72	2164,76	7665	VERDADERO
ALT. 487	110,12	17,81	8,75	6,30	6,18	2,03	2,83	12,58	0,72	0,219	0,688	0,983	0,700	1741	8720,10	5659288,72	2164,76	7665	VERDADERO
ALT. 488	110,12	17,81	8,75	6,60	6,18	2,03	2,70	12,58	0,75	0,219	0,688	0,983	0,700	1741	9135,64	5659288,72	2164,76	7665	VERDADERO
ALT. 489	110,12	17,81	8,75	6,90	6,18	2,03	2,58	12,58	0,79	0,219	0,688	0,983	0,700	1741	9551,17	5659288,72	2164,76	7665	VERDADERO
ALT. 490	110,12	17,81	8,75	7,20	6,18	2,03	2,47	12,58	0,82	0,219	0,688	0,983	0,700	1741	9966,70	5659288,72	2164,76	7665	VERDADERO

ANEXO I. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES

	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	FN	Cb	Cm	Cp	Pc	Δ	CC	PR	PR+PM	PR+PM<Δ
ALT. 491	110,12	17,81	9,05	6,00	6,18	1,97	2,97	12,17	0,66	0,219	0,688	0,983	0,700	1748	8304,57	5678663,98	2191,04	7691	VERDADERO
ALT. 492	110,12	17,81	9,05	6,30	6,18	1,97	2,83	12,17	0,70	0,219	0,688	0,983	0,700	1748	8720,10	5678663,98	2191,04	7691	VERDADERO
ALT. 493	110,12	17,81	9,05	6,60	6,18	1,97	2,70	12,17	0,73	0,219	0,688	0,983	0,700	1748	9135,64	5678663,98	2191,04	7691	VERDADERO
ALT. 494	110,12	17,81	9,05	6,90	6,18	1,97	2,58	12,17	0,76	0,219	0,688	0,983	0,700	1748	9551,17	5678663,98	2191,04	7691	VERDADERO
ALT. 495	110,12	17,81	9,05	7,20	6,18	1,97	2,47	12,17	0,79	0,219	0,688	0,983	0,700	1748	9966,70	5678663,98	2191,04	7691	VERDADERO
ALT. 496	110,12	17,81	9,35	6,00	6,18	1,90	2,97	11,78	0,64	0,219	0,688	0,983	0,700	1755	8304,57	5698800,03	2216,88	7717	VERDADERO
ALT. 497	110,12	17,81	9,35	6,30	6,18	1,90	2,83	11,78	0,67	0,219	0,688	0,983	0,700	1755	8720,10	5698800,03	2216,88	7717	VERDADERO
ALT. 498	110,12	17,81	9,35	6,60	6,18	1,90	2,70	11,78	0,71	0,219	0,688	0,983	0,700	1755	9135,64	5698800,03	2216,88	7717	VERDADERO
ALT. 499	110,12	17,81	9,35	6,90	6,18	1,90	2,58	11,78	0,74	0,219	0,688	0,983	0,700	1755	9551,17	5698800,03	2216,88	7717	VERDADERO
ALT. 500	110,12	17,81	9,35	7,20	6,18	1,90	2,47	11,78	0,77	0,219	0,688	0,983	0,700	1755	9966,70	5698800,03	2216,88	7717	VERDADERO
ALT. 501	111,12	15,81	8,15	6,00	7,03	1,94	2,64	13,63	0,74	0,218	0,690	0,984	0,701	1561	7455,48	5205528,43	1936,82	7437	VERDADERO
ALT. 502	111,12	15,81	8,15	6,30	7,03	1,94	2,51	13,63	0,77	0,218	0,690	0,984	0,701	1561	7828,53	5205528,43	1936,82	7437	VERDADERO
ALT. 503	111,12	15,81	8,15	6,60	7,03	1,94	2,40	13,63	0,81	0,218	0,690	0,984	0,701	1561	8201,58	5205528,43	1936,82	7437	VERDADERO
ALT. 504	111,12	15,81	8,15	6,90	7,03	1,94	2,29	13,63	0,85	0,218	0,690	0,984	0,701	1561	8574,62	5205528,43	1936,82	7437	VERDADERO
ALT. 505	111,12	15,81	8,15	7,20	7,03	1,94	2,20	13,63	0,88	0,218	0,690	0,984	0,701	1561	8947,67	5205528,43	1936,82	7437	VERDADERO
ALT. 506	111,12	15,81	8,45	6,00	7,03	1,87	2,64	13,15	0,71	0,218	0,690	0,984	0,701	1567	7455,48	5220959,86	1961,31	7461	FALSO
ALT. 507	111,12	15,81	8,45	6,30	7,03	1,87	2,51	13,15	0,74	0,218	0,690	0,984	0,701	1567	7828,53	5220959,86	1961,31	7461	VERDADERO
ALT. 508	111,12	15,81	8,45	6,60	7,03	1,87	2,40	13,15	0,78	0,218	0,690	0,984	0,701	1567	8201,58	5220959,86	1961,31	7461	VERDADERO
ALT. 509	111,12	15,81	8,45	6,90	7,03	1,87	2,29	13,15	0,82	0,218	0,690	0,984	0,701	1567	8574,62	5220959,86	1961,31	7461	VERDADERO
ALT. 510	111,12	15,81	8,45	7,20	7,03	1,87	2,20	13,15	0,85	0,218	0,690	0,984	0,701	1567	8947,67	5220959,86	1961,31	7461	VERDADERO
ALT. 511	111,12	15,81	8,75	6,00	7,03	1,81	2,64	12,70	0,69	0,218	0,690	0,984	0,701	1573	7455,48	5237355,65	1985,36	7485	FALSO
ALT. 512	111,12	15,81	8,75	6,30	7,03	1,81	2,51	12,70	0,72	0,218	0,690	0,984	0,701	1573	7828,53	5237355,65	1985,36	7485	VERDADERO
ALT. 513	111,12	15,81	8,75	6,60	7,03	1,81	2,40	12,70	0,75	0,218	0,690	0,984	0,701	1573	8201,58	5237355,65	1985,36	7485	VERDADERO
ALT. 514	111,12	15,81	8,75	6,90	7,03	1,81	2,29	12,70	0,79	0,218	0,690	0,984	0,701	1573	8574,62	5237355,65	1985,36	7485	VERDADERO
ALT. 515	111,12	15,81	8,75	7,20	7,03	1,81	2,20	12,70	0,82	0,218	0,690	0,984	0,701	1573	8947,67	5237355,65	1985,36	7485	VERDADERO
ALT. 516	111,12	15,81	9,05	6,00	7,03	1,75	2,64	12,28	0,66	0,218	0,690	0,984	0,701	1579	7455,48	5254574,42	2009,01	7509	FALSO
ALT. 517	111,12	15,81	9,05	6,30	7,03	1,75	2,51	12,28	0,70	0,218	0,690	0,984	0,701	1579	7828,53	5254574,42	2009,01	7509	VERDADERO
ALT. 518	111,12	15,81	9,05	6,60	7,03	1,75	2,40	12,28	0,73	0,218	0,690	0,984	0,701	1579	8201,58	5254574,42	2009,01	7509	VERDADERO
ALT. 519	111,12	15,81	9,05	6,90	7,03	1,75	2,29	12,28	0,76	0,218	0,690	0,984	0,701	1579	8574,62	5254574,42	2009,01	7509	VERDADERO
ALT. 520	111,12	15,81	9,05	7,20	7,03	1,75	2,20	12,28	0,79	0,218	0,690	0,984	0,701	1579	8947,67	5254574,42	2009,01	7509	VERDADERO
ALT. 521	111,12	15,81	9,35	6,00	7,03	1,69	2,64	11,88	0,64	0,218	0,690	0,984	0,701	1586	7455,48	5272495,93	2032,26	7532	FALSO
ALT. 522	111,12	15,81	9,35	6,30	7,03	1,69	2,51	11,88	0,67	0,218	0,690	0,984	0,701	1586	7828,53	5272495,93	2032,26	7532	VERDADERO
ALT. 523	111,12	15,81	9,35	6,60	7,03	1,69	2,40	11,88	0,71	0,218	0,690	0,984	0,701	1586	8201,58	5272495,93	2032,26	7532	VERDADERO
ALT. 524	111,12	15,81	9,35	6,90	7,03	1,69	2,29	11,88	0,74	0,218	0,690	0,984	0,701	1586	8574,62	5272495,93	2032,26	7532	VERDADERO
ALT. 525	111,12	15,81	9,35	7,20	7,03	1,69	2,20	11,88	0,77	0,218	0,690	0,984	0,701	1586	8947,67	5272495,93	2032,26	7532	VERDADERO
ALT. 526	111,12	16,31	8,15	6,00	6,81	2,00	2,72	13,63	0,74	0,218	0,690	0,984	0,701	1611	7691,30	5328856,52	1985,95	7486	VERDADERO
ALT. 527	111,12	16,31	8,15	6,30	6,81	2,00	2,59	13,63	0,77	0,218	0,690	0,984	0,701	1611	8076,14	5328856,52	1985,95	7486	VERDADERO
ALT. 528	111,12	16,31	8,15	6,60	6,81	2,00	2,47	13,63	0,81	0,218	0,690	0,984	0,701	1611	8460,99	5328856,52	1985,95	7486	VERDADERO

ANEXO I. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES

	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	FN	Cb	Cm	Cp	Pc	Δ	CC	PR	PR+PM	PR+PM<Δ
ALT. 529	111,12	16,31	8,15	6,90	6,81	2,00	2,36	13,63	0,85	0,218	0,690	0,984	0,701	1611	8845,83	5328856,52	1985,95	7486	VERDADERO
ALT. 530	111,12	16,31	8,15	7,20	6,81	2,00	2,27	13,63	0,88	0,218	0,690	0,984	0,701	1611	9230,68	5328856,52	1985,95	7486	VERDADERO
ALT. 531	111,12	16,31	8,45	6,00	6,81	1,93	2,72	13,15	0,71	0,218	0,690	0,984	0,701	1616	7691,30	5344760,63	2011,21	7511	VERDADERO
ALT. 532	111,12	16,31	8,45	6,30	6,81	1,93	2,59	13,15	0,74	0,218	0,690	0,984	0,701	1616	8076,14	5344760,63	2011,21	7511	VERDADERO
ALT. 533	111,12	16,31	8,45	6,60	6,81	1,93	2,47	13,15	0,78	0,218	0,690	0,984	0,701	1616	8460,99	5344760,63	2011,21	7511	VERDADERO
ALT. 534	111,12	16,31	8,45	6,90	6,81	1,93	2,36	13,15	0,82	0,218	0,690	0,984	0,701	1616	8845,83	5344760,63	2011,21	7511	VERDADERO
ALT. 535	111,12	16,31	8,45	7,20	6,81	1,93	2,27	13,15	0,85	0,218	0,690	0,984	0,701	1616	9230,68	5344760,63	2011,21	7511	VERDADERO
ALT. 536	111,12	16,31	8,75	6,00	6,81	1,86	2,72	12,70	0,69	0,218	0,690	0,984	0,701	1622	7691,30	5361659,99	2036,02	7536	VERDADERO
ALT. 537	111,12	16,31	8,75	6,30	6,81	1,86	2,59	12,70	0,72	0,218	0,690	0,984	0,701	1622	8076,14	5361659,99	2036,02	7536	VERDADERO
ALT. 538	111,12	16,31	8,75	6,60	6,81	1,86	2,47	12,70	0,75	0,218	0,690	0,984	0,701	1622	8460,99	5361659,99	2036,02	7536	VERDADERO
ALT. 539	111,12	16,31	8,75	6,90	6,81	1,86	2,36	12,70	0,79	0,218	0,690	0,984	0,701	1622	8845,83	5361659,99	2036,02	7536	VERDADERO
ALT. 540	111,12	16,31	8,75	7,20	6,81	1,86	2,27	12,70	0,82	0,218	0,690	0,984	0,701	1622	9230,68	5361659,99	2036,02	7536	VERDADERO
ALT. 541	111,12	16,31	9,05	6,00	6,81	1,80	2,72	12,28	0,66	0,218	0,690	0,984	0,701	1629	7691,30	5379408,71	2060,41	7560	VERDADERO
ALT. 542	111,12	16,31	9,05	6,30	6,81	1,80	2,59	12,28	0,70	0,218	0,690	0,984	0,701	1629	8076,14	5379408,71	2060,41	7560	VERDADERO
ALT. 543	111,12	16,31	9,05	6,60	6,81	1,80	2,47	12,28	0,73	0,218	0,690	0,984	0,701	1629	8460,99	5379408,71	2060,41	7560	VERDADERO
ALT. 544	111,12	16,31	9,05	6,90	6,81	1,80	2,36	12,28	0,76	0,218	0,690	0,984	0,701	1629	8845,83	5379408,71	2060,41	7560	VERDADERO
ALT. 545	111,12	16,31	9,05	7,20	6,81	1,80	2,27	12,28	0,79	0,218	0,690	0,984	0,701	1629	9230,68	5379408,71	2060,41	7560	VERDADERO
ALT. 546	111,12	16,31	9,35	6,00	6,81	1,74	2,72	11,88	0,64	0,218	0,690	0,984	0,701	1635	7691,30	5397882,73	2084,41	7584	VERDADERO
ALT. 547	111,12	16,31	9,35	6,30	6,81	1,74	2,59	11,88	0,67	0,218	0,690	0,984	0,701	1635	8076,14	5397882,73	2084,41	7584	VERDADERO
ALT. 548	111,12	16,31	9,35	6,60	6,81	1,74	2,47	11,88	0,71	0,218	0,690	0,984	0,701	1635	8460,99	5397882,73	2084,41	7584	VERDADERO
ALT. 549	111,12	16,31	9,35	6,90	6,81	1,74	2,36	11,88	0,74	0,218	0,690	0,984	0,701	1635	8845,83	5397882,73	2084,41	7584	VERDADERO
ALT. 550	111,12	16,31	9,35	7,20	6,81	1,74	2,27	11,88	0,77	0,218	0,690	0,984	0,701	1635	9230,68	5397882,73	2084,41	7584	VERDADERO
ALT. 551	111,12	16,81	8,15	6,00	6,61	2,06	2,80	13,63	0,74	0,218	0,690	0,984	0,701	1660	7927,11	5452127,31	2035,07	7535	VERDADERO
ALT. 552	111,12	16,81	8,15	6,30	6,61	2,06	2,67	13,63	0,77	0,218	0,690	0,984	0,701	1660	8323,76	5452127,31	2035,07	7535	VERDADERO
ALT. 553	111,12	16,81	8,15	6,60	6,61	2,06	2,55	13,63	0,81	0,218	0,690	0,984	0,701	1660	8720,40	5452127,31	2035,07	7535	VERDADERO
ALT. 554	111,12	16,81	8,15	6,90	6,61	2,06	2,44	13,63	0,85	0,218	0,690	0,984	0,701	1660	9117,05	5452127,31	2035,07	7535	VERDADERO
ALT. 555	111,12	16,81	8,15	7,20	6,61	2,06	2,34	13,63	0,88	0,218	0,690	0,984	0,701	1660	9513,69	5452127,31	2035,07	7535	VERDADERO
ALT. 556	111,12	16,81	8,45	6,00	6,61	1,99	2,80	13,15	0,71	0,218	0,690	0,984	0,701	1666	7927,11	5468503,72	2061,10	7561	VERDADERO
ALT. 557	111,12	16,81	8,45	6,30	6,61	1,99	2,67	13,15	0,74	0,218	0,690	0,984	0,701	1666	8323,76	5468503,72	2061,10	7561	VERDADERO
ALT. 558	111,12	16,81	8,45	6,60	6,61	1,99	2,55	13,15	0,78	0,218	0,690	0,984	0,701	1666	8720,40	5468503,72	2061,10	7561	VERDADERO
ALT. 559	111,12	16,81	8,45	6,90	6,61	1,99	2,44	13,15	0,82	0,218	0,690	0,984	0,701	1666	9117,05	5468503,72	2061,10	7561	VERDADERO
ALT. 560	111,12	16,81	8,45	7,20	6,61	1,99	2,34	13,15	0,85	0,218	0,690	0,984	0,701	1666	9513,69	5468503,72	2061,10	7561	VERDADERO
ALT. 561	111,12	16,81	8,75	6,00	6,61	1,92	2,80	12,70	0,69	0,218	0,690	0,984	0,701	1672	7927,11	5485906,28	2086,68	7587	VERDADERO
ALT. 562	111,12	16,81	8,75	6,30	6,61	1,92	2,67	12,70	0,72	0,218	0,690	0,984	0,701	1672	8323,76	5485906,28	2086,68	7587	VERDADERO
ALT. 563	111,12	16,81	8,75	6,60	6,61	1,92	2,55	12,70	0,75	0,218	0,690	0,984	0,701	1672	8720,40	5485906,28	2086,68	7587	VERDADERO
ALT. 564	111,12	16,81	8,75	6,90	6,61	1,92	2,44	12,70	0,79	0,218	0,690	0,984	0,701	1672	9117,05	5485906,28	2086,68	7587	VERDADERO
ALT. 565	111,12	16,81	8,75	7,20	6,61	1,92	2,34	12,70	0,82	0,218	0,690	0,984	0,701	1672	9513,69	5485906,28	2086,68	7587	VERDADERO
ALT. 566	111,12	16,81	9,05	6,00	6,61	1,86	2,80	12,28	0,66	0,218	0,690	0,984	0,701	1678	7927,11	5504184,60	2111,82	7612	VERDADERO

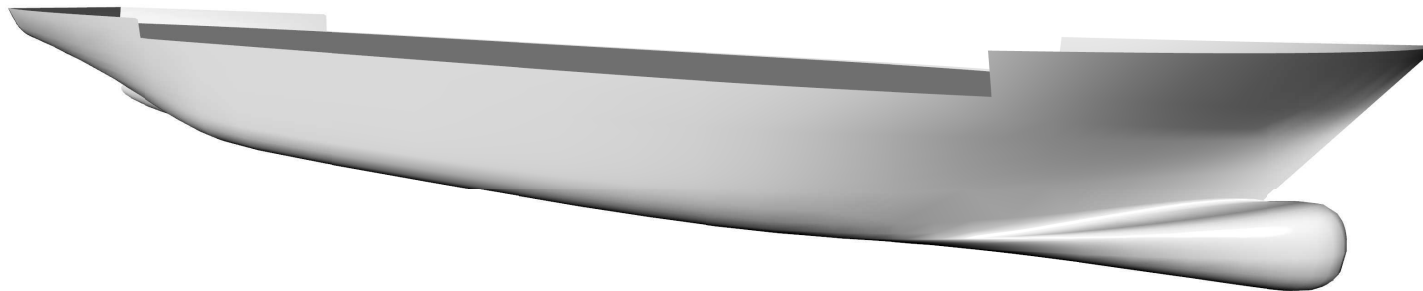
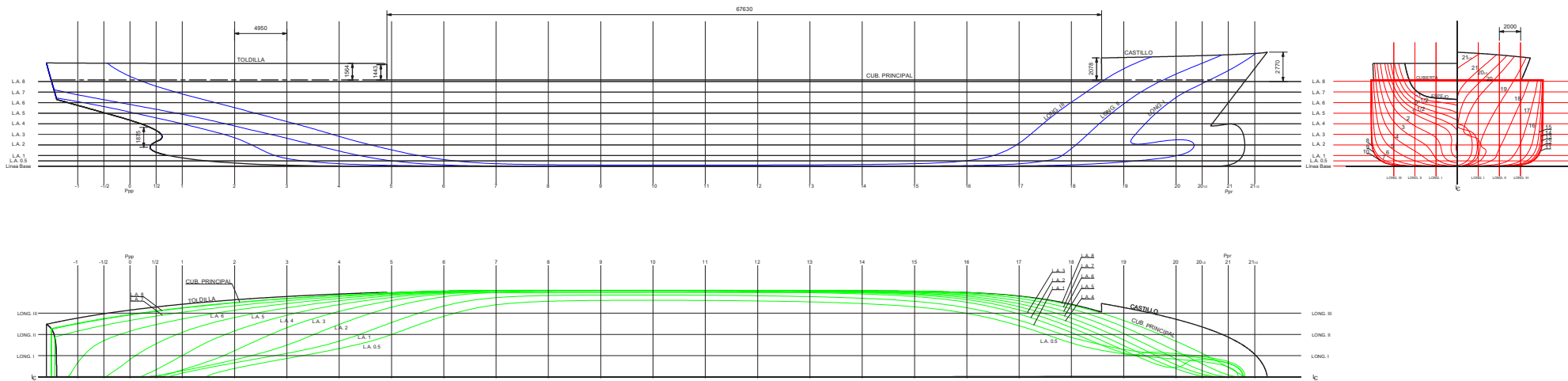
ANEXO I. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES

	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	FN	Cb	Cm	Cp	Pc	Δ	CC	PR	PR+PM	PR+PM< Δ
ALT. 567	111,12	16,81	9,05	6,30	6,61	1,86	2,67	12,28	0,70	0,218	0,690	0,984	0,701	1678	8323,76	5504184,60	2111,82	7612	VERDADERO
ALT. 568	111,12	16,81	9,05	6,60	6,61	1,86	2,55	12,28	0,73	0,218	0,690	0,984	0,701	1678	8720,40	5504184,60	2111,82	7612	VERDADERO
ALT. 569	111,12	16,81	9,05	6,90	6,61	1,86	2,44	12,28	0,76	0,218	0,690	0,984	0,701	1678	9117,05	5504184,60	2111,82	7612	VERDADERO
ALT. 570	111,12	16,81	9,05	7,20	6,61	1,86	2,34	12,28	0,79	0,218	0,690	0,984	0,701	1678	9513,69	5504184,60	2111,82	7612	VERDADERO
ALT. 571	111,12	16,81	9,35	6,00	6,61	1,80	2,80	11,88	0,64	0,218	0,690	0,984	0,701	1685	7927,11	5523210,79	2136,55	7637	VERDADERO
ALT. 572	111,12	16,81	9,35	6,30	6,61	1,80	2,67	11,88	0,67	0,218	0,690	0,984	0,701	1685	8323,76	5523210,79	2136,55	7637	VERDADERO
ALT. 573	111,12	16,81	9,35	6,60	6,61	1,80	2,55	11,88	0,71	0,218	0,690	0,984	0,701	1685	8720,40	5523210,79	2136,55	7637	VERDADERO
ALT. 574	111,12	16,81	9,35	6,90	6,61	1,80	2,44	11,88	0,74	0,218	0,690	0,984	0,701	1685	9117,05	5523210,79	2136,55	7637	VERDADERO
ALT. 575	111,12	16,81	9,35	7,20	6,61	1,80	2,34	11,88	0,77	0,218	0,690	0,984	0,701	1685	9513,69	5523210,79	2136,55	7637	VERDADERO
ALT. 576	111,12	17,31	8,15	6,00	6,42	2,12	2,89	13,63	0,74	0,218	0,690	0,984	0,701	1709	8162,93	5575342,00	2084,20	7584	VERDADERO
ALT. 577	111,12	17,31	8,15	6,30	6,42	2,12	2,75	13,63	0,77	0,218	0,690	0,984	0,701	1709	8571,37	5575342,00	2084,20	7584	VERDADERO
ALT. 578	111,12	17,31	8,15	6,60	6,42	2,12	2,62	13,63	0,81	0,218	0,690	0,984	0,701	1709	8979,81	5575342,00	2084,20	7584	VERDADERO
ALT. 579	111,12	17,31	8,15	6,90	6,42	2,12	2,51	13,63	0,85	0,218	0,690	0,984	0,701	1709	9388,26	5575342,00	2084,20	7584	VERDADERO
ALT. 580	111,12	17,31	8,15	7,20	6,42	2,12	2,41	13,63	0,88	0,218	0,690	0,984	0,701	1709	9796,70	5575342,00	2084,20	7584	VERDADERO
ALT. 581	111,12	17,31	8,45	6,00	6,42	2,05	2,89	13,15	0,71	0,218	0,690	0,984	0,701	1715	8162,93	5592190,37	2111,00	7611	VERDADERO
ALT. 582	111,12	17,31	8,45	6,30	6,42	2,05	2,75	13,15	0,74	0,218	0,690	0,984	0,701	1715	8571,37	5592190,37	2111,00	7611	VERDADERO
ALT. 583	111,12	17,31	8,45	6,60	6,42	2,05	2,62	13,15	0,78	0,218	0,690	0,984	0,701	1715	8979,81	5592190,37	2111,00	7611	VERDADERO
ALT. 584	111,12	17,31	8,45	6,90	6,42	2,05	2,51	13,15	0,82	0,218	0,690	0,984	0,701	1715	9388,26	5592190,37	2111,00	7611	VERDADERO
ALT. 585	111,12	17,31	8,45	7,20	6,42	2,05	2,41	13,15	0,85	0,218	0,690	0,984	0,701	1715	9796,70	5592190,37	2111,00	7611	VERDADERO
ALT. 586	111,12	17,31	8,75	6,00	6,42	1,98	2,89	12,70	0,69	0,218	0,690	0,984	0,701	1721	8162,93	5610095,78	2137,34	7637	VERDADERO
ALT. 587	111,12	17,31	8,75	6,30	6,42	1,98	2,75	12,70	0,72	0,218	0,690	0,984	0,701	1721	8571,37	5610095,78	2137,34	7637	VERDADERO
ALT. 588	111,12	17,31	8,75	6,60	6,42	1,98	2,62	12,70	0,75	0,218	0,690	0,984	0,701	1721	8979,81	5610095,78	2137,34	7637	VERDADERO
ALT. 589	111,12	17,31	8,75	6,90	6,42	1,98	2,51	12,70	0,79	0,218	0,690	0,984	0,701	1721	9388,26	5610095,78	2137,34	7637	VERDADERO
ALT. 590	111,12	17,31	8,75	7,20	6,42	1,98	2,41	12,70	0,82	0,218	0,690	0,984	0,701	1721	9796,70	5610095,78	2137,34	7637	VERDADERO
ALT. 591	111,12	17,31	9,05	6,00	6,42	1,91	2,89	12,28	0,66	0,218	0,690	0,984	0,701	1728	8162,93	5628903,35	2163,23	7663	VERDADERO
ALT. 592	111,12	17,31	9,05	6,30	6,42	1,91	2,75	12,28	0,70	0,218	0,690	0,984	0,701	1728	8571,37	5628903,35	2163,23	7663	VERDADERO
ALT. 593	111,12	17,31	9,05	6,60	6,42	1,91	2,62	12,28	0,73	0,218	0,690	0,984	0,701	1728	8979,81	5628903,35	2163,23	7663	VERDADERO
ALT. 594	111,12	17,31	9,05	6,90	6,42	1,91	2,51	12,28	0,76	0,218	0,690	0,984	0,701	1728	9388,26	5628903,35	2163,23	7663	VERDADERO
ALT. 595	111,12	17,31	9,05	7,20	6,42	1,91	2,41	12,28	0,79	0,218	0,690	0,984	0,701	1728	9796,70	5628903,35	2163,23	7663	VERDADERO
ALT. 596	111,12	17,31	9,35	6,00	6,42	1,85	2,89	11,88	0,64	0,218	0,690	0,984	0,701	1735	8162,93	5648481,38	2188,69	7689	VERDADERO
ALT. 597	111,12	17,31	9,35	6,30	6,42	1,85	2,75	11,88	0,67	0,218	0,690	0,984	0,701	1735	8571,37	5648481,38	2188,69	7689	VERDADERO
ALT. 598	111,12	17,31	9,35	6,60	6,42	1,85	2,62	11,88	0,71	0,218	0,690	0,984	0,701	1735	8979,81	5648481,38	2188,69	7689	VERDADERO
ALT. 599	111,12	17,31	9,35	6,90	6,42	1,85	2,51	11,88	0,74	0,218	0,690	0,984	0,701	1735	9388,26	5648481,38	2188,69	7689	VERDADERO
ALT. 600	111,12	17,31	9,35	7,20	6,42	1,85	2,41	11,88	0,77	0,218	0,690	0,984	0,701	1735	9796,70	5648481,38	2188,69	7689	VERDADERO
ALT. 601	111,12	17,81	8,15	6,00	6,24	2,18	2,97	13,63	0,74	0,218	0,690	0,984	0,701	1758	8398,74	5698501,74	2133,32	7633	VERDADERO
ALT. 602	111,12	17,81	8,15	6,30	6,24	2,18	2,83	13,63	0,77	0,218	0,690	0,984	0,701	1758	8818,98	5698501,74	2133,32	7633	VERDADERO
ALT. 603	111,12	17,81	8,15	6,60	6,24	2,18	2,70	13,63	0,81	0,218	0,690	0,984	0,701	1758	9239,23	5698501,74	2133,32	7633	VERDADERO
ALT. 604	111,12	17,81	8,15	6,90	6,24	2,18	2,58	13,63	0,85	0,218	0,690	0,984	0,701	1758	9659,47	5698501,74	2133,32	7633	VERDADERO

ANEXO I. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DIMENSIONES

	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	FN	Cb	Cm	Cp	Pc	Δ	CC	PR	PR+PM	PR+PM< Δ
ALT. 605	111,12	17,81	8,15	7,20	6,24	2,18	2,47	13,63	0,88	0,218	0,690	0,984	0,701	1758	10079,71	5698501,74	2133,32	7633	VERDADERO
ALT. 606	111,12	17,81	8,45	6,00	6,24	2,11	2,97	13,15	0,71	0,218	0,690	0,984	0,701	1764	8398,74	5715821,72	2160,90	7661	VERDADERO
ALT. 607	111,12	17,81	8,45	6,30	6,24	2,11	2,83	13,15	0,74	0,218	0,690	0,984	0,701	1764	8818,98	5715821,72	2160,90	7661	VERDADERO
ALT. 608	111,12	17,81	8,45	6,60	6,24	2,11	2,70	13,15	0,78	0,218	0,690	0,984	0,701	1764	9239,23	5715821,72	2160,90	7661	VERDADERO
ALT. 609	111,12	17,81	8,45	6,90	6,24	2,11	2,58	13,15	0,82	0,218	0,690	0,984	0,701	1764	9659,47	5715821,72	2160,90	7661	VERDADERO
ALT. 610	111,12	17,81	8,45	7,20	6,24	2,11	2,47	13,15	0,85	0,218	0,690	0,984	0,701	1764	10079,71	5715821,72	2160,90	7661	VERDADERO
ALT. 611	111,12	17,81	8,75	6,00	6,24	2,03	2,97	12,70	0,69	0,218	0,690	0,984	0,701	1771	8398,74	5734229,64	2188,00	7688	VERDADERO
ALT. 612	111,12	17,81	8,75	6,30	6,24	2,03	2,83	12,70	0,72	0,218	0,690	0,984	0,701	1771	8818,98	5734229,64	2188,00	7688	VERDADERO
ALT. 613	111,12	17,81	8,75	6,60	6,24	2,03	2,70	12,70	0,75	0,218	0,690	0,984	0,701	1771	9239,23	5734229,64	2188,00	7688	VERDADERO
ALT. 614	111,12	17,81	8,75	6,90	6,24	2,03	2,58	12,70	0,79	0,218	0,690	0,984	0,701	1771	9659,47	5734229,64	2188,00	7688	VERDADERO
ALT. 615	111,12	17,81	8,75	7,20	6,24	2,03	2,47	12,70	0,82	0,218	0,690	0,984	0,701	1771	10079,71	5734229,64	2188,00	7688	VERDADERO
ALT. 616	111,12	17,81	9,05	6,00	6,24	1,97	2,97	12,28	0,66	0,218	0,690	0,984	0,701	1778	8398,74	5753566,14	2214,64	7715	VERDADERO
ALT. 617	111,12	17,81	9,05	6,30	6,24	1,97	2,83	12,28	0,70	0,218	0,690	0,984	0,701	1778	8818,98	5753566,14	2214,64	7715	VERDADERO
ALT. 618	111,12	17,81	9,05	6,60	6,24	1,97	2,70	12,28	0,73	0,218	0,690	0,984	0,701	1778	9239,23	5753566,14	2214,64	7715	VERDADERO
ALT. 619	111,12	17,81	9,05	6,90	6,24	1,97	2,58	12,28	0,76	0,218	0,690	0,984	0,701	1778	9659,47	5753566,14	2214,64	7715	VERDADERO
ALT. 620	111,12	17,81	9,05	7,20	6,24	1,97	2,47	12,28	0,79	0,218	0,690	0,984	0,701	1778	10079,71	5753566,14	2214,64	7715	VERDADERO
ALT. 621	111,12	17,81	9,35	6,00	6,24	1,90	2,97	11,88	0,64	0,218	0,690	0,984	0,701	1785	8398,74	5773695,69	2240,84	7741	VERDADERO
ALT. 622	111,12	17,81	9,35	6,30	6,24	1,90	2,83	11,88	0,67	0,218	0,690	0,984	0,701	1785	8818,98	5773695,69	2240,84	7741	VERDADERO
ALT. 623	111,12	17,81	9,35	6,60	6,24	1,90	2,70	11,88	0,71	0,218	0,690	0,984	0,701	1785	9239,23	5773695,69	2240,84	7741	VERDADERO
ALT. 624	111,12	17,81	9,35	6,90	6,24	1,90	2,58	11,88	0,74	0,218	0,690	0,984	0,701	1785	9659,47	5773695,69	2240,84	7741	VERDADERO
ALT. 625	111,12	17,81	9,35	7,20	6,24	1,90	2,47	11,88	0,77	0,218	0,690	0,984	0,701	1785	10079,71	5773695,69	2240,84	7741	VERDADERO

ANEXO II – PLANO DE FORMAS



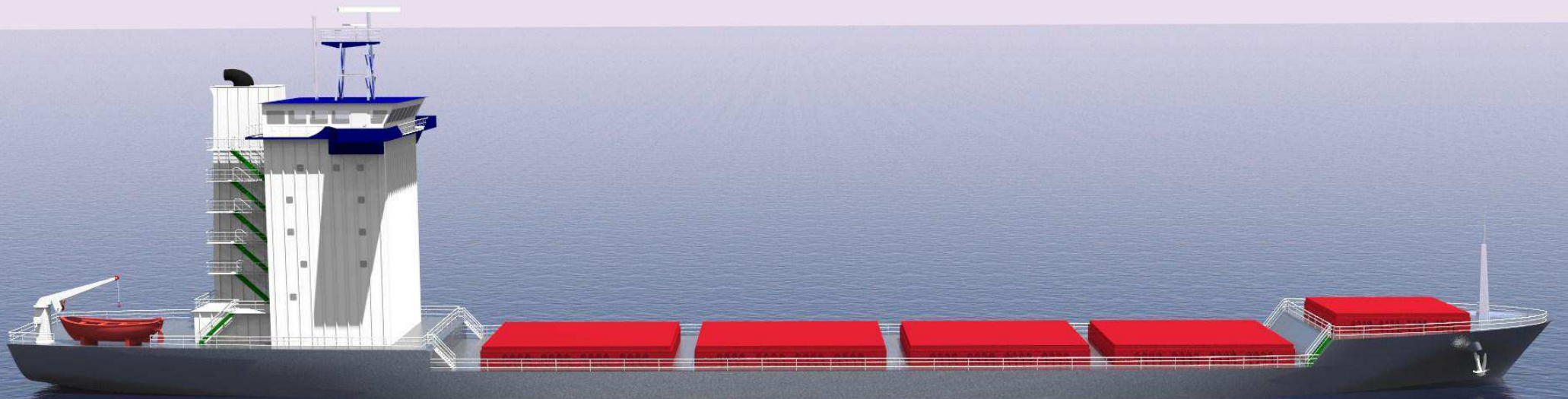
DIMENSIONES PRINCIPALES

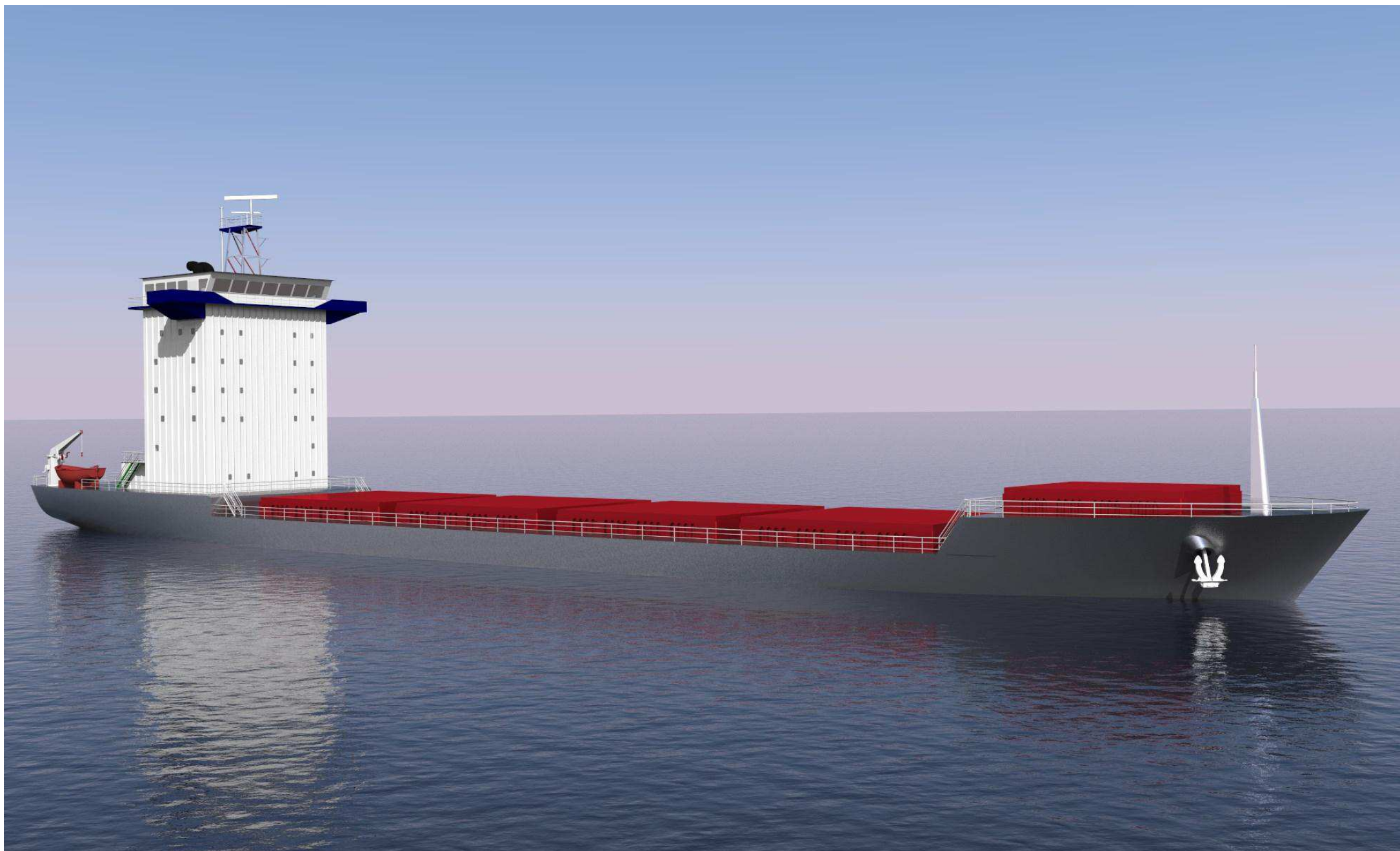
ESLORA TOTAL	LOA	115,5 m
ESLORA EN LA FLOTACIÓN	LF (1)	109,7 m
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	LPP (1)	104,0 m
MANGA DE TRAZADO	B	16,3 m
PUNTA DE TRAZADO	D	8,2 m
CALADO DE TRAZADO	T	6,0 m
COEFICIENTE DE BLOQUE	CB (1)	0,67
COEFICIENTE DE LA MAESTRA	CM (1)	0,97
COEFICIENTE DE LA FLOTACIÓN	CF (1)	0,81
ABSCISA DEL CENTRO DE CARENA	XB (2)	52,2 m
ABSCISA DE CENTRO DE LA FLOTACIÓN	XF (2)	47,9 m

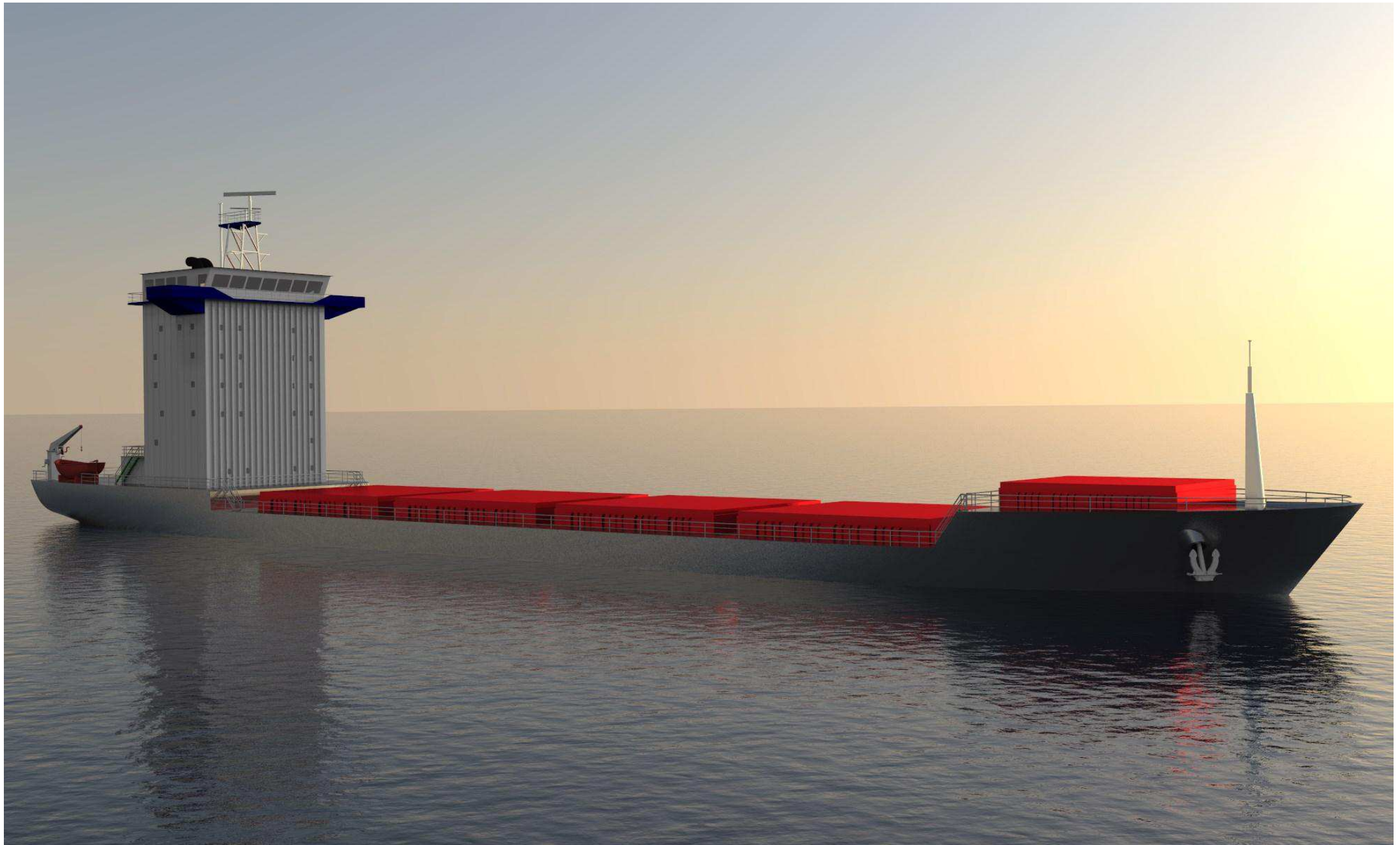
(1) DATOS REFERIDOS AL CALADO
(2) ABSCISAS POSITIVAS A PROA DE LA PERPENDICULAR DE POPA

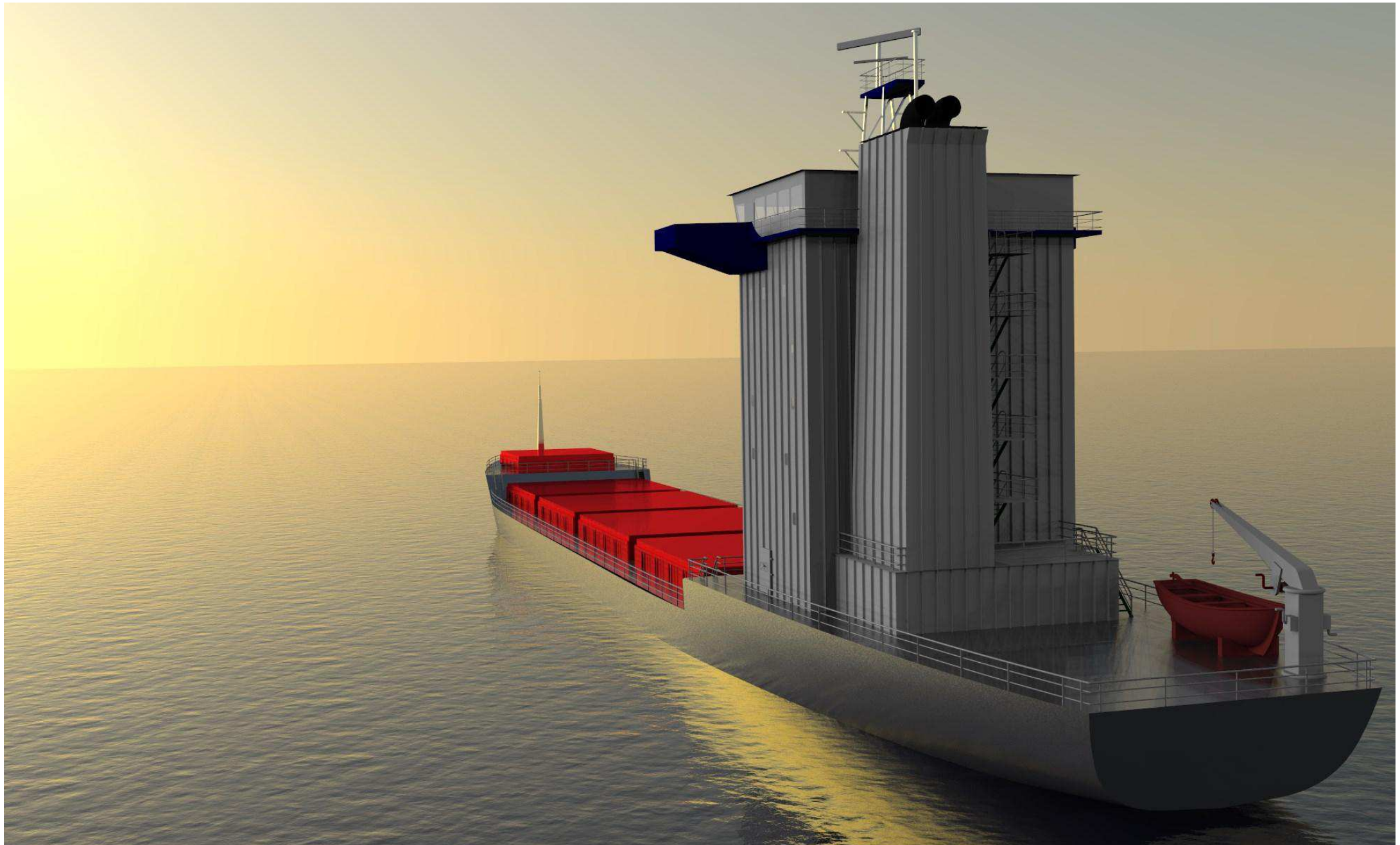
ANEXO III – RENDERIZADOS







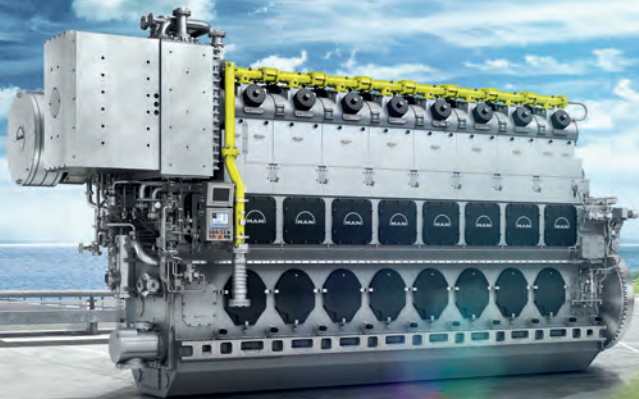




ANEXO VI – INFORMACIÓN MOTORES

MOTOR PRINCIPAL

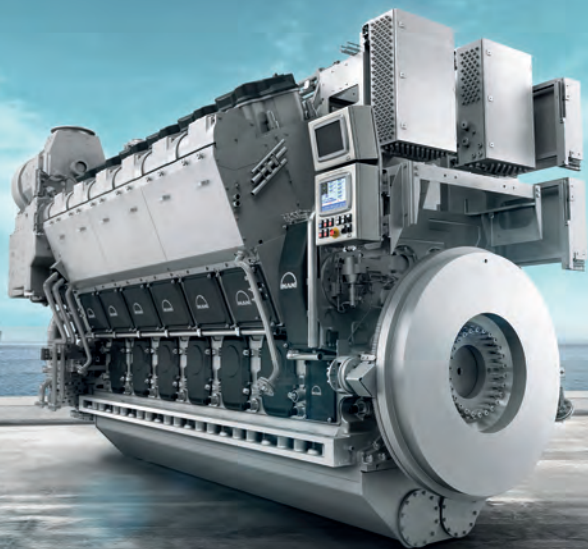
MAN Four-Stroke Propulsion Engines



Engineering the Future – since 1758.

MAN Diesel & Turbo





MAN Four-Stroke Propulsion Engines

MAN Four-Stroke Propulsion Engines – All Emission Requirements

Besides the focus on power density and fuel economy, MAN Diesel & Turbo is committed to a steady reduction of the environmental impact of our engines.

IMO Tier II

Applying well-proven methods to achieve a cleaner and more efficient combustion process, MAN Diesel & Turbo has significantly decreased NO_x emissions. Our four-stroke propulsion engines are IMO Tier II compliant with internal engine measures alone.

IMO Tier III

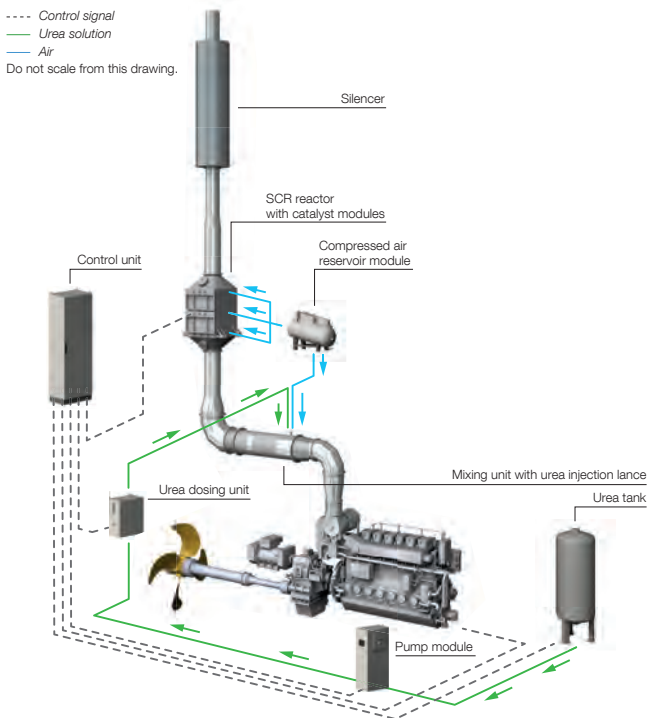
For operation in emission control areas (ECA), MAN Diesel & Turbo has developed a comprehensive range of selective catalytic reduction (SCR) systems that tremendously reduces NO_x levels surpassing IMO Tier III requirements.

MAN Diesel & Turbo is the first manufacturer to successfully produce and offer IMO Tier III compliant four-stroke marine engines, based on a fully modular SCR kit covering our entire four-stroke engine portfolio. In 2014 MAN Diesel & Turbo was awarded the first IMO Tier III EIAPP certificate together with the classification society DNV-GL.

MAN Four-Stroke Propulsion Engines

MAN Diesel & Turbo's standard SCR system is available in fourteen different sizes covering our entire portfolio of four-stroke medium speed engines. Customized SCR systems are offered on demand.

MAN has developed a complete range of SCR systems that work perfectly with our engines for maximum system efficiency. The intelligent exhaust gas temperature control allows for significant savings in fuel consumptions as compared to third party supplier systems. MAN SCR systems work with MGO, MDO and HFO with up to 3.5% sulphur.



MAN propulsion plant with complete SCR system

MAN Four-Stroke Propulsion Engines

Our modular system comes in 14 different sizes to match all power demands. Some notable benefits of standardization are significant cost reduction and simplification of installation.



The modular SCR component kit

Typical urea consumption values for IMO Tier III compliance

Engine type	Engine speed	Specific urea consumption*
	[r/min]	[g/kWh]
48/60CR	514	13.4
32/44CR	750	12.3
28/33D STC	1,000	11.4

*Tolerance 5%

MAN Four-Stroke Propulsion Engines

Conventional Injection Engines

Our well established engine types are used in a vast array of applications all over the world. Based on long term experience of historical proportions, our engines are in continuous development to increase power, reduce emissions, increase reliability, reduce fuel oil consumption, and increase longevity. Our engines are the choice solution and prime movers of the maritime sector.

Common Rail (CR) Engines

The flexibility of our CR technology enables a substantial improvement of the combustion process that improves the fuel economy and reduces emission levels. It is particularly advantageous in the low-load and mid-load ranges where our unique ECOMAP system applies different engine maps to reduce fuel consumption while observing IMO Tier II. Another feature is our patented Boost Injection. Our engine control system senses a load increase at a very early stage and tremendously improves load response with the activation of Boost Injection in our common rail control. In addition, exhaust gas opacity is markedly reduced, far below the visibility limit. Our CR engines run efficiently on liquid fuels complying with ISO 8217-2010 DMA, DMZ, and DMB, and on residual fuels up to 700cSt (in compliance with ISO-F-RMK 700).

MAN Four-Stroke Propulsion Engines

Diesel Oil (D) Engines

The V28/33D STC features very favourable ratios of power-to-weight and power-to-installation space. Its combination of low fuel consumption, low emissions and reduced life cycle costs makes this engine the ideal solution for propulsion in high speed ferries, naval and offshore patrol vessels. The V28/33D STC engine operates on distillates according to ISO 8217 DMA or equivalent fuel types.

Sequential Turbocharging (STC)

The MAN Diesel & Turbo sequential turbocharging system operates with two high-efficiency turbochargers. Depending on the amount of charge air required, the second turbocharger is switched on or off. In this way, the engine is operated at its optimum operating point over the whole applicable load range.

The result is an extended operating envelope at low engine speeds, which gives a power reserve for ship acceleration, ship turning, sprints or towing. Furthermore, the STC system is characterised by a low thermal signature, decreased smoke emission, low vibrations and continuous low-load operation with reduced fuel consumption, which makes it the ideal solution for propulsion in naval applications and offshore patrol vessels.

Dual Fuel (DF) Engines

Dual fuel engines from MAN Diesel & Turbo run efficiently on liquid fuels or natural gas with very low emissions that are compliant with IMO limits. The possibility to switch over seamlessly from gas to diesel operation and vice versa provides full flexibility in multiple applications.

All dual fuel engines can run on natural gas with a methane number higher than 80 without adjustments. For lower methane numbers, MAN Diesel & Turbo can deliver well-adapted solutions. The optimised combustion chamber ensures a very low fuel consumption in both operational modes.

MAN Four-Stroke Propulsion Engines

Engine Power

Engine brake power is stated in kW.

Ratings are given according to ISO 3046-1:2002.

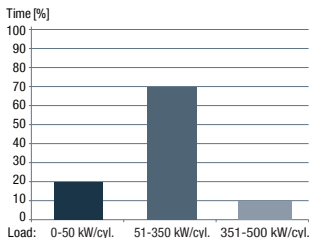
According to ISO 15550:2002, the power figures in the tables remain valid within a range of $\pm 3\%$ up to tropical conditions at sea level, i.e.:

- compressor inlet temperature 45 °C
- compressor inlet pressure 1,000 mbar
- sea water temperature 32 °C

For all medium speed propulsion engines, the power is defined according to the ICN¹ definition (ISO 3046-1:2002:ISO standard power) with one exception.

For the load profile type Navy, for the engine types V28/33D STC, the rated power of the engine is stated according to the ICFN¹ power definition (ISO 3046:2002:ISO standard fuel stop power).

Load profile type: Navy (ICFN)



Typical use: fast yachts, corvettes, frigates and OPV

¹ I = ISO power

C = continuous power output

[F = fuel stop power]

N = net

MAN Four-Stroke Propulsion Engines

Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) and Heat Rate

The stated consumption figures refer to the following reference conditions according to ISO 3046-1:

- ambient air pressure 1,000 mbar
- ambient air temperature 25 °C (77 °F)
- charge air temperature according to engine type, corresponding to 25 °C cooling water temperature before CAC

The figures are given with a tolerance of +5% and without engine driven pumps. Attached pumps and engines running in suction dredger operation will require additional fuel.

In accordance with the NO_x Technical Code 2008 of the International Maritime Organization, DM-grade fuel oil is used as reference fuel oil for engine tests and, thus, also forms the basis for the SFOC figures stated for engines in liquid fuel operation.

Unless otherwise specifically stated, SFOC figures are based on a lower calorific value of the fuel oil of 42,700 kJ/kg and, in addition for engines with common rail injection (CR-engines), on DMA-grade fuel oil (ISO 8217-2010). For engines with conventional fuel injection, SFOC figures are based on DMB-grade fuel oil (ISO 8217-2010). For further details please refer to our engine specific project guides available from MAN Diesel & Turbo.

Specific Lube Oil Consumption (SLOC)

The specific lube oil consumption is specified at MCR (maximum continuous rating) with a tolerance of 20%.

Blocking of Output

Blocking of output is made for engines driving a propeller at 100% of the rated output. For engines powering an alternator, blocking of output is made at 110%. However, operation above 100% load is only recommended for a short period of time for recovery and prevention of a frequency drop.

MAN Four-Stroke Propulsion Engines

Weights and Dimensions

For marine main engines, the weights stated refer to engines without a flywheel.

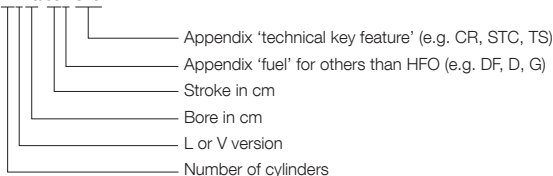
For auxiliary engines (gensets), the weights correspond to the unit (including alternator). The weight of the GenSets may vary depending on the alternator make. All weights given are without lube oil and cooling water.

The length of the genset unit depends on the alternator make. For a twin engine installation, the centreline distance is stated for each engine type.

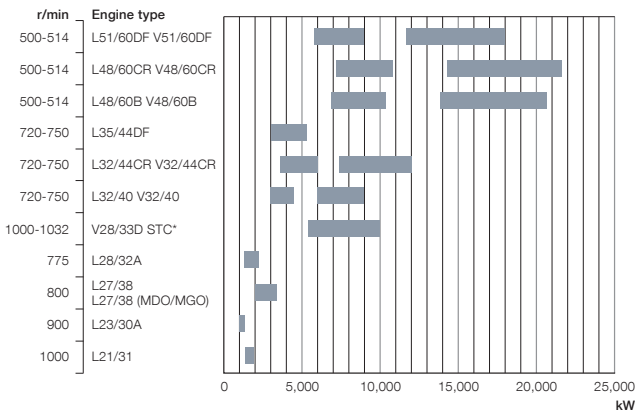
The centreline distance for twin engine installation is given as a minimum value. Specific requirements to the passageway (e.g. of classification societies or flag state authority), kind of seating or a mounted gallery can lead to higher values.

Engine Type Designation

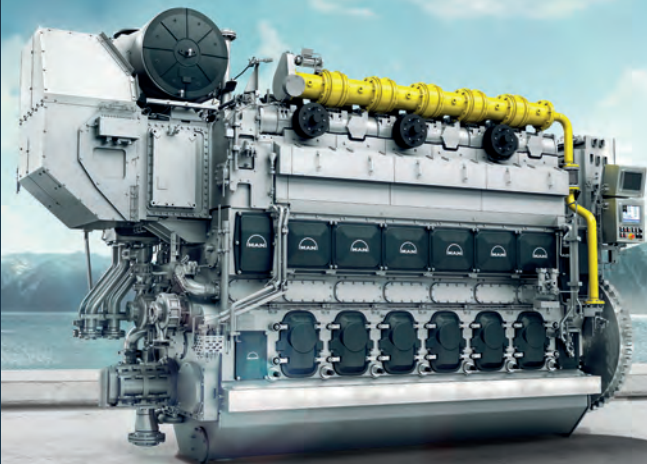
12V28/33D STC



MAN Four-Stroke Propulsion Engines



* The engine complies with EPA Tier 2



Tier III in gas mode

Bore: 350 mm, Stroke: 440 mm

Speed	r/min	750	720
mep	bar	20.0	20.1
		kW	kW
6L35/44DF		3,180	3,060
7L35/44DF		3,710	3,570
8L35/44DF		4,240	4,080
9L35/44DF		4,770	4,590
10L35/44DF		5,300	5,100

LHV of fuel gas $\geq 28,000$ kJ/Nm³(Nm³ corresponds to one cubic meter of gas at 0 °C and 1.013 bar)**Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) and Heat Rate to ISO conditions**

MCR	100%	85%
Specific fuel oil consumption ¹⁾	182 g/kWh	181 g/kWh
Heat rate ²⁾	7,530 kJ/kWh	7,615 kJ/kWh

Specific lube oil consumption 0.5 g/kWh

Engine type specific reference charge air temperature before cylinder 40 °C

¹⁾ Liquid fuel operation²⁾ Gas operation (including pilot fuel), gas fuel: methane no. ≥ 80 **Dimensions**

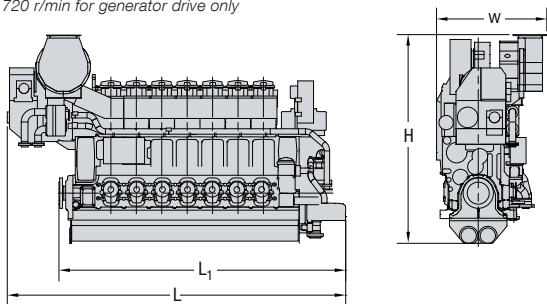
Cyl. No.		6	7	8	9	10
L	mm	6,485	7,015	7,545	8,075	8,605
L ₁	mm	5,265	5,877	6,407	6,937	7,556
W	mm	2,539	2,678	2,678	2,678	2,678
H	mm	4,163	4,369	4,369	4,369	4,369
Dry mass ³⁾	t	42.1	47.5	52.9	57.4	62.4

Minimum centreline distance for twin engine installation: 2,500 mm

V-engine type under preparation

³⁾ Including built-on lube oil automatic filter, fuel oil filter and electronic equipment

Speed 720 r/min for generator drive only



MAN V32/44CR

Tier II Tier III EPA Tier 2

Tier III with SCR

Bore: 320 mm, Stroke: 440 mm

Speed	r/min	750	720
mep	bar	27.1	28.3
		kW	kW
12V32/44CR		7,200	7,200
14V32/44CR ¹⁾		7,840	7,840
16V32/44CR		9,600	9,600
18V32/44CR ²⁾		10,800	10,800
20V32/44CR		12,000	12,000

Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) to ISO conditions

MCR	100%	85%
V32/44CR	174.0 g/kWh	172.0 g/kWh
14V32/44CR	177.5 g/kWh	175.0 g/kWh
V32/44CR FPP	179.0 g/kWh	173.0 g/kWh

Specific lube oil consumption 0.5 g/kWh

Engine type specific reference charge air temperature before cylinder 40 °C

Dimensions

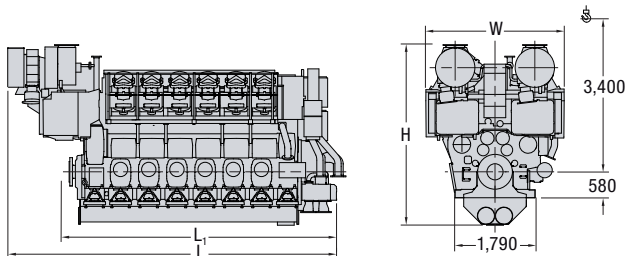
Cyl. No.		12	14	16	18	20
L	mm	7,195	7,970	8,600	9,230	9,860
L ₁	mm	5,795	6,425	7,055	7,685	8,315
W	mm	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100
H	mm	4,039	4,262	4,262	4,262	4,262
Dry mass ³⁾	t	70	79	87	96	104

Minimum centreline distance for twin engine installation: 4,000 mm

Speed 720 r/min for generator drive/constant speed operation only

¹⁾ 560 kW/cyl²⁾ 18V 32/44CR available rigidly mounted only³⁾ Including built-on lube oil automatic filter, fuel oil filter and electronic equipment

Fixed pitch propeller: 510 kW/cyl, 750 r/min



Tier III with SCR

Bore: 320 mm, Stroke: 440 mm

Speed	r/min	750	720
mep	bar	27.1	28.3
		kW	kW
6L32/44CR		3,600	3,600
7L32/44CR ¹⁾		3,920	3,920
8L32/44CR		4,800	4,800
9L32/44CR		5,400	5,400
10L32/44CR		6,000	6,000

Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) to ISO conditions

MCR	100%	85%
L32/44CR	174.0 g/kWh	172.0 g/kWh
7L32/44CR	177.5 g/kWh	175.0 g/kWh
L32/44CR FPP	179.0 g/kWh	173.0 g/kWh

Specific lube oil consumption 0.5 g/kWh

Engine type specific reference charge air temperature before cylinder 40 °C

Dimensions

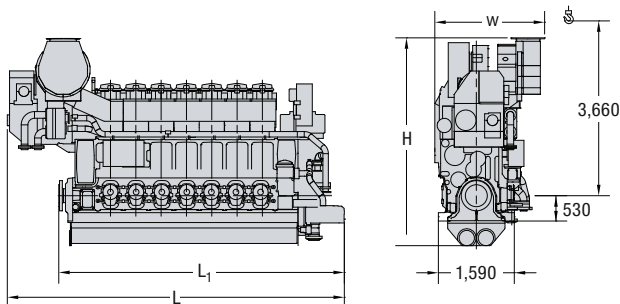
Cyl. No.		6	7	8	9	10
L	mm	6,312	6,924	7,454	7,984	8,603
L ₁	mm	5,265	5,877	6,407	6,937	7,556
W	mm	2,174	2,359	2,359	2,359	2,359
H	mm	4,163	4,369	4,369	4,369	4,369
Dry mass ²⁾	t	39.5	44.5	49.5	53.5	58.0

Minimum centreline distance for twin engine installation: 2,500 mm

Speed 720 r/min for generator drive/constant speed operation only

¹⁾ 560 kW/cyl²⁾ Including built-on lube oil automatic filter, fuel oil filter and electronic equipment

Fixed pitch propeller: 510 kW/cyl, 750 r/min



Bore: 320 mm, Stroke: 400 mm

Speed	r/min	750	720
mep	bar	24.9	25.9
		kW	kW
12V32/40		6,000	6,000
14V32/40		7,000	7,000
16V32/40		8,000	8,000
18V32/40		9,000	9,000

Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) to ISO conditions

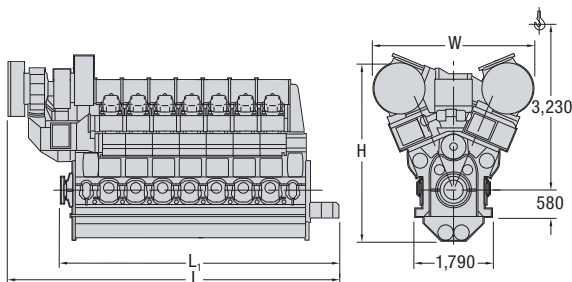
MCR		100%	85%
V32/40		184 g/kWh	182 g/kWh
V32/40 FPP		187 g/kWh	183 g/kWh

Specific lube oil consumption 0.5 g/kWh

Engine type specific reference charge air temperature before cylinder 43 °C

Dimensions

Cyl. No.		12	14	16	18
L	mm	6,915	7,545	8,365	8,995
L ₁	mm	5,890	6,520	7,150	7,780
W	mm	3,140	3,140	3,730	3,730
H	mm	4,100	4,100	4,420	4,420
Dry mass	t	61	68	77	85

*Minimum centreline distance for twin engine installation: 4,000 mm**Speed 720 r/min for generator drive/constant speed operation only**Fixed pitch propeller: 450 kW/cyl, 750 r/min**V32/40 as marine main engine to be applied for multi engine plants only*

Bore: 320 mm, Stroke: 400 mm

Speed	r/min	750	720
mep	bar	24.9	25.9
		kW	kW
6L32/40		3,000	3,000
7L32/40		3,500	3,500
8L32/40		4,000	4,000
9L32/40		4,500	4,500

Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) to ISO conditions

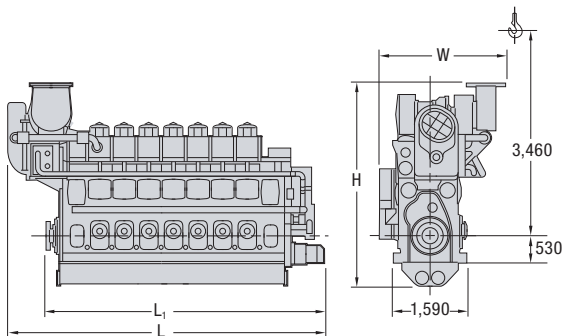
MCR		100%	85%
L32/40		186 g/kWh	183 g/kWh
L32/40 FPP		189 g/kWh	184 g/kWh

Specific lube oil consumption 0.5 g/kWh

Engine type specific reference charge air temperature before cylinder 43 °C

Dimensions

Cyl. No.		6	7	8	9
L	mm	5,940	6,470	7,000	7,530
L ₁	mm	5,140	5,670	6,195	6,725
W	mm	2,630	2,630	2,715	2,715
H	mm	4,010	4,010	4,490	4,490
Dry mass	t	38	42	47	51

*Minimum centreline distance for twin engine installation: 2,500 mm¹⁾**Speed 720 r/min for generator drive/constant speed operation only**Fixed pitch propeller: 450 kW/cyl, 750 r/min*¹⁾ Please contact MAN Diesel & Turbo for the precise information about the centreline distance for two engines with the same cylinder number standing near each other

MOTOR AUXILIAR

Caterpillar is leading the power generation marketplace with Power Solutions engineered to deliver unmatched flexibility, expandability, reliability, and cost-effectiveness.



Specifications

Generator Set Specifications	
Minimum Rating	320 ekW (350 kVA)
Maximum Rating	400 ekW (450 kVA)
Voltage	380 to 415 Volts
Frequency	50 or 60 Hz
Speed	1500 or 1800 RPM

Generator Set Configurations	
Emissions/Fuel Strategy	Low Fuel Consumption, EU Stage IIIA Nonroad Emission Standards, China Nonroad III Emission Standards

Engine Specifications		
Engine Model	C13 ATAAC, I-6, 4-Stroke Water-Cooled Diesel	
Bore	130 mm	5.12 in
Displacement	12.5 L	762.8 in ³
Stroke	157 mm	6.18 in
Compression Ratio	16.3:1	
Aspiration	Air to Air Aftercooled	
Governor Type	Adem™ A4	
Fuel System	MEUI	

Benefits and Features

Cat Diesel Engine

- Reliable, rugged, durable design
- Field-proven in thousands of applications worldwide
- Four-stroke-cycle diesel engine combines consistent performance and excellent fuel economy with minimum weight

Matched to the performance and output characteristics of Cat engines
Industry leading mechanical and electrical design
Industry leading motor starting capabilities
High Efficiency

Cat EMCP Control Panel

The EMCP controller features the reliability and durability you have come to expect from your Cat equipment. EMCP4 is a scalable control platform designed to ensure reliable generator set operation, providing extensive information about power output and engine operation. EMCP4 systems can be further customized to meet your needs through programming and expansion modules.

Design Criteria

The generator set accepts 100% rated load in one step per NFPA 110 and meets ISO 8528-5 transient response.

Single-Source Supplier

Fully prototype tested with certified torsional vibration analysis available

World Wide Product Support

Cat dealers provide extensive post-sale support including maintenance and repair agreements. Cat dealers have over 1,800 dealer branch stores operating in 200 countries. The Caterpillar S•O•SSM program cost effectively detects internal engine component condition, even the presence of unwanted fluids and combustion by-products

Standard Equipment

Packaged Generator Set

- Disposable Air filter
- Service indicator
- Radiator package mounted
- Coolant level sight gauge
- Low coolant level sensor
- Coolant drain line with valve
- Fan and belt guards
- Cat Extended Life Coolant
- Dry exhaust manifold
- Stainless steel flex fittings
- Exhaust flange outlet
- Integral narrow single wall fuel tank base
- Primary fuel filter with integral water separator
- Secondary fuel filters
- Fuel priming pump
- Engine fuel transfer pump
- Fuel cooler integral with cooling system
- Flexible fuel lines
- Class H insulation

- Self excited (SE)
- Class H temperature rise
- IP23 protection
- R450 voltage regulator with single phase sensing and load adjustment module
- Power Center houses EMCP controller and power/control terminations (rear mounted)
- Circuit breaker, IEC compliant, 3-4 pole (100% Rated)
- Segregated low voltage wiring termination panel
- Bottom cable entry
- EMCP 4.1 (Rear-mounted in Power Center)
- Integral Narrow 8hr tank base
- Linear vibration isolation
- 24 volt starting motor
- 24 volt, 45 amp charging alternator
- Batteries with rack and cables
- Paint - Caterpillar Yellow except rails and radiators gloss black (Powder Coated)
- Flywheel housing - SAE No.1/2

Optional Equipment

Packaged Generator Set Options: Note some options are not available in all regions

- Canister type Air Filter:
Single element
Dual element
- Radiator duct flange
- Stone Guard
- Low coolant temperature alarm
- Industrial, Residential, Critical Mufflers
- Manifold and turbocharger guards
- Elbows and flange kits
- Fuel level switch
- Manual fuel transfer pump
- Oversize generators
- Permanent magnet excitation (PMG)
- Internal excited (IE)
- Cat digital voltage regulator (Cat DVR) with kVAR/PF
- Anti-condensation space heaters
- Coastal Insulation Protection (CIP)
- Reactive droop
- Three phase sensing

- C.B. Shunt trips
- C.B. Auxiliary contacts
- EMCP 4.2
- Oil temperature sensor
- Manual sump pump
- Narrow skid base
- Integral Dual Wall 8hr tank base (Available only with enclosed units)
- Jacket water heater
- Battery disconnect switch
- Battery charger - 5 amp
- EU Certificate of Conformance
- Sound attenuated protective enclosure with integral lifting frame
- High Ambient enclosure with integral lifting frame

The International System of Units (SI) is used in this publication. CAT, CATERPILLAR, their respective logos, ADEM, EUI, S-O-S, "Caterpillar Yellow" and the "Power Edge" trade dress, as well as corporate and product identity used herein, are trademarks of Caterpillar and may not be used without permission.

C13 ACERT
400 ekW/ 500 kVA/ 60 Hz/ 1800 rpm/ 480 V/ 0.8 Power Factor

Rating Type: STANDBY

Fuel Strategy: LOW FUEL CONSUMPTION



C13 ACERT
400 ekW/ 500 kVA
60 Hz/ 1800 rpm/ 480 V

Image shown may not reflect actual configuration

Metric English

Package Performance		
Genset Power Rating with Fan @ 0.8 Power Factor	400 ekW	
Genset Power Rating	500 kVA	
Aftercooler (Separate Circuit)	N/A	N/A

Fuel Consumption		
100% Load with Fan	107.7 L/hr	28.4 gal/hr
75% Load with Fan	80.9 L/hr	21.4 gal/hr
50% Load with Fan	56.5 L/hr	14.9 gal/hr
25% Load with Fan	33.7 L/hr	8.9 gal/hr

Cooling System ¹		
Engine Coolant Capacity	14.2 L	3.8 gal

Inlet Air		
Combustion Air Inlet Flow Rate	27.2 m ³ /min	960.0 cfm
Max. Allowable Combustion Air Inlet Temp	50 ° C	122 ° F

Exhaust System		
Exhaust Stack Gas Temperature	577.4 ° C	1071.2 ° F
Exhaust Gas Flow Rate	82.5 m ³ /min	2911.4 cfm
Exhaust System Backpressure (Maximum Allowable)	10.0 kPa	40.0 in. water



C13 ACERT
400 kW/ 500 kVA/ 60 Hz/ 1800 rpm/ 480 V/ 0.8 Power Factor

Rating Type: STANDBY

Fuel Strategy: LOW FUEL CONSUMPTION

Heat Rejection		
Heat Rejection to Jacket Water	158 kW	8981 Btu/min
Heat Rejection to Exhaust (Total)	386 kW	21950 Btu/min
Heat Rejection to Aftercooler	70 kW	3997 Btu/min
Heat Rejection to Atmosphere from Engine	72 kW	4122 Btu/min
Heat Rejection to Atmosphere from Generator	29 kW	1661 Btu/min

Alternator²	
Motor Starting Capability @ 30% Voltage Dip	880 skVA
Current	601 amps
Frame Size	LC6114B
Excitation	SE
Temperature Rise	150 ° C

Emissions (Nominal)³		
NOx	2396.2 mg/Nm ³	4.9 g/hp-hr
CO	630.8 mg/Nm ³	1.3 g/hp-hr
HC	5.7 mg/Nm ³	0.0 g/hp-hr
PM	N/A	N/A

DEFINITIONS AND CONDITIONS

1. For ambient and altitude capabilities consult your Cat dealer. Air flow restriction (system) is added to existing restriction from factory.
2. UL 2200 Listed packages may have oversized generators with a different temperature rise and motor starting characteristics. Generator temperature rise is based on a 40° C ambient per NEMA MG1-32.
3. Emissions data measurement procedures are consistent with those described in EPA CFR 40 Part 89, Subpart D & E and ISO8178-1 for measuring HC, CO, PM, NOx. Data shown is based on steady state operating conditions of 77° F, 28.42 in HG and number 2 diesel fuel with 35° API and LHV of 18,390 btu/lb. The nominal emissions data shown is subject to instrumentation, measurement, facility and engine to engine variations. Emissions data is based on 100% load and thus cannot be used to compare to EPA regulations which use values based on a weighted cycle.

C13 ACERT
400 ekW/ 500 kVA/ 60 Hz/ 1800 rpm/ 480 V/ 0.8 Power Factor

Rating Type: STANDBY

Fuel Strategy: LOW FUEL CONSUMPTION

Applicable Codes and Standards:

AS1359, CSA C22.2 No100-04, UL142,UL489, UL869, UL2200,
NFPA37, NFPA70, NFPA99, NFPA110, IBC, IEC60034-1, ISO3046, ISO8528,
NEMA MG1-22,NEMA MG1-33, 2006/95/EC, 2006/42/EC, 2004/108/EC.

Note: Codes may not be available in all model configurations. Please consult your local Cat Dealer representative for availability.

STANDBY:Output available with varying load for the duration of the interruption of the normal source power. Average power output is 70% of the standby power rating. Typical operation is 200 hours per year, with maximum expected usage of 500 hours per year.

Ratings are based on SAE J1349 standard conditions. These ratings also apply at ISO3046 standard conditions

Fuel Rates are based on fuel oil of 35° API [16° C (60° F)] gravity having an LHV of 42 780 kJ/kg (18,390 Btu/lb) when used at 29° C (85° F) and weighing 838.9 g/liter (7.001 lbs/U.S. gal.). Additional ratings may be available for specific customer requirements, contact your Cat representative for details. For information regarding Low Sulfur fuel and Biodiesel capability, please consult your Cat dealer.

www.Cat-ElectricPower.com

Performance No.: EM0423-04

Feature Code: C13DE12

Generator Arrangement: 3969606

Date: 05/20/2016

Source Country: U.K.

The International System of Units (SI) is used in this publication. CAT, CATERPILLAR, their respective logos, ADEM, EUI, S•O•S, "Caterpillar Yellow" and the "Power Edge" trade dress, as well as corporate and product identity used herein, are trademarks of Caterpillar and may not be used without permission.