

TITULACIÓN INTEGRAL EN INGENIERÍA NAVAL.

DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA PRODUCTOS DE PETRÓLEO DE 50,000 TONELADAS DE PESO MUERTO



ASESOR:

I.N. L.A.E. ANTONIO RUBEN BENÍTEZ GASCA

ESTUDIANTES:

LEVÍ AMMISADDAY ESCALERA FLORES

JUAN CARLOS LÓPEZ JASSO

ÁNGEL DE JESÚS LÓPEZ ORTEGA

DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA PRODUCTOS DE PETRÓLEO DE 50,000 TONELADAS DE PESO MUERTO



CAPÍTULO 1: ADMINISTRACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO

CONTENIDO

PARTE UNO.....	1.1
1.0 INVESTIGACIÓN INICIAL DE LA SITUACIÓN DEL PROYECTO.	1.1
1.1 DEFINICIÓN DEL TIPO DE EMBARCACIÓN.	1.1
1.2 CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE EMBARCACIÓN.	1.2
1.3 RUTA COMERCIAL.....	1.4
1.4 PUERTOS.	1.5
1.5 CARGA A TRANSPORTAR.	1.6
1.6 CONFIGURACIÓN GENERAL DE LA EMBARCACIÓN.	1.6
1.7 CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA Y ESTRUCTURAL DE LA EMBARCACIÓN.....	1.7
1.8 REGLAS Y REGULACIONES.	1.8
1.9 EVALUACIÓN DE MERCADO.	1.8
PARTE DOS.....	1.9
2.0 DIMENSIONAMIENTO MEDIANTE LA ESTRATEGIA DE DISEÑO “BASADO EN PUNTOS”.	1.9
2.1 INTRODUCCIÓN AL MÉTODO “POINT-BASED DESIGN”.	1.10
2.2 BASE DE DATOS DE EMBARCACIONES SIMILARES.	1.11
2.3 PRIMERA ESTIMACIÓN DE LAS DIMENSIONES.	1.13
2.4 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	1.20
2.5 MEDIDAS DE MÉRITO Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ÓPTIMA.	1.21
2.6 VIABILIDAD TÉCNICA DEL COEFICIENTE DE BLOCK, FRANCOBORDO Y ESTABILIDAD INICIAL.....	1.21
2.7 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	1.25

PROYECTO PARA DISEÑO DE VEHÍCULOS MARINOS NVC-1016			
PERIODO FEBRERO A JULIO 2021			
	PROYECTO No. 12	PROFESOR: ANTONIO R. BENÍTEZ GASCA	
	TANKER: WET-BULK CARRIER TYPE: PRODUCT TANKER SIZE: 50,000 DWT @ T _s = 13.3 m CLASS: HANDYMAX DESIGN SPEED: 14.5 Knots ENDURANCE: 10,000 nm	EQUIPO DE ESTUDIANTES: ESCALERA FLORES LEVY AMMISADDAY LOPEZ JASSO JUAN CARLOS LOPEZ ORTEGA ANGEL DE JESUS ORTEGA RIVERA DAVID	
Especificación del proyecto, línea de negocio/ruta comercial, y contexto			
<u>Especificación técnica</u> Embarcación clase HANDYMAX para productos del petróleo, diseño del casco con protección de doble fondo y doble casco en zona de carga, cubierta corrida con cámara de máquinas y habilitación a popa, cofferdams entre tanques de combustible y casco externo en cámara de máquinas, proa de bulbo, peso muerto de 50,000 t a calado máximo (scantling) de 13.3 m, planta de propulsión diesel marino MAN 2T baja velocidad directamente acoplada a hélice de paso fijo, velocidad de servicio de 14.5 nudos a calado de diseño de 11 m (90% MCR, 15% margen de mar), capacidad de tanques de carga de 54,900 m³, 12 tanques de carga (6x2 + 2 slops), autonomía de 10,000 millas náuticas, 28 tripulantes en cabinas individuales con baño privado y HVAC total, capacidad de descarga máxima de bombas (sumergidas) de carga en 8 horas, clasificación y cota +1A1 de DNV o equivalente IACS, cumplimiento de normativa aplicable vigente en reglas, regulaciones y convenios para su diseño, construcción y operación.			
<u>Línea de negocio/ruta comercial</u> Transporte de productos del petróleo en todo el mundo con posibilidad de operar a través del Canal de Panamá en los mercados del Atlántico y del Pacífico.			
<u>Contexto</u> Se parte de la suposición de que una empresa naviera está en el negocio del transporte del petróleo así como sus productos derivados y que tiene una flota de embarcaciones operando entre los puertos más importantes de todo el mundo. La naviera va a reemplazar uno de sus tanqueros más antiguos mediante el modo de adquisición de compra directa de un tanker de nueva construcción para un periodo proyectado de vida económica de 25 años por lo que espera que por medio de la gestión de invitación a una licitación internacional a distintos astilleros especializados en este tipo de embarcaciones pueda seleccionar una propuesta con el precio de adquisición más bajo. La naviera conoce ese negocio, está posicionada en el mercado, tiene la infraestructura pertinente y ha establecido a través del tiempo todos los servicios logísticos necesarios para una efectiva administración de operaciones, de ahí su decisión en el modo de adquisición del tonelaje y el relativo bajo nivel de exposición al riesgo comercial (volatilidad de flete en el mercado). Se supone también un esquema simplificado en relación al financiamiento vía deuda (debt financing) para la adquisición del activo (el tanker) con 80% de capital de deuda y 20% de capital propio, considerando una TREMA después de impuestos del 12% anual, una tasa de la deuda del 8% anual, una tasa de impuesto del 40% anual y, un valor de salvamento de 7% del precio de adquisición, considerando dólares corrientes (USA).			
			

PARTE UNO

1.0 Investigación inicial de la situación del proyecto.

Partiendo de la especificación técnica del Proyecto No. 12, del que se han determinado los aspectos a considerar en el diseño de una embarcación, en los siguientes párrafos se describe lo relativo a las consideraciones que delimitan el proyecto tanto en lo técnico como en lo económico.

1.1 Definición del tipo de embarcación.

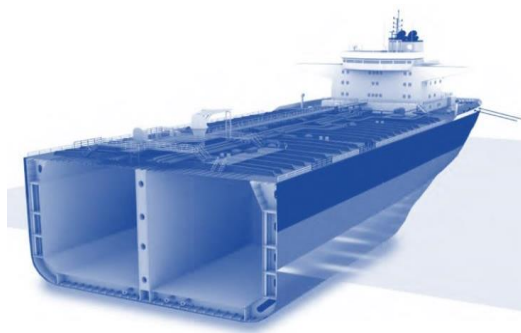
Actualmente una gran parte del petróleo se transporta por vía marítima, la creciente utilización de los productos derivados del petróleo, en particular los combustibles, lubricantes y posteriormente los productos de la industria petroquímica han provocado un enorme desarrollo del tráfico marítimo de petróleo crudo y sus derivados.

El buque para el caso de estudio del proyecto es un buque para el transporte de carga líquida a granel, en el que sus bodegas son empleadas para el almacenamiento de cargas líquidas “Wet-Bulk-Carrier”.

El Wet-Bulk-Carrier es un tipo de buque diseñado para el uso de transporte de productos de petróleo desde lo que es la refinería hasta una terminal en el puerto.

La tecnología aplicada a la construcción de estos buques ha evolucionado año tras año. adelantos tales como el “lavado con crudo” y el uso de “sistemas de gas inerte” han sido empleados con el objeto de evitar incendios y/o explosiones, las construcciones de doble casco, el avance de las comunicaciones, la automatización y los sistemas de navegación, así como las estrictas exigencias para operarlos permiten inferir que los buques, y en particular los petroleros, continuarán experimentando cambios y mejoras durante los próximos años.

Figura 1.1. Buque tanque para el transporte de petróleo y derivados.



Fuente: Proyecto 1.731 Petrolero para crudo, PFC J. A. Durango.

1.2 Clasificación del tipo de embarcación.

Los buques tanque se pueden dividir en dos tipos principales: los buques petroleros “Crude Oil Tankers” y los de productos derivados del petróleo “Product Tankers”.

Los primeros transportan petróleo crudo desde la terminal marítima del yacimiento (prácticamente su lugar de origen) hasta las terminales en refinería o, por razones logísticas, hasta el cabezal de un oleoducto. También pueden transportar derivados pesados como por ejemplo el Fuel Oil, con una apropiada calefacción de la carga. (*Proyecto 1.731, Petrolero para crudo de 150.000 TPM, José Antonio Durango Ramón,)*

Los “Product Tankers”, en su mayoría de porte inferior, transportan básicamente productos refinados tales como gasolinas, diesel, querosenos, entre otros. El transporte de estos productos puede ser realizado en forma simultánea y debidamente segregados. Los buques más modernos disponen de tanques protegidos con recubrimientos que preservan aún más la calidad de la carga transportada.

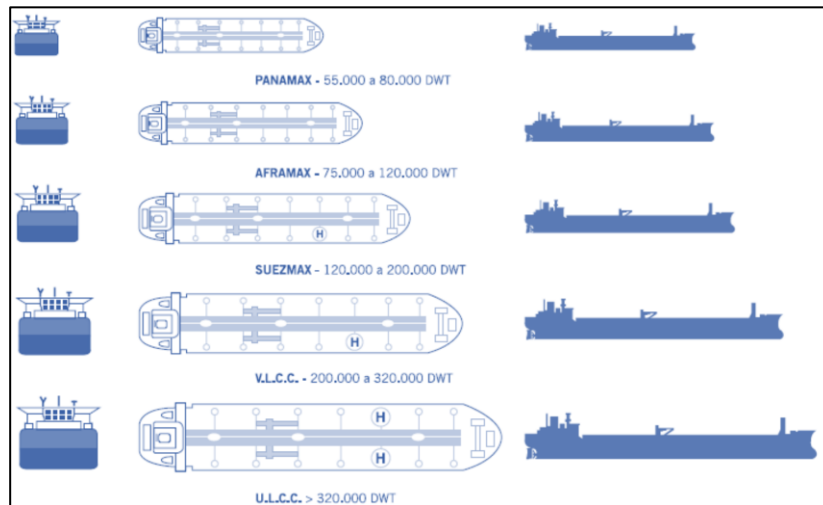
Estos buques “Product Tankers” cuentan con la posibilidad de transportar productos “sucios” como el propio crudo o derivados pesados, aunque se debe tener muy en cuenta que para volver a transportar productos “limpios”, es necesario realizar una limpieza a fondo de los tanques, lo que implicará costos y tiempo del buque inmovilizado mientras se realiza el acondicionamiento de sus bodegas. Se trata entonces de una posibilidad poco recomendable.

Para poder definir el tipo de embarcación se reconocen la carga o los productos que deben transportar. En alcance a la especificación técnica del proyecto se establece el diseño para el transporte de productos derivados del petróleo “Product Tanker”.

- Desde un punto de vista general, podemos agrupar los buques petroleros según su capacidad de transporte e idoneidad para cada tráfico:
- Coastal Tanker (Costeros): Son buques de hasta 16,500 TPM usados en trayectos costeros o cortos.
- General Purpose Tanker (Multipropósito): Van desde 16,500 a 25,000 TPM, operan en diversos tráfico.
- Handy Size Tanker: Se trata de módulos de 25,000 a 30,000 TPM, Ejemplos de áreas de operación son el Caribe, costa Este de los Estados Unidos, Mediterráneo y Norte de Europa.
- Handymax: con tonelajes inferiores a 60,000 TPM, normalmente tiene una capacidad de entre 35,000 y 50,000 TPM. Estos buques son adecuados para puertos pequeños con restricciones de longitud y calado, o puertos que carecen de infraestructura de transbordo.

- Panamax: Con tonelajes entre los 55,000 y 80,000 TPM. Su nombre se debe a que originalmente las dimensiones de estos buques cumplían con las máximas permitidas para su tránsito por el Canal de Panamá (274 metros de eslora, 32 m de manga y 13 m de calado).
- Aframax: Derivados de la Average Freight Rate Assessment, se acepta un rango de entre 75,000 y 120,000 TPM. Sus tráficos habituales incluyen cargamentos entre puertos ubicados en áreas como el Caribe, el mar Mediterráneo o el Golfo Pérsico.
- Suezmax: Sus módulos van desde las 120.000 hasta los 200.000 TPM. En sus orígenes su nombre estaba vinculado a que el módulo con su mayor carga cumplía con las máximas dimensiones permitidas para el tránsito por el canal de Suez, aunque hoy en día navegan por este canal buques de hasta 300,000 TPM.
- V.L.C.C. (Very Large Crude Carrier): Con pesos muertos desde 200,000 hasta 320,000. Por sus dimensiones se trata de buques que operan por lo general en terminales mar adentro.
- U.L.C.C. (Ultra Large Crude Carrier): Son todos aquellos cuya capacidad de carga supere las 320.000 TPM. Estos superpetroleros aparecen en el mercado a finales de los años 1960. Debido a su gran tamaño son muy limitados para operar en aguas restringidas.

Figura 1.2 Clasificación de tanqueros considerando el Peso Muerto (DWT).



Fuente: Guillermo Ricargo Gadea, Petrotecnia.

Una vez establecida esta clasificación para el tipo de buque a diseñar con la especificación técnica de 50,000 TPM, se clasifica la embarcación a diseñar como un buque de productos de petróleo de la categoría Handymax.

1.3 Ruta comercial.

Aproximadamente, la mitad de la producción mundial del petróleo, que alcanza los 90 millones de barriles diarios, se transporta actualmente por vía marítima, la mayor parte de este atraviesa en un momento dado uno de los 7 estrechos de transporte marítimo.

Estas formaciones geográficas, conocidas como Estrechos, canales de difícil navegación y vías cruciales desde el punto de vista geopolítico.

Son siete estos puntos estratégicos, y su bloqueo por algún conflicto internacional podría provocar el caos en los mercados energéticos y cambios en el precio del petróleo (generando alteraciones en sus derivados).

Se presenta a continuación una lista de las siguientes regiones que se consideran de interés para el establecimiento de la ruta:

- El estrecho de Ormuz.
- Estrecho de Malaca.
- Estrecho de Bab el Mandeb.
- Estrechos Daneses.
- Estrechos de Turquía.
- Canal de Suez.
- Canal de Panamá.

Fig. 1.3.1



Fuente: World Energy Trade

Para poder definir la ruta comercial, se parte de la suposición descrita en la especificación técnica del proyecto, donde una empresa naviera que está en el negocio del transporte del petróleo, así como sus productos derivados y que tiene una flota de embarcaciones operando entre los puertos más importantes de todo el mundo, la cual ha decidido transportar sus productos del petróleo en todo el mundo con posibilidad de operar a través del Canal de Panamá en los mercados del Atlántico y del Pacífico.

Sin embargo, llevando a cabo una inspección de las rutas comerciales para la categoría Handymax, en el transporte de productos derivados del petróleo, se puede observar que además del Atlántico y Pacífico, existen rutas que podrían representar una posibilidad de integración a las capacidades, toda vez que la distancia entre puertos de las rutas se encuentra dentro del rango establecido en la especificación técnica para la autonomía.

De esta manera, se puede apreciar que, en efecto, las rutas de comercio para la categoría Handymax tienen un lugar posicionado en el ámbito internacional y conectan de forma integral en los cinco continentes y los distintos océanos y mares en el globo terráqueo.

Figura 1.3.2 Rutas principales para Tanqueros de productos en el mundo.



Fuente: www.seekingalpha.com

1.4 Puertos.

La designación de los puertos requiere de considerar aspectos relacionados con las distancias de conexión y de los puntos apropiados en la ruta antes definida.

Para ello, nos auxiliamos de la tabla 1.4.1 en la que se estimaron las distancias de las rutas comerciales de buques tanque de productos derivados del petróleo entre los puertos más importantes para la categoría Handymax en este sector.

Tabla 1.4.1 Principales Rutas comerciales para Tanqueros de Productos

Puerto de Zarpe	Puerto de Arribo	Producto	Distancia (MN)
Port Arthur, Texas, USA.	Buenaventura, Colombia	Gasolina Diesel	1,900
Baytown, Texas, USA	Santos, Brasil	Gasolina Diesel	5,500
Londres, Inglaterra	Lagos, Nigeria	Gasolina Diesel	4100
Negishi, Tokio, Japón	Gladstone, Australia.	Gasolina Diesel	3,700
Esmirna, Turquía	Nagasaki, Japón	Gasolina Diesel	8,500

Fuente: Elaboración propia con datos del sitio web www.searates.com

Por lo tanto, se considera apropiado que el buque pueda llevar a cabo operaciones entre estos puertos ya que en ellos se respeta el margen de la autonomía establecida en la especificación técnica del proyecto.

1.5 Carga a transportar.

Unos de los requerimientos que otorga el armador es el producto que va a ser cargado en el buque. De acuerdo con las especificaciones técnicas la embarcación entra en la clasificación de Handymax. El Handymax tiene subclasificaciones que definen al wet-bulk carrier para sus compartimientos sub-rectangulares y permeables para el transporte material líquido a grane, para este caso serán productos derivados del petróleo o hidrocarburos, usualmente gasolinas, diesel y queroseno los principales productos para este buque tanque.

1.6 Configuración general de la embarcación.

El buque handymax es un buque de 50,000 toneladas de peso muerto a calado máximo, que será cargado a un máximo de 54900 m³ subdivididos en 12 tanques de carga y 2 tanques de residuos, unos de los requerimientos necesario es el uso de una planta de propulsión en popa y que se cumpla una velocidad de servicio de 14.5 nudos a un calado de diseño de 11 metros con regímenes de (90% MCR, 15% Margen de mar.)

La selección que debe cumplir la planta propulsora para poder navegar a una potencia que se genera a 14.5 nudos en velocidad de servicio es; Planta de propulsión de combustible diesel marino MAN 2T de baja velocidad, cuyo acoplamiento de una hélice de paso fijo.

El buque estará sometido a periodos de navegación dentro de una autonomía de 10, 000 millas náuticas, esto indica un promedio de 28 días a la velocidad de 14.5 nudos.

Las rutas de navegación establecidas en el apartado 1.4 permiten obtener una idea de que con la autonomía de 10,000 MN es posible alcanzar este cometido.

El buque requiere una tripulación de 28 personas en servicio para poder tripular el buque; para esto cada tripulante debe de contar con su cabina individual con servicio sanitario privado y HVAC total.

El handymax debe tener una adaptación en sus compartimientos de carga líquida a granel o tanques; de bombas sumergidas para la descarga del material líquido a granel que transportara en los tanques cuyo material son derivados de petróleo o hidrocarburos; cuya función de las bombas sumergidas es la descarga del fluido en un periodo de 8 horas.

1.7 Configuración geométrica y estructural de la embarcación.

En lo que respecta a la configuración geométrica y en alcance a lo estipulado en especificación técnica el buque debe poseer doble fondo, la estructura del buque debe contar con cubierta corrida, con una cámara de máquinas habilitada a popa.

El buque debe contar con cofferdams, consta de una serie de mamparos transversales de escasa longitud que subdividen en gran escala una zona limitada por el forro del barco, un mamparo estanco paralelo aproximadamente a él y las dos cubiertas. Estos cofferdams estarán entre tanques de combustible.

En la cámara de máquinas debe contar con casco externo como refuerzo a fuerzas externas que tenga el viento y olas hacia esa sección del buque.

En la sección de carga del buque contara con 12 tanques de carga de (6x2) de dimensiones de 54900 m³ y contara con 2 slops cuya función es almacenar las aguas oleosas empleadas en el lavado de tanques.

El buque contara con proa de bulbo; Su función principalmente es la de crear un segundo tren de olas que interactúe con el creado por la proa tratando de hacer coincidir la cresta de uno con el seno del otro y viceversa, y así, siguiendo la ley de superposición de efectos, reducir la resistencia al avance del buque por formación de olas.

1.8 Reglas y regulaciones.

El buque llevara un régimen de clasificación y cota +1A1 de DNV La notación 1A1 se asignará a los buques cuyo casco, maquinaria, sistemas y equipos se encuentren en cumplimiento de los requisitos de la regla aplicable según se indica.

Un buque desarrolla el acota +1A1 cumpliendo regímenes de buques similares en la construcción, esto indica que el astillero se guía de un buque base que cumpla los requisitos de DNV y así adaptarlos a las dimensiones y requerimientos del armador.

Clasificación DNV indica requisitos y anotaciones de clase adicionales Hielo (C) y Hielo (E) para barcos destinados al servicio en aguas con condiciones de hielo ligero y hielo a la deriva localizado.

Esto es el diseño de casco para adaptaciones de navegación en mares donde la temperatura son bajas, estas adaptaciones que debe poseer el buque desarrollan una función importante, la cual es que el casco sea rígido y no sufra deformaciones con los cambios de temperatura.

Las maquinarias, sistemas y equipos deben de estar desarrollados para cumplir regímenes, los cuales son desarrollar potencia, velocidad, servicio, de acuerdo con la misión del buque.

El buque handymax está también dentro de la casa de clasificación IACS está dedicado a barcos seguros y mares limpios, IACS hace una contribución única a la seguridad y la regulación marítimas a través del apoyo técnico, la verificación del cumplimiento y la investigación y el desarrollo.

1.9 Evaluación de mercado.

Los pronósticos para los distintos mercados del transporte marítimo permiten sentar un panorama para la toma de decisiones en la realización de proyectos. Una apropiada evaluación de las tendencias, así como la oportuna identificación de los indicadores de riesgo es tarea que los inversionistas deberán tomar con cautela en el momento de inclinarse hacia un proyecto, aún en etapas tempranas.

Para el caso del transporte marítimo, existen numerosas compañías de análisis del mercado que proporcionan datos que son utilizados para entender el comportamiento del mercado, valores como tasas de crecimiento del mercado, índices de actividad en nuevos pedidos y cambios en la situación de embarcaciones, son algunos de los más importantes que pueden servir para una evaluación del mercado en el que se desea incursionar un nuevo proyecto.

En el sitio de internet Hellenic Shipping News por ejemplo, uno de sus artículos publicados recientemente “Tankers: from a rollercoaster ride of 2020, to calm Waters during 2021”, se aborda el tema de la dinámica que presentó el mercado de los buques tanques derivado de los cambios y la volatilidad que surgió debido al COVID-19 y su impacto en los índices de semana a semana (WOW) para las tarifas de flete en este sector.

Ahora bien, para el caso del proyecto, se justifica la necesidad dada la suposición de que la empresa naviera requiere de una nueva embarcación, esto sin duda alguna es un importante punto de partida para fines didácticos, no así en la realidad ya que la necesidad de una nueva embarcación como reemplazo para uno de los activos de una flota debe ser resultado de un análisis detallado y minucioso de aspectos técnicos, económicos, operativos y del mercado. Todo ello compagina como resultado en una propuesta que hace frente a la necesidad detectada inicialmente.

De acuerdo con Erichsen, es necesario hacer una evaluación de mercado desde dos perspectivas distintas, la del proveedor del bien o servicio y la del usuario o consumidor. Teniendo presente que el diseño tiene como objetivo principal la aceptación del cliente para poder participar en el mercado, recibir un ingreso y obtener beneficios.

PARTE DOS

2.0 Dimensionamiento mediante la estrategia de diseño “Basado en puntos”.

Para el desarrollo de esta parte del trabajo, se efectuó un procedimiento en el que se utilizó una serie de pasos para obtener las características particulares de un diseño que atienda los requerimientos establecidos en el Proyecto 12. Como resultado se obtiene un dimensionamiento que permite en primer lugar, englobar el concepto que satisface la necesidad con base en especificaciones y que puede ser medible y en segundo lugar permite conocer los aspectos que sirven para su evaluación mediante la comparación de alternativas, con lo que se llega a la determinación del diseño óptimo.

2.1 Introducción al método “Point-Based Design”.

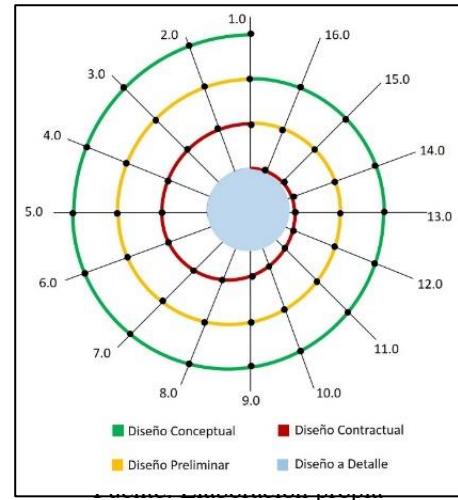
La conceptualización tradicional del proceso inicial de diseño ha utilizado la “espiral de diseño” desde que fue promovida por J. H. Evans en 1910. (Lamb, 2004). En la espiral de diseño se consideran los aspectos principales que interactúan y se evalúan de forma consecutiva pero también en profundidad, con lo que se denomina etapas del diseño, así, una primera sucesión de puntos conforman la primera etapa integrando el diseño conceptual para posteriormente realizar una segunda sucesión a una mayor profundidad con lo que se completa la etapa de diseño preliminar a la que le continúa la siguiente sucesión que en profundidad se conoce como diseño contractual y, una última sucesión de puntos que en profundidad alcanzan el máximo nivel de diseño, completa la etapa del diseño a detalle.

Con este enfoque de esta estrategia de diseño se busca llegar a un solo punto en el espectro del diseño, de tal forma que la espiral de diseño se va aplicando de forma sucesiva para los puntos del diseño y repetitiva para las etapas.

Como primera tarea se consideró necesario definir los puntos que conforman la espiral de diseño que, de acuerdo con Watson, el orden del proceso atiende principalmente al tipo de buque y para este caso particular y habiendo definido el tipo de embarcación en la sección 1.1 se han seleccionado los siguientes puntos que conformarán el proceso de diseño y que se pueden apreciar en la figura 2.1.1.

Fig. 2.1.1 Proceso de diseño

- A. Requerimientos principales.
- B. Peso muerto.
- C. Dimensiones principales.
- D. Peso en Rosca.
- E. Desplazamiento.
- F. Propiedades Hidrostáticas.
- G. Potencia.
- H. Selección de Maquinaria.
- I. Arreglo General.
- J. Estabilidad.
- K. Costos.



Para esta primera etapa de diseño, es necesario generar una definición consistente para un diseño candidato en términos de ciertos parámetros de relevancia para el dimensionamiento de la embarcación. (Lamb, 2004).

2.2 Base de datos de embarcaciones similares.

En muchas ocasiones el diseño de una nueva embarcación se realiza a partir de un cuidadoso análisis de la flota existente para obtener información general del tipo de buque de interés.

Para generar una base de datos de buques similares se siguió la recomendación que, Alvarino Castro¹ en su libro "El proyecto Básico del Buque Mercante" menciona en relación con la recopilación de información de buques que actualmente se encuentren en servicio, con la finalidad de trabajar con datos recientes y reales.

Se seleccionaron 30 embarcaciones "Product Tanker" y se organizó la información de cada uno de ellos de manera que elaboró una tabla que consiste en las dimensiones principales de cada uno, peso muerto (DWT), eslora entre perpendiculares (Lpp), manga (B), puntal (D), calado (T) y nombre de la embarcación.

¹ CASTRO ALVARINO, EL PROYECTO BÁSICO DEL BUQUE MERCANTE. PP. 506.

Tabla 2.2.1

Base de datos de buques similares								
No.	Nombre	DWT	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	L/B	B/D
1	MP MR TANKER 1	51755	174	32.2	19.1	12.8	5.404	1.686
2	Aegea	51371	174	32.2	19.1	13.19	5.404	1.686
3	Star Kestrel	51228	173.9	32.2	19.1	13.17	5.401	1.686
4	Valverde	50344	174	32.2	19.1	13	5.404	1.686
5	Nord Gainer	50280	175.97	32.19	18.2	12.62	5.467	1.769
6	Calakmul	50217	174	32.2	19.1	13.06	5.404	1.686
7	MP MR TANKER 2	50090	175	32.2	18.4	12.92	5.435	1.750
8	Marlin Amethyst	49999	178.58	32.27	18.2	12.83	5.534	1.773
9	Alpine Madeleine	49999	174	32.2	18.8	12.77	5.404	1.713
10	Torm Almena	49999	176	32.2	18.2	12.58	5.466	1.769
11	Sti Magister	49999	175.15	32.2	19.1	13.28	5.439	1.686
12	Bw Panther	49999	174	32.1	19.4	13.3	5.421	1.655
13	Atlantic	49999	175.56	32.2	18.8	12.77	5.452	1.713
14	Bw Jawuar	49999	174	32	19.1	13.3	5.438	1.675
15	Yasa Hawk	49990	174.01	32.2	19.1	13.27	5.404	1.686
16	Hakata Princess	49842	175	32.2	19.05	13.1	5.435	1.690
17	American Freedom	49828	174	32.2	19.1	11	5.404	1.686
18	Seabulk Challenge	49502	185.93	32.26	18.29	13.19	5.763	1.764
19	Stena Image	49419	176	31.4	18.2	6	5.605	1.725
20	Palmetto State	49045	178	32.2	19.1	11	5.528	1.686
21	Papillon	47302	172	32.2	18.1	12.6	5.342	1.779
22	Florida	46688	174	32	18.8	12.2	5.438	1.702
23	Mississippi Voyager	46069	174.3	32.2	19.15	12.2	5.413	1.681
24	Planta Dank	45923	174	32.2	19.1	12.47	5.404	1.686
25	Breton Reef	45656	180	32.2	19.15	12.19	5.590	1.681
26	Yuriy Kuchiev	44000	229.2	34	18	12.9	6.741	1.889
27	Premium do brasil	43002	194.25	32.2	19.2	11.4	6.033	1.677
28	Shturman Koshelev	41457	248.92	33.65	14.9	9.5	7.397	2.258
29	Victoria del tanquero	40845	171	31.3	17.8	11.57	5.463	1.758
30	Shandong Zuhe	40059	169.65	31	17.2	10.5	5.473	1.802

Fuente: Elaboración propia.

Para la realización de esta base de datos se ha recopilado información en diferentes medios, principalmente en Internet, seleccionando entre un 20% inferior y un 20% superior al peso muerto (DWT) de la especificación técnica para el Proyecto 12.

Los 30 buques seleccionados para nuestra base de datos se muestran en la Tabla 2.2.1.

2.3 Primera estimación de las dimensiones.

De acuerdo con la clasificación de tipos de buques, que presenta Alvarino Castro, los tanqueros de productos derivados del petróleo se consideran como buques de peso muerto.

Las ecuaciones para el diseño con base en el peso están indicadas en el Capítulo 3 del libro Practical Ship Design y se formula una metodología que permite poder definir las dimensiones para el diseño mediante ecuaciones y relaciones, así mismo en el libro Ship Design and Construction en su Capítulo 29 presenta también las consideraciones para el diseño. Con estas fuentes se procedió a desarrollar los puntos correspondientes a la espiral de diseño como a continuación se expone.

A. Requerimientos principales:

Como punto de partida, se definen los datos de entrada establecidos en la especificación técnica del Proyecto 12, resumidos en la siguiente tabla:

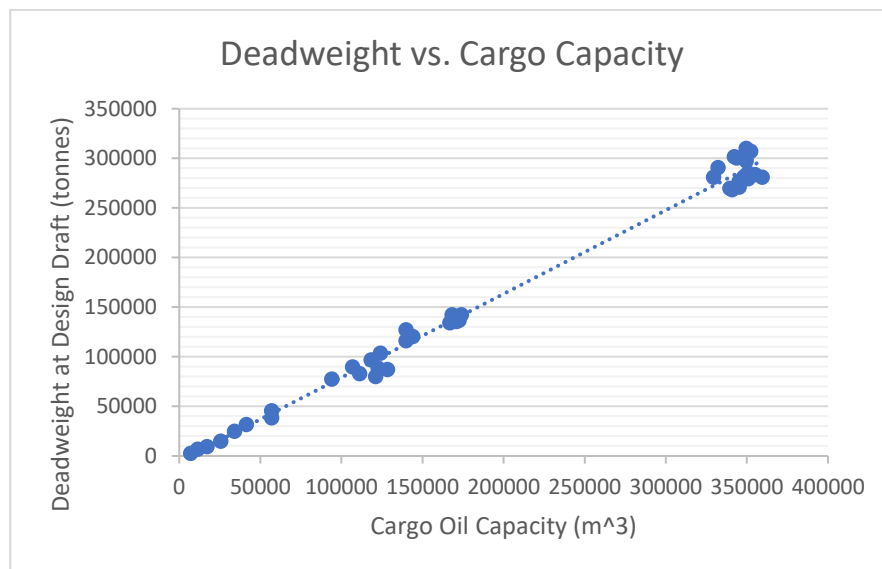
Parámetro	Designación	Valor	Unidades
Peso Muerto Máximo (Full)	DWT _f	50,000	Ton
Capacidad de Carga Máxima	C.C.	54,900	m ³
Calado máximo	T _s	13.30	m
Calado de diseño	T _d	11.00	m
Velocidad de diseño	V	14.5	kt
Autonomía	Endurance	10,000	NM

Estos datos que se toman como datos de entrada deberán ser respetados durante el desarrollo del diseño, ya que de ello depende que se logre un dimensionamiento apropiado que pueda ser aceptado como propuesta ante las necesidades que demanda, para este caso, la empresa naviera que en lo sucesivo del documento se denominará “El Armador”.

B. Definición del peso muerto.

En alcance a las indicaciones y que el diseño debe hacerse para el calado de diseño establecido como un dato de entrada, como primera estimación del peso muerto se utilizó la información contenida en el Capítulo 29, del libro Ship Design and Construction, Volúmen 2, utilizando la gráfica 29.14 Peso Muerto al calado de diseño (Toneladas) Vs Capacidad de Carga (m³). Siguiendo las indicaciones estipuladas para el desarrollo del trabajo y con la finalidad de poder transformar los diagramas en las fuentes consultadas en ecuaciones o tablas de Excel para una mayor precisión en las lecturas, se hizo una caracterización del gráfico mediante su conversión a tabla en hoja de cálculo, como se puede apreciar en la Figura 2.3.1, empleando el software OriginSetup.

Figura 2.3.1 Gráfica con datos digitalizados mediante software.



Fuente: Elaboración propia.

Esto dio como resultado el siguiente valor para el Peso Muerto al Calado de diseño:

$$DWT_s @ C.C = 41,075 \text{ Ton}$$

Desde el punto de vista de diseño, el peso muerto que importa es el peso muerto de diseño, ya que es en el desplazamiento correspondiente a éste que la velocidad de servicio se especifica y, por lo tanto, es este desplazamiento el que determina las dimensiones y el coeficiente de bloque.

C. Dimensiones Principales.

Para establecer las dimensiones principales de Eslora, Manga, Calado y Puntal, se consideran los siguientes aspectos.

Para el calado de diseño se tiene un valor establecido de 11 m.

Para la manga de diseño se ha seleccionado como valor el correspondiente a 32.2 que permitirá a la embarcación transitar a través del canal de Panamá.

De esta manera, solo quedan dos dimensiones por definir que son la Eslora y el Puntal, para ello hacemos uso de las relaciones encontradas en el análisis de la base de datos de buques similares.

Tomando la relación estimada por la regresión lineal para $L/B = 5.434$

La eslora correspondiente a la Manga de Diseño es $L = 174.97$ m

Para la relación estimada por regresión lineal para $B/D = 1.559$

El puntal correspondiente a la Manga de Diseño es de $D = 20.66$

Peso en rosca (LSW) se puede estimar mediante la Figura 29.13 del Capítulo 29 Oil Tankers, en el libro Ship Design and Construction. Utilizando el mismo procedimiento de digitalización de imágenes, se obtuvo un valor del LWS, correspondiente al Número Cúbico ($L_{pp} \cdot B \cdot D / 100$), toda vez que ya se contaba con estas dimensiones.

El peso en rosca LWS para las dimensiones principales estimadas resulto de:

$LWS = 12,111$ Toneladas.

Como siguiente procedimiento es obtener el Desplazamiento total de la embarcación para el calado de diseño, el cual se calcula una vez que ya se tiene de la embarcación el Peso Muerto al Calado de Diseño y el Peso en Rosca.

Desplazamiento de Diseño (DWT_d) = 53,186 Toneladas

D. Formas.

- Coeficiente de Block (CB).

La elección de los coeficientes de formas es una de las tareas tradicionales del diseño. Por lo general para buques mercantes se suele elegir el coeficiente de block CB como primer valor.

En este caso, como ya se ha definido la eslora Lpp y se cuenta además con la velocidad del buque (14.5 nudos), se puede conocer el Número de Froude dado por:

$$Fn = V/(gL)^{1/2} = 0.18$$

Para este valor de Numero de Froude, existe una formulación proporcionada por Schneekluth and Bertram, quienes en su estudio estadístico realizado para buques con el rango de $0.15 < Fn < 0.32$, dando como resultado:

$$CB = -4.22 + 27.8(Fn)^{0.5} - 39.1*Fn + 46.6*Fn^3 = 0.81$$

- Coeficiente de la Cuaderna Maestra CM.

Para la estimación inicial de este coeficiente, nos auxiliamos de la formulación proporcionada por Schneekluth and Bertram, de la Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt (HVSA).

$$C M = 1.006 - 0.0056*CB - 3.56 = 0.99$$

- Coeficiente prismático longitudinal CP.

Cuando se requiere estimar el coeficiente prismático CP, es necesario recurrir a la Figura 11.8 del libro Ship Design and Construction, donde se representa el gráfico que recomienda Saunders como guía para la selección de un valor de CP teniendo como dato independiente el Número de Froude.

Mediante lectura en el gráfico, se estima que el valor para el coeficiente CP = 0.82

- Coeficiente del plano de agua CWP.
- Una vez que se ha logrado estimar los anteriores coeficientes se continua con el coeficiente del plano de agua, para ello según Lamb, existen varias formulaciones, sin embargo, se ha elegido la formulación para tanqueros que se designa por:

- $CWP = CB/(0.471 + 0.551*CB) = 0.88$

Resumen de dimensiones principales y relaciones.

A continuación, se resumen los resultados de diseño obtenidos por medio del diseño paramétrico para las dimensiones principales.

Descripción	Designación	Valor	Unidades
Eslora entre perpendiculares	L_{pp}	174.97	m
Manga	B	32.2	m
Calado de diseño	T_D	11	m
Puntal	D	20.66	m
Razón Eslora – Manga	L_{pp}/B	5.433	
Razón Manga – Puntal	B/D	1.558	
Razón Calado – Puntal	T/D	0.532	
Coefficiente de Block	CB	0.84	
Coefficiente de la Cuaderna Maestra	C_M	0.99	
Coefficiente Prismático Longitudinal	C_P	0.82	
Coefficiente del Plano de agua	C_{WP}	0.88	

E. Propiedades hidrostáticas.

Las dimensiones estimadas sirven para poder caracterizar la geometría del buque, de la que se desprenden las propiedades hidrostáticas. En la siguiente tabla se resumen las propiedades hidrostáticas que se caracterizaron de acuerdo con las formulaciones proporcionadas en el Capítulo 4, del Libro Ship Design and Performance for Masters and Mates.

Tabla de Propiedades hidrostáticas.

Draft (m)	C _B	C _w	W	WPA	KB	BM T	KM T	BM _L	KM _L	TPC	MCTC
1.00	0.67	0.73	3,861.39	4,127.32	0.52	69.90	70.42	1,888.42	1,843.40	42.31	406.69
2.00	0.71	0.77	8,157.96	4,339.60	1.04	36.58	37.62	964.32	965.37	44.48	449.60
3.00	0.73	0.79	12,635.70	4,469.28	1.56	25.05	26.61	660.36	661.92	45.81	476.87
4.00	0.75	0.81	17,235.31	4,563.84	2.08	19.15	21.23	504.83	506.91	46.78	497.27
5.00	0.76	0.82	21,927.71	4,638.68	2.60	15.55	18.15	409.92	412.52	47.55	513.71
6.00	0.77	0.83	26,695.42	4,700.83	3.12	13.12	16.24	345.79	348.91	48.18	527.57
7.00	0.78	0.84	31,526.68	4,754.07	3.64	11.36	15.00	299.47	303.11	48.73	539.59
8.00	0.79	0.85	36,413.01	4,800.72	4.16	10.03	14.18	264.40	268.56	49.21	550.23
9.00	0.80	0.86	41,348.01	4,842.28	4.67	8.99	13.66	236.89	241.57	49.63	559.79
10.00	0.80	0.87	46,326.65	4,879.78	5.19	8.14	13.34	214.72	219.91	50.02	568.50
11.00	0.81	0.87	51,344.89	4,913.98	5.71	7.45	13.16	196.46	202.17	50.37	576.49
12.00	0.81	0.88	56,399.39	4,945.42	6.23	6.87	13.10	181.15	187.38	50.69	583.90
13.00	0.82	0.88	61,487.34	4,974.54	6.74	6.38	13.12	168.12	174.87	50.99	590.79
13.30	0.82	0.88	63,019.89	4,982.87	6.90	6.24	13.14	164.58	171.48	51.07	592.77

Fuente: Elaboración propia.

F. Potencia.

La estimación de la potencia a instalar es otro de los puntos a desarrollar en la espiral de diseño, para poder hacer esta estimación nuevamente nos auxiliamos del libro Ship Design and Construction, en donde su Capítulo 29, Thomas Lamb presenta la Figura 29.32 que relaciona la Potencia Instalada con respecto al Peso Muerto al Calado de Diseño.

Realizando la digitalización del gráfico y su posterior procesamiento en hoja de cálculo, se obtuvo una Potencia de:

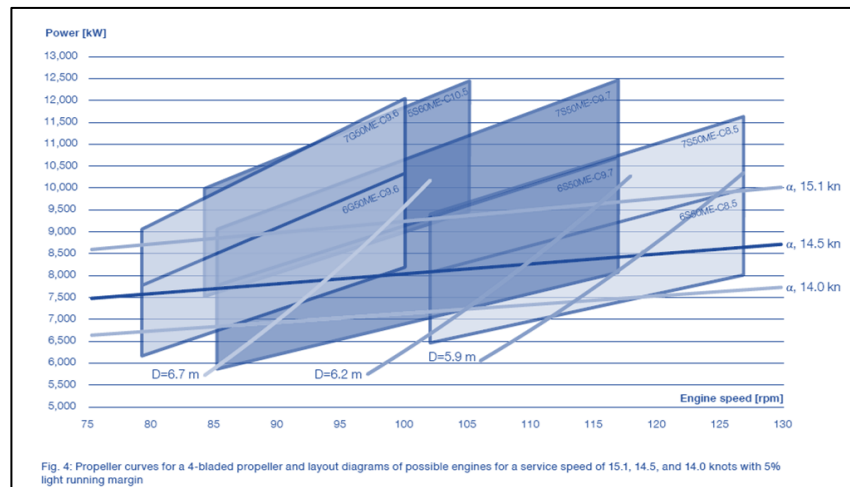
$$P_{\text{Instalada}} = 9362.72 \text{ Kw}$$

G. Selección de Maquinaria.

En la especificación técnica del Armador, se define que el sistema propulsor para el diseño debe emplear una maquina MAN de baja velocidad de dos tiempos, con la potencia instalada estimada, se procedió a buscar en el catálogo del fabricante un motor con esas características.

De acuerdo con el contenido en el documento “MAN solutions for 45,000 – 50,000 DWT MR Tankers”, el cual contiene una guía de selección para buques de Mediano Rango, como es el caso de este proyecto, se siguió la recomendación de acuerdo con la Figura 4 que se anexa para pronta referencia, se eligió el siguiente motor.

Figura 2.3.1 Arreglo de posibles motores para MR Tankers



Fuente: MAN solutions for 45,000 – 50,000 DWT MR Tankers, pp 10.

MAN B&W 6G50ME-C9.6, con una potencia Máxima de 10,320 kW. Por lo que se asume que cumple con los requerimientos de diseño de forma apropiada.

H. Arreglo General.

Uno de los arreglos generales típicos de este tipo de buque, se presenta en la Figura 2.3.2, usualmente este tipo de configuración permite cumplir con los requerimientos más modernos de seguridad, estabilidad en avería y requerimientos de segregación impuestos por la Organización Marítima Internacional (IMO).

Para este caso particular de diseño y siguiendo las especificaciones del armador, el arreglo general consiste en 12 tanques de almacenamiento y 2 tanques para contener aguas oleosas producto del lavado de los tanques de almacenamiento, adicionalmente se estimaron los consumibles

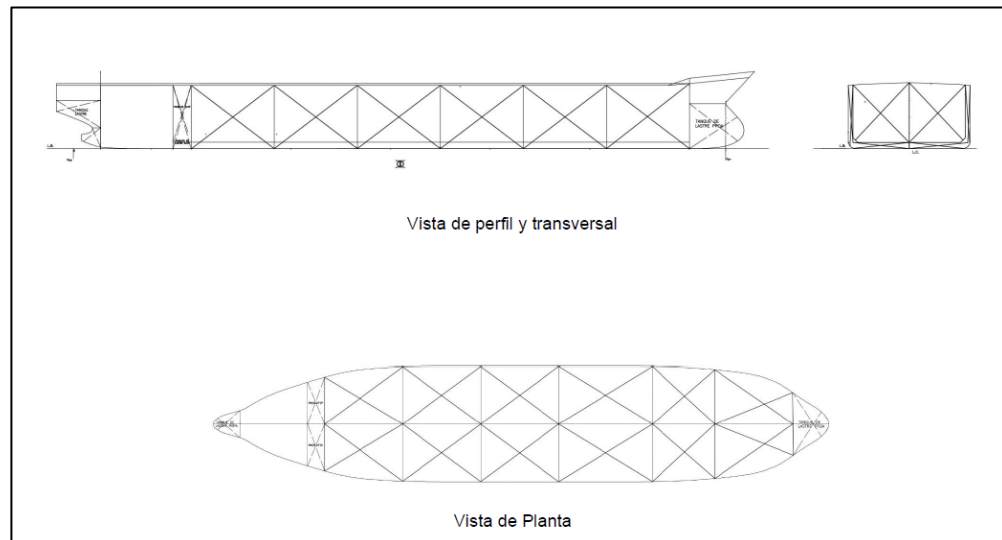
representativos al combustible, lubricantes y agua potable, que se ha elegido la sección de popa el espacio a contener dichos volúmenes de carga.

Otra de las especificaciones es la consideración de camarotes para la tripulación. En este sentido, la configuración usual para este tipo de buques es colocar los camarotes en la super estructura de popa, justo debajo del puente de mando, con ello se logra concentrar todos los requerimientos de habitabilidad como lo son el aire acondicionado, sanitarios y espacios comunes en un área específica de la embarcación.

El compartimento destinado para la maquinaria propulsora se ubica en popa y debe contar con casco externo.

En la Figura 2.3.2 se muestra un bosquejo del arreglo general que ha sido considerado para el diseño.

Fig. 2.3.2 Bosquejo del arreglo general para el diseño.



Fuente: Elaboración Propia.

2.4 Generación de alternativas.

Hasta este punto se ha realizado el diseño de acuerdo con los puntos designados en la espiral de diseño, sin embargo, se requiere de generar alternativas que puedan ser evaluadas mediante una medida de mérito. Para

poder obtener tres alternativas entre las cuales se pueda elegir, en necesario efectuar nuevamente la espiral de diseño y obtener un dimensionamiento para las nuevas dos alternativas, esto se logra variando la eslora.

La primera operación corresponde a disminuir Lpp en 10 metros y generar el dimensionamiento correspondiente y la segunda operación corresponde a aumentar Lpp en 10 metros y realizar lo mismo.

A continuación, se muestran el resumen de resultados de las tres alternativas generadas vía espiral de diseño, mediante el método basado en puntos que ha sido descrito en el apartado 2.3.

Resumen de alternativas

Alt	Lpp	B	D	Fn	CB	CM	CP	LSW (Ton)
1	174.97	32.2	20.72	0.18	0.81	0.99	0.82	13088.33
2	164.97	32.2	19.53	0.19	0.80	0.99	0.81	13017.53
3	184.97	32.2	21.90	0.18	0.82	0.99	0.82	13144.63

2.5 Medidas de mérito y selección de la alternativa óptima.

De acuerdo con lo estipulado en las indicaciones del trabajo 1, la medida de mérito para elegir alguna de las alternativas es el precio de compra (Factura del Astillero), que para la naviera representa el costo base (first cost).

Si tomamos que $P = 18,000 (LW)^{0.87}$

Para LW definido como el Peso sin carga de la embarcación, se puede obtener una estimación del costo base.

P	
Alternativa 1	\$ 68,700,821.55
Alternativa 2	\$ 68,377,382.95
Alternativa 3	\$ 68,957,813.73

Bajo este criterio, la alternativa óptima que se selecciona es la Alternativa 2, por tener el costo base más bajo.

2.6 Viabilidad técnica del coeficiente de block, francobordo y estabilidad inicial.

- A. Para poder efectuar este apartado, se evalúa si la relación entre la Eslora y Manga para el coeficiente de block es mayor a 1.0

$$Lwl/B * (1 - CB) \geq 1.0$$

Evaluando los datos obtenemos: $164.97/32.2*(1-0.81)= 1.024$, Por lo tanto se valida el CB.

- B. En lo que respecta al francobordo, se siguió como guía el procedimiento indicado en el libro Ship Design and Construction de la SNAME, que en su Sección 3, relativa a Líneas de carga, para buques tipo B, que es el caso de nuestra embarcación, a la eslora correspondiente, maneja una altura de franco bordo mínima de 2,620 mm.

Adicionalmente, se requiere realizar unas correcciones para este valor, en función de ciertos parámetros.

Corrección por CB.

Debido a que $CB > 0.68$, Es necesario corregir el Franco bordo Tabular y multiplicarlo por el resultado de la siguiente relación:

$$C1 = (CB + 0.68) / 1.36 = 1.088$$

Corrección por razón Eslora – Puntal.

La razón eslora puntal L/D estándar para buques es de 1/15, por lo que para razones mayores la corrección del francobordo tabular es la siguiente:

$$C2 = (D - L/15) * R; \text{ Donde } R = 250 \text{ mm para } L > 120 \text{ m.}$$

$$C2 = (19.53 - 164.97/15) * 250 = 2133 \text{ mm}$$

Así el francobordo estimado inicial tomando en cuenta los aspectos previos, da como resultado un valor de:

$$(2,620 * 1.088) + 2133 = 4,983 \text{ mm} = 4.983 \text{ metros.}$$

Comprobando el francobordo es menor que la diferencia del puntal (19.53 m) y el calado sea el de diseño (11 m) o el máximo (13.3 m).

- C. Estabilidad Inicial.

Para la evaluación de la estabilidad de forma preliminar, es necesario conocer la ubicación de los pesos principales del buque y así determinar el centro de gravedad estimado de la embarcación y poder evaluar si el valor de GM_T es válido.

A continuación, se resumen los datos correspondientes al cálculo de pesos y de centros de gravedad

Calculo de Pesos					
$W_s = K \cdot E^{1.36} [1 + 0.5(CB' - 0.70)]$					
$W_s = 10279.98$		$KG_s = 9.12$	m		
$E = 10684.89$					
$CB' = CB + (1 - CB)[(0.8 \cdot D - T)/3 \cdot T]$					
$CB' = 0.83$					
$K = 0.032$	Para tankers, Tabla 11.VII Lamb.				
$CB = -4.22 + 27.8(Fn)^{0.5} - 39.1 \cdot Fn + 46.6 \cdot Fn^3$					
$CB = 0.80$					
$Fn = 0.19$					
$C_M = 0.99$					
$C_{WP} = 0.88$					
$W_M = W_{ME} + W_{rem}$					
$W_M = 977.27$	Ton	$VCG_M = 6.84$	m		
$W_{ME} = 12 \cdot (MCR/N)^{0.84}$		$h_{db} = 2.00$	1.66		
$W_{ME} = 543.45$	Ton	$D' = 19.53$			
$W_{rem} = C_m \cdot (MCR)^{0.7}$					
$C_m = 0.72$	Para Tankers (Lamb Ch 11)				
$W_{rem} = 433.82$	Ton				
$W_o = C_o \cdot LB$					
$W_o = 1381.13$	Ton	$VCG_o = 21.18$	m		
$C_o = 0.26$	De Fig. 11.17 Lamb				
$WLS = 13017.53$	Ton				
$W_{FO} = SFR \cdot MCR \cdot range/speed \cdot margin$					
$W_{FO} = 1019.02$	Ton				
$W_{LO} = 15$	Ton				
$W_{FW} = 0.17 \text{ Ton}/(\text{Persona} \times \text{día})$					
$W_{FW} = 214.2$	Ton	Sin planta destiladora			
$W_{C\&E} = 0.17 \text{ Ton}/\text{persona}$					
$W_{C\&E} = 4.76$	Ton				
$W_{PR} = 0.01 \text{ Ton}/\text{Personas} \times \text{día}$					
$W_{PR} = 7.28$	Ton				
$DWT_T = 42335.07$	Ton	$VCG_o = 10.77$	m		
$\Delta = 55352.60$					
$LW = 14277.79$	Ton				

Una vez que se encontraron los pesos y sus correspondientes posiciones verticales, se procedió a evaluar el valor de KG y KM, para poder comparar y saber si GM es positivo y con un valor aceptable.

Valores para Evaluar GM	
$KG_T =$	10.65
$KM_T =$	11.43640644
$GM_T =$	0.79



Se concluye que el valor de GM, permite un grado aceptable de estabilidad intacta inicial para la embarcación.

2.7 Fuentes de información.

- Bedford, H. (1965). *Fundamentals of ship design economics*. Ann Arbor, Michigan: The University of Michigan.
- C., B. D. (2004). *Ship Design and Performance for Mater and Mates*. Oxford: ELSEVIER.
- Carreyette, J. (1977). *Preliminary Ship Cost Estimation*. Glasgow: RINA.
- Erichsen, S. (1989). *Management of Marine Design*. London: Butterworths.
- IMO. (1989). *Resolution 1989*. London: IMO.
- Juan Jose Moreno González, G. M. (s.f.). *Proyecto Petroleo de productos limpios*. ETSI.
- Lamb, T. (2004). *Ship Design and Construction Vol. 1&2*. Jersey City: SNAME.
- M, W. D. (1998). *Practical Ship Design Vol 1*. London: Elsevier.
- MAN. (2019). *Marine Engine Programme*. MAN Energy Solutions.
- Munro-Smith, R. (1973). *Ships and Naval Architecture*. London: Marine Media Management Limited.
- Papanikolau, A. (2014). *Ship Design Methodologies for Preliminary Design*. New York: Springer.
- Ramón, J. A. (s.f.). *Proyecto 1731 Petrolero de crudo de 150000 TPM*.
- Stopford, M. (2003). *Maritime Economics*. New York: Routledge.
- Tupper, E. C. (2004). *Introduction to Nava Architecture*. Great Britain: Elsevier.
- UNCTAD. (2019). *Informe sobre el transporte marítimo 2019*. New York: United Nations Publications.

DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA PRODUCTOS DE PETRÓLEO DE 50,000 TONELADAS DE PESO MUERTO



CAPÍTULO 2: DISEÑO CONCEPTUAL



CONTENIDO

PARTE UNO.....	2.1
1.0 DIMENSIONAMIENTO MEDIANTE LA ESTRATEGIA DE DISEÑO “BASADO EN CONJUNTOS”.....	2.1
1.1 INTRODUCCIÓN AL MÉTODO “SET - BASED DESIGN”.....	2.1
1.2 BASE DE DATOS DE EMBARCACIONES SIMILARES.....	2.2
1.3 PRIMERA ESTIMACIÓN DE LAS DIMENSIONES.....	2.2
1.4 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	2.4
1.5 MEDIDAS DE MÉRITO Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ÓPTIMA.....	2.5
1.6 VIABILIDAD TÉCNICA DEL COEFICIENTE DE BLOCK, FRANCOBORDO Y ESTABILIDAD INICIAL.....	2.9
PARTE DOS.....	2.10
2.0 GENERACIÓN DE FORMAS DEL CASCO.....	2.10
2.1 INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE GENERACIÓN DE FORMAS DEL CASCO.....	2.10
2.2 FORMAS DEL CASCO DE LA EMBARCACIÓN BASE.....	2.11
2.3 CURVAS A/AMÁX Y B/BMÁX.....	2.12
CURVA A/AMÁX.....	2.12
CURVA B/BMÁX.....	2.13
2.4 GENERACIÓN DE FORMAS DEL CASCO.....	2.14
2.5 PERFILES DE PROA Y POPA.....	2.16
2.6 ANÁLISIS DEL BULBO DE PROA.....	2.19
2.7 PLANO DE FORMAS DEL CASCO.....	2.20
PARTE TRES.....	2.22
3.0 DISPOSICIÓN GENERAL.....	2.22
3.1 INTRODUCCIÓN A NORMATIVA PRINCIPAL PARA DISPOSICIÓN GENERAL.....	2.22
3.2 ZONA DE PROA.....	2.23
3.2.1 IMPACTO DE PROA.....	2.23
3.2.2 (ESTRUCTURA INTERNA).....	2.23
3.2.2.1 MAMPAROS DE TANQUE.....	2.23
3.2.2.2 CONSTRUCCIÓN.....	2.23
3.3 ZONA DE POPA.....	2.24
3.3.1 APLICACIÓN.....	2.24
3.3.2 REQUISITOS GENERALES DE ESCANTILLADO.....	2.25



3.3.3 ESTRUCTURA DE LA CARCASA DEL EXTREMO DE POPA	2.25
3.4 ZONA DE CARGA.	2.25
3.4.1 GUÍA DE CARGA	2.25
3.5 ZONA DE MAQUINARIA.	2.27
3.5.1 REQUISITOS GENERALES DE ESCANTILLADO.....	2.27
3.5.2 PREPARATIVOS.....	2.28
3.5.3 ESTRUCTURA LATERAL	2.28
3.5.4 ESTRUCTURA DE CUBIERTA EN ZONA DE MAQUINARIA.....	2.29
3.6 SUPERESTRUCTURAS.	2.30
3.7 ZONAS DE AMARRE, FONDEO Y LOCAL DEL SERVO.	2.31
3.7.1 LIMITACIONES	2.31
3.7.2 SUPOSICIONES	2.31
3.7.3 ANCLAS (FONDEO) ANCLAS	2.32
3.7.4 AMARRES Y CABLES DE REMOLQUE	2.33
3.8 PLANOS	2.33
3.9 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	2.34

PARTE UNO

1.0 Dimensionamiento mediante la estrategia de diseño “basado en conjuntos”.

Una de las formas en que se inicia el diseño de embarcaciones es la estrategia: Diseño basado en conjuntos. La cual es la que a lo largo de esta parte dos de este proyecto veremos desarrollada para el Proyecto 12.

En base a esta teoría de diseño, nos va a permitir realizar una serie de procedimientos (mencionados y descritos en los siguientes puntos) para llegar al diseño óptimo que se ha requerido.

1.1 Introducción al método “Set - based design”.

La estrategia “Set – Based design” se caracteriza por tres puntos importantes, los cuales permiten una forma diferente para el diseño de cierto producto. El diseño y la producción de automóviles de Toyota generalmente se considera de clase mundial y, por lo tanto, es objeto de un estudio considerable (Lamb, 2004). ¿Por qué se hace mención esta empresa en su forma de diseño? Porque su estrategia de diseño es la ya antes mencionada, haciendo de ellos una empresa bien posicionada en el mercado automotriz, al ver su éxito, es digno de estudiar la forma en que ellos se desenvuelven en esta área.

- Las ventajas que nos presenta este método son las siguientes:
- Se definen conjuntos amplios de parámetros de diseño para permitir diseño concurrente para comenzar.
- Los conjuntos se mantienen abiertos mucho más tiempo de lo habitual para revelar información de compensación.
- Los conjuntos se reducen gradualmente hasta que se revela y refina un óptimo más global.

Aquí es donde vemos la diferencia con la otra estrategia de diseño basado en puntos en donde las interfaces críticas se definen mediante especificaciones precisas al principio del diseño para que el desarrollo del subsistema pueda proceder simultáneamente.

El enfoque de diseño basado en conjuntos tiene un paralelo en el enfoque de diseño conceptual del Método de Convergencia Controlada defendido por Stuart Pugh y el enfoque de delimitación de parámetros defendido por Lamb. Estos enfoques basados en conjuntos enfatizan una Política de Mínimo Compromiso; es decir, mantener abiertas todas las opciones el mayor tiempo posible para que la mejor información de compensación esté disponible en el momento en que se deban tomar decisiones de diseño específicas.

1.2 Base de datos de embarcaciones similares.

En muchas ocasiones el diseño de una nueva embarcación se realiza a partir de un cuidadoso análisis de la flota existente para obtener información general del tipo de buque de interés.

Base de datos de buques similares						
No	Nombre	DWT	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)
1	MP MR TANKER 1	51755	174	32.2	19.1	12.8
2	Aegea	51371	174	32.2	19.1	12.8
3	Star Kestrel	51288	173.9	32.2	19.1	13.19
4	Valverde	50344	174	32.2	19.1	13.17
5	Nord Gainer	50280	175.97	32.19	19.1	13
6	Calakmul	50217	174	32.2	18.2	12.62
7	MP MR TANKER 2	50090	175	32.2	19.1	13.06
8	Marlin Amethyst	49999	178.58	32.27	18.4	12.92
9	Apline Madeleine	49999	174	32.2	18.2	12.83
10	Torm Almena	49999	176	32.2	18.8	12.77
11	Sti Magister	49999	175.15	32.2	18.2	12.58
12	Bw Panther	49999	174	32.1	18.8	13.28
13	Atlantic	49999	175.56	32.2	18.2	13.3
14	Bw Jaguar	49999	174	32	19.1	12.77
15	Yasa Hawk	49990	174.01	32.2	18.29	13.3
16	Hakata Princess	49842	175	32.2	18.2	13.1
17	American Freedom	49828	174	32.2	19.1	11
18	Seabulk Challenge	49502	185.93	32.26	18.1	13.19
19	Stena Image	49419	176	31.4	18.8	6
20	Plametto State	49045	178	32.2	19.15	11
21	Papillon	47302	172	32.2	19.1	12.6
22	Florida	46688	174	32	19.15	12.2
23	Mississippi Voyager	46069	174.3	32.2	18	12.2
24	Planta Dank	45923	174	32.2	19.1	12.47
25	Breton Reef	45656	180	32.2	19.15	12.19
26	Yuriy Kuchiev	44000	229.2	34	18	12.9
27	Premium do Brasil	43002	194.25	32.2	19.2	11.4
28	Shturman Koshelev	41457	248.92	33.65	14.9	9.5
29	Victoria del tanquero	40845	171	31.3	17.8	11.57
30	Shandong Zuhe	40059	169.65	31	17.2	10.5

1.3 Primera estimación de las dimensiones.

Las primeras estimaciones en el diseño de una embarcación son importantes debido a que serán las bases sobre las cuales se irán haciendo correcciones para poder obtener el diseño óptimo que satisfaga y cumpla con cada uno de los criterios pertinentes que deben de tener la embarcación.

Para obtener estas dimensiones principales, en el caso del Proyecto 12, se usa de referencia una serie de rangos, los cuales son tomados del libro de Alvaríño (PBBM) de la sección 2.4A2 y 2.2.3.1 los cuales se presentan a continuación.

RANGOS DE VALORES. REFERENCIA: ALVARIÑO [PBBM], SECCIÓN 2.4.A2, Y 2.2.3.1						
L/B	B/D	B/T	L/D	T/D	F_n	C_B
5.40 - 6.00	1.60 - 1.8	2.40 - 2.60	9.50 - 11.50	0.65 - 0.70	0.18 - 0.20	0.80 - 0.83
RANGOS DE COEFICIENTE DE CARGA C_{DW} . REFERENCIA: LAMB [SDC] CAPÍTULO 11						
Product tankers C_{DW}		0.76 - 0.81				

Cabe señalar que, debido a la dinámica y practicidad por parte de nuestro instructor, se tomó la recomendación de elegir un rango específico para la relación B/D, debido a que el diseño requiere una mayor capacidad.

Estos rangos de valores nos servirán para las generaciones de combinaciones pertinentes en las dimensiones principales de la embarcación, a su vez con una serie de datos que se nos han sido proporcionados a los cuales se deben de cumplir debido a los requerimientos de la embarcación, los siguientes datos son los mencionados.

DATOS DE ENTRADA, CRITERIOS FÍSICOS		
Nombre del dato	Unidades	Valor
Peso muerto scantling (DWT S)	t	50000.00
Peso muerto diseño (DWT D)	t	42784.00
Calado scantling (T S)	m	13.30
Calado diseño (T D)	m	11.00
Capacidad de carga	m^3	54900.00
Velocidad de diseño	kn	14.50

DATOS DE ENTRADA, CRITERIOS ECONÓMICOS		
Nombre del dato	Unidades	Valor
Autonomía	mn	10,000.00
Días en mar	días	
Días en puerto	días	
Días por viaje redondo	días	29.00

Días de operación anual	días	
Número de viajes redondos al año	viajes	
Material directos		
f ₁	US\$/t	675
f ₂	US\$/t	6840
f ₃	US\$/bhp	18000
K	US\$	2250000
Mano de obra directa		
f ₄	h/t	130
f ₅	h/t	162
f ₆	h/bhp	243
R	US\$/h-h	15.35
Costos indirectos de fabricación		
Re	US\$/h-h	18
Ro	US\$/h-h	20
Gastos de operación		
Rgo	US\$/h-h	15.35

PROPIEDAD				
Propiedades				
(1+S) =	1.005			
ρ_{SW} =	1.025	t/m ³		
K =	0.032			
N =	100	rpm		
ρ_{HFO} =	0.95	t/m ³		
ρ_{DO} =	0.85	t/m ³		
ρ_{LO} =	0.9	t/m ³		
ρ_{FW} =	1	t/m ³		
Personas	28			
σ =	0.04	%		
h _{DF} =	2	m		
η_R =	1.01	%		
η_T =	0.985	%		
C _{wp} =				

1.4 Generación de alternativas.

La generación de alternativas consta de cierto número de combinaciones con respecto a los rangos que fueron obtenidos, estas series de combinaciones conta de una variación del B/D de .05 en .05 con respecto al L/B

que a su vez se hará también la variación de .1 en .1 que a su vez varía con respecto al CDW solo que este varía de .01 en .01 así para un solo CB.

Este mismo procedimiento que se hizo para el CB del primer valor de los rangos se hizo para todos los demás CB. Este procedimiento da como resultado una generación de 980 alternativas las cuales servirán para conocer de mejor manera el diseño óptimo para la embarcación.

En la siguiente tabla se enseña los rangos y el total de combinaciones que se realizaron para establecer la óptima.

TABLA DE COMBINACIONES					
		C_B	C_{DW}	L/B	B/D
		0.80	0.76000	5.40	1.65
		0.81	0.77000	5.50	1.70
		0.82	0.78000	5.60	1.75
		0.83	0.79000	5.70	1.80
			0.80000	5.80	1.85
				5.90	1.90
				6.00	1.95
COMBINACIONES: 4 x 5 x 7 x 7 =			980	COMBINACIONES POR C_B 980/4=245	

1.5 Medidas de mérito y selección de la alternativa óptima.

Determinando un valor de estiba de carga aproximada (carga stowage rate, m^3/t) o su inversa la densidad de carga aproximada (carga density, t/m^3).

Paso 1

Selección del peso muerto al calado de diseño de la embarcación (buque) (Proyecto 12)

$$WDW \text{ design} = 42784 \text{ toneladas}$$

Paso 2

Seleccionar el desplazamiento dado a la alternativa 240 cuyo valor de $C_B = 0.81$ y $CDW = 0.80$

Paso 3

Determinación del volumen mantenido cuyo valor se obtendrá con la diferencia que hay entre el desplazamiento de la alternativa 240 y la densidad del mar.

$\Delta = 53480$ toneladas y $\rho_{sw} = 1.025$ toneladas/metros cúbicos

$$\text{Volumen} = \frac{\Delta}{\rho_{sw}} = \frac{53480 \text{ tons}}{1.025 \frac{\text{tons}}{\text{m}^3}} \quad \nabla = 52175.61 \text{ m}^3$$

Teniendo los valores de Volumen y el peso muerto del buque, se deriva el coeficiente de estiba (m^3/t)

Formula de coeficiente de estiba (H. Sceneekluth and V. Bertram)

$$\frac{\nabla_{LR}}{W_{dw}} = \frac{52175.61 \text{ m}^3}{42784 \text{ tons}} = 1.220 \text{ m}^3/\text{t}$$

Pasó 5

Comparación con los valores de factor de estiba dado en el pdf de lineamiento de instrumentación de generación del diseño del proceso de diseño.

$$\frac{\nabla_{LR}}{W_{dw}} < 1.30 \text{ m}^3/\text{t}$$

El peso es crítico y se inicia aplicando las ecuaciones de peso.

$$\frac{\nabla_{LR}}{W_{dw}} > 1.30 \text{ m}^3/\text{t}$$

El volumen es crítico y se inicia aplicando las ecuaciones de volumen

$$\frac{\nabla_{LR}}{W_{dw}} = 1.220 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$$

Sabiendo que el valor de coeficiente de estiba es menor que $1.30 \text{ m}^3/\text{t}$ esto indica que el peso es crítico y se inicia aplicando las ecuaciones de peso.

De forma consecutiva se elaboró la hoja de Excel introduciendo las formulaciones estipuladas en la guía correspondiente para las estimaciones de volumen, estabilidad, potencia y la sección de criterios económicos, obteniendo así una tabla dinámica en la que se resumen las alternativas y que nos sirve para poder conocer si cumplen de manera individual o no con los criterios para su selección.

Así se llegó a la determinación de tres alternativas que cumplieron los criterios físicos para los coeficientes de block 0.80, 0.81 y 0.82, no así para el coeficiente 0.83. Siguiendo la especificación y el criterio para la elección, se decidió elegir una sola alternativa por coeficiente de block, siendo la de menor costo base.

Una vez que se realizó este resumen de alternativas, ahora se evaluaron entre sí las tres alternativas restantes y de esta forma se eligió a la alternativa 240, correspondiente al coeficiente de block 0.81. Los datos de la alternativa se resumen en la siguiente tabla.

240.00	0.81	0.80	6.00	1.70	53480.00	186.98
B, m	D, m	E	W_{ST} , t	W_{OHE} , t	MCR, kW	W_M , t
31.16	18.33	9308.70	8519.48	1165.34	8539.71	909.79
LW, t sin margen	LW, t con margen	DW, t	ϵ (DW), %	∇_{casco} , m ³	∇_{LW} , m ³	∇_{lastre} , m ³
10594.62	10912.45	42567.55	-0.51	89894.49	10646.30	21240.16
W_{FO} , t	∇_{HFO} , m ³	∇_{DO} , m ³	∇_{LO} , m ³	∇_{FW} , m ³	$\nabla_{Tankage}$, m ³	∇_{Operac} , m ³
1007.10	1060.10	118.48	44.76	138.04	1361.38	22601.54
$\nabla_{Carga\ disponible}$, m ³	$\nabla_{Carga\ útil}$, m ³	ϵ (∇_{Carga}), %	KB, m	BM, m	KG _{1ST} , m	KG _{2OHE} , m
56646.66	54380.79	-0.95	5.70	7.11	8.91	20.20
KG _{3M} , m	KG _{LW} , m	KG _{Carga} , m	KG _{4HFO} , m	KG _{5DO} , m	KG _{6FW} , m	KG _{7LO} , m
8.47	10.12	10.17	14.30	2.57	1.83	6.42
KG _{Oper} , m	DW _{Oper} , t	DW _{Carga} , t	DW _{Oper/Carga} , %	KG _{DW} , m	KG, m	KG / D
11.92	1299.01	41268.54	3.15	10.22	10.50	0.57
GM, m	GM / B	VB, kt	EHP	(1 + x)	η_o	η_H
2.00	0.06	13.98	6451.42	0.90	0.59	1.31
QPC	DHP _B	DHP	BHP	PB, kW	PAE, kW	EIV base
0.78	7487.29	12048.87	12232.36	9121.67	456.08	6.21
EIV calculado	ϵ (EIV), %	Selección Criterios Físicos	Materiales directos acero, \$USD	Materiales directos equipamiento o y habilitación, \$USD	Materiales directos maquinaria propulsión, \$USD	Costos de materiales directos, \$USD
6.00	-3.24	OK	5750648.19	7970945.96	15327646.74	29049240.89
Mano de obra directa acero, \$USD	Mano de obra directa equipamiento o y habilitación, \$USD	Mano de obra directa maquinaria propulsión, \$USD	Costo de mano de obra directa, \$USD	Costos directos de materiales y mano de obra, \$USD	Indirectos de fabricación de ingeniería, \$USD	Otros indirectos de fabricación, \$USD
6877386.88	2897858.38	2710015.35	12485260.61	41534501.50	1756883.58	5368255.38

Costos indirectos de fabricación, \$USD	Costos de fabricación, \$USD	Gastos de operación del periodo de fabricación, \$USD	Costo total, \$USD	Margen de ganancia, \$USD	Costos adjuntos, \$USD	Precio base, \$USD
7125138.95	48659640.45	5618367.27	54278007.72	4885020.70	1085560.15	60248588.57
	$L/\nabla^{1/3}$					
	5.00	Alternativa a seleccionar (Criterio económico = Precio Base)				

1.6 Viabilidad técnica del coeficiente de block, francobordo y estabilidad inicial.

Dentro de las combinaciones que obtuvimos, se debe de tener unos parámetros para poder decidir si esa embarcación es aceptable o no, para eso se estable una serie de errores que no deben de salir de tal rango, dichos valores se ven en el archivo NVC_1016_Feb_Jun_Trabajo 1_Anexo 2.

Una vez conocido todas las alternativas que cumplían todas se comparó cada una entre ellas, es decir, para cada CB se obtuvo varias alternativas, para esto el régimen que se uso fue usar la alternativa con menor precio teniendo como referencia Criterio económico = Precio Base. Se hizo lo mismo para todos los CB estimados y de igual forma para la selección de cada una del CB teniendo como resultado la siguiente alternativa.

Para la validación del Coeficiente de block, francobordo y estabilidad inicial, nos auxiliamos de las formulaciones empíricas como a continuación se indica.

Rango CB para Tankers, de acuerdo con Alvariño $0.80 < C_b < 0.85$; por lo tanto, se valida. Francobordo mínimo para buques en función de la eslora, conforme al convenio de Líneas de Carga de la 1966. Como el buque en cuestión entra en la categoría A del mencionado convenio, corresponde a un valor mínimo de francobordo de 2.473 m @ $L_{pp} = 186.98$ m, por lo tanto, se valida ya que el francobordo del buque es de 5.03 m, para la SLL.

Para el aspecto de la estabilidad y tomando en cuenta que se incluyó como uno de los criterios a cumplir para la formulación de las alternativas en la hoja de cálculo, podemos validar que:

$$GMT > 0.15 \text{ y } 0.06 < B/GMT < 0.092$$

PARTE DOS

2.0 Generación de formas del casco.

Una de las actividades que requieren de un arduo trabajo es la generación de las formas del casco que permitan obtener un resultado aceptable en cuanto a desempeño y capacidad requerida. Aspectos como la geometría, las formas y los apéndices influyen en el resultado final del diseño. De forma particular para este proyecto se realizó un proceso con ayuda de cálculos en hoja de Excel y el trazado con software AutoCAD.

2.1 Introducción al proceso de generación de formas del casco.

Después de determinar los primeros parámetros obtenidos de la alternativa seleccionada, el siguiente paso en la espiral de diseño en este proyecto es encontrar las formas del buque, describir las características del barco, trazar el plano de formas y la curva de áreas.

El estudio y definición de las formas de los barcos es sin duda uno de los procesos más importantes y al mismo tiempo más complicados en el desarrollo de un proyecto de barco. La resistencia al empuje y la capacidad de carga dependen principalmente de las formas elegidas.

Este estudio de las formas debe de ser cuidadoso y reflexivo, para la obtención de los valores máximos de compatibilidad de:

- Capacidad de carga
- Estabilidad
- Velocidad
- Maniobrabilidad
- Comportamiento en mar

En el diseño y obtención de las formas adquirida del buque, se han considerado las siguientes características que definen el proyecto de un buque de alto coeficiente de block:

- CB mayor de 0.75. El valor obtenido fue de 0.81
- Cuerpo transversal de forma “U”
- CM próximo a 1. En este caso de 0.995

Es importante resaltar el procedimiento o forma de la curva de área de sección ($A/A_{\text{máx}}$), en la cual la ordenada representa el área de la sección debajo de la línea de flotación de diseño en cada punto de la longitud expresada como porcentaje del máximo de este valor a lo largo de la longitud. Esta curva nos da una idea de la distribución del desplazamiento del casco (carena) a lo largo de la eslora.

También se muestra la curva de media manga ($B/B_{\text{máx}}$), en la que las ordenadas representan los puntos que representan las mangas en la línea de flotación de diseño en cada punto de longitud con respecto al valor máximo que se encuentra en el cuerpo. Esta

curva se utiliza para verificar la presencia de discontinuidades o abolladuras en las formas en la zona de flotación del barco, lo que aumenta la resistencia al avance.

2.2 Formas del casco de la embarcación base

Para iniciar el trabajo se estableció que la determinación de las formas del casco se emplearía las ya encontradas en la primera parte de este proyecto de la embarcación WET-BULK CARRIER de 50,000 DWT.

Ahora bien, los parámetros para determinar el plano de formas serán: eslora, manga, puntal, peso muerto, peso en rosca, coeficiente de block, coeficiente prismático, coeficiente de la sección media y el coeficiente del plano de agua. Los cuales se realizaron desde el comienzo del diseño conceptual. Por lo tanto, en esta etapa, se requiere el primer diseño inicial de la geometría de las formas del casco para tener información más precisa para afinar (mejorar) las estimaciones de peso, centro de gravedad y costos, verificando las capacidades de carga y espacio de los tanques, calculando las propiedades hidrostáticas, así como verificando el asiento y la estabilidad inicial, así como el desarrollo de la disposición completa del barco. Teniendo en cuenta que, durante las fases de diseño, evolucionan tanto el diseño original de las formas del casco como el diseño general del barco.

Una vez que se han establecido las dimensiones principales y algunos de los coeficientes del buque del proyecto, se deben identificar y diseñar las dimensiones apropiadas para establecerlas.

Además, es importante señalar que al obtener las formas del buque base que pretende que estas cumplan con lo siguiente:

- Esten ajustadas a los coeficientes de la carena del buque y al calado de diseño que se calcularon en la primera parte de este proyecto.
- Y que cumplan con la inercia necesaria para asegurar la estabilidad del buque.

Es importante hacer mención que el bulbo en proa para un mejor comportamiento en lo que es la carena del buque, aumenta el coeficiente cuasi propulsivo entre 2.5-5 por ciento.

Otra consideración que se debe de establecer son las condiciones de cargas a la que se someterá el barco en diversas ocasiones, lo cual tienen como traducción la variación de calados que influirá directamente al bulbo, debido a que en ocasiones este podría quedar por encima de la flotación generando así que no influya se comentó anteriormente.

El buque al poseer bulbo de popa se estima a que hace una proporción de mejoras en lo que es la conducción del flujo hacia la estela, esto en lo que son buques de alto coeficiente de block como lo es nuestro caso, teniendo además la ventaja de que mantiene la velocidad del buque con mayor facilidad.

2.3 Curvas $A/A_{\text{máx}}$ y $B/B_{\text{máx}}$

Curva $A/A_{\text{máx}}$

El diseño de líneas es un arte hasta cierto punto. Si bien el aspecto de las líneas sigue siendo importante, hoy en día prevalecen otras consideraciones. Tradicionalmente, las líneas se diseñan "libremente", desde cero o distorsionado por líneas existentes.

Es una curva obtenida de las relaciones del área de la sección transversal de cada estación entre el área de la sección media. Es necesario hacer esto para saber en qué área debe estar cada estación. El proyecto 12 no tiene líneas de forma. Para crearlo es necesario generar esta curva.

El desarrollo de la curva $A/A_{\text{máx}}$, se inicia creando un rectángulo. Con base de L_{pp} y altura de BT (en relación 2 a 1), donde la longitud es L_{PP} y la altura es $AM (= BT \text{ Cm})$, por lo que el área del trapecio y su centroide longitudinal representan el volumen de desplazamiento

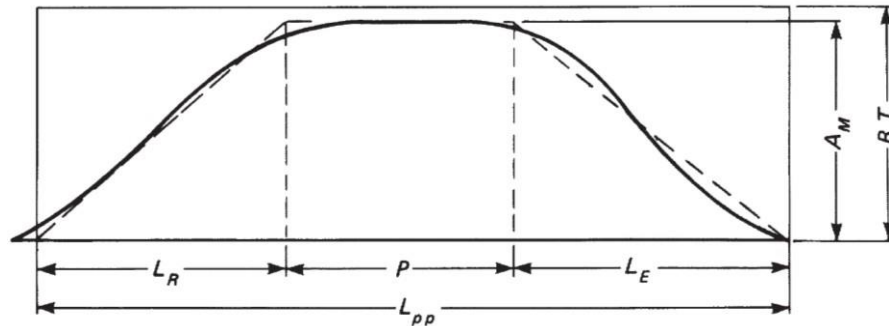
∇ y el centro longitudinal de empuje LCB .

Se puede establecer que a partir de la figura del trapecio se genera una curva equivalente que corresponde a una curva de áreas de secciones transversales $A / A_{\text{máx}}$ (proceso de ajuste vía prueba y error). Se establece el número de estaciones de las que partirá el buque (en este proyecto se establecen 21 [0 – 20]). Estableciendo que:

- El área dentro del trapecio debe ser igual al Volumen de la carena del buque.
- El centroide del trapecio debe corresponder al LCB del buque.
- La altura del trapecio en cada estación corresponde al porcentaje de $A/A_{\text{máx}}$ de dicha estación.

Para elaborar el trapecio se debe entrar con: LE , LP y LR . Estos 3 valores (longitudes) se unen adicionalmente a dos longitudes sin nombre que definen la unión entre LE y LP ($LE-P$) así como LR y LP ($LR-P$) zonas denominadas "hombros o shoulders" de entrada y de salida. Después se deberá iterar las ordenadas del trapecio

hasta obtener una solución satisfactoria (que el volumen del trapecio sea igual al de la carena y el centroide del trapecio sea igual al LCB).



Curva B/B_{máx}

La curva B/B_{máx} se desarrolla teniendo de base la curva A/A_{máx}, esto debido a que previamente en la curva A/A_{máx} ya se establecieron los valores de las longitudes totales del cuerpo de entrada y de salida, así como el cuerpo medio paralelo.

Primeramente, iniciamos generando la mitad del plano de agua al calado de diseño con la guía de la figura del trapecio dibujamos la figura del trapecio, donde la longitud es L_{pp} y la altura es B, por lo que el área del trapecio y su centroide longitudinal representan la mitad del área del plano de agua AWP y el centro longitudinal de flotación LCF.

Ahora bien, se consideran que las alturas en las ordenadas 0 y 20 deban cumplir con ciertos ángulos.

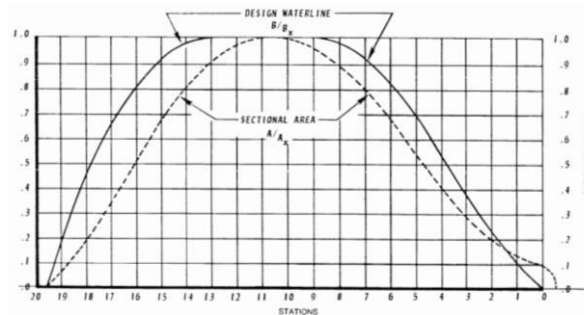
Esto a considerar debido a que la propiedad característica está representada por el semi ángulo de entrada i_E referido al plano de la línea central. i_E está relacionado con la forma de la sección, la curva del área de la sección y el ancho del barco. Si las líneas del barco se obtienen distorsionando un contorno existente, i_E se define automáticamente. La Tabla 2.1 enumera las recomendaciones para i_E . El ángulo indicado debe multiplicarse por el factor $7/(L/B)$. (H. Schneekluth and V. Bertram, 1998)

Table 2.1 Recommendations for the waterline half-angle of entry based on Pophanken (1939)

C_P	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
i_E	8°	9°	9–10°	10–14°	21–23°	33°	37°

A partir de la forma del trapecio ya se puede generar una curva equivalente que corresponde a la mitad del plano de agua, se debe iterar la curva hasta obtener una solución satisfactoria en donde el área del trapecio sea igual al área del plano de agua (proceso de ajuste vía prueba y error), la cual requiere que el área bajo esta curva y su centroide longitudinal correspondan a los valores requeridos de 0.5 AWP y de LCF.

Se acostumbra que al finalizar estas curvas se muestren las curvas en un solo dibujo como se muestra en la siguiente figura:



El seguimiento de estas curvas se presenta en la parte de anexos y en una hoja de cálculo llamada “A/Amáx-B/Bmáx” del archivo adjunto “Diseño12_NVC_1016_T2”.

2.4 Generación de formas del casco.

Para la generación de la forma del casco se parte de la determinación de los coeficientes de forma del casco, así poder obtener las formas definitivas del buque.

Para poder determinar estas formas se establece la relación de $C_B = C_P C_M$, relación en la dirección longitudinal en la que tenemos por definición que:

$$C_P = \nabla / A_M L_{PP} \quad \text{y} \quad C_M = A_M / BT$$

Describiendo de forma detalla el procedimiento para la obtención de formas que hemos seguido tenemos que:

- Primeramente, determinamos C_M con la formula anteriormente establecida.
- Posteriormente pasamos a la aplicación de la relación, esto es:

$$C_P = C_B / C_M$$

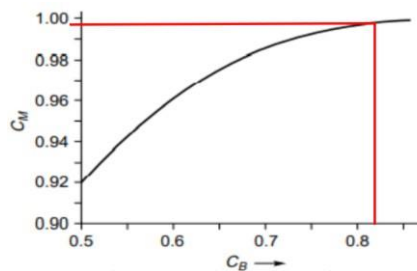
- Para la correcta estimación de C_P debemos determinar C_M primeramente calculando lo que es el radio de Pantoque, el cual se estima estableciendo que es igual a la altura del doble fondo h_{db} elegido el valor menor entre los dos siguientes $B/15$ o 2 m.
- Una vez elegido el radio de pantoque pasamos a la aplicación de la siguiente fórmula para la determinación de C_M :

$$C_M = 1 - 0.4292 R^2/BT$$

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

R =	2.00
C_M	0.995
C_B	0.81
C_P	0.81
LCB =	2.29
$L/V^{1/3}$	5.03

Se recomienda hacer una verificación de la relación CB-CM, la cual la realizamos con la consideración de Jensen (1994) que dice que, para las formas modernas del casco, recomienda C_M según la siguiente figura (se marca ya la relación):



En la cual vemos que efectivamente la relación de CB-CM nos da como resultado 0.995.

Una vez revisado esto y con el C_P ya realizado podemos pasar a la estimación del LCB, el cual se realiza de la con la siguiente manera:

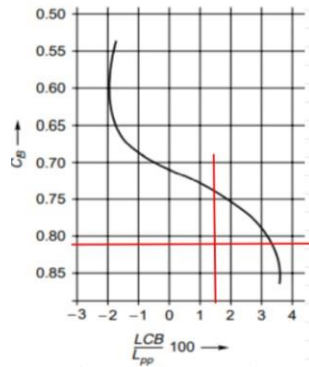
$$LCB = -13.5 + 19.40C_P$$

esto se encuentra en % de L_{pp} con la convención positivo a proa de la sección media, dando como resultado lo siguiente:

$LCB/L_{pp} \cdot 100 =$	1.23
--------------------------	------

De igual manera se hace la recomendación de hacer una verificación de la estimación de LCB con relación al C_B , la cual la realizamos con la consideración de Jensen (1994) que dice que, para las formas modernas del

casco, recomienda que el centro de flotabilidad longitudinal se puede obtener de la siguiente figura (la cual se mostrara ya marcada con la relación encontrada):



En la cual vemos que efectivamente la relación $((LCB/LPP)100)-CB$ nos da como resultado 1.23.

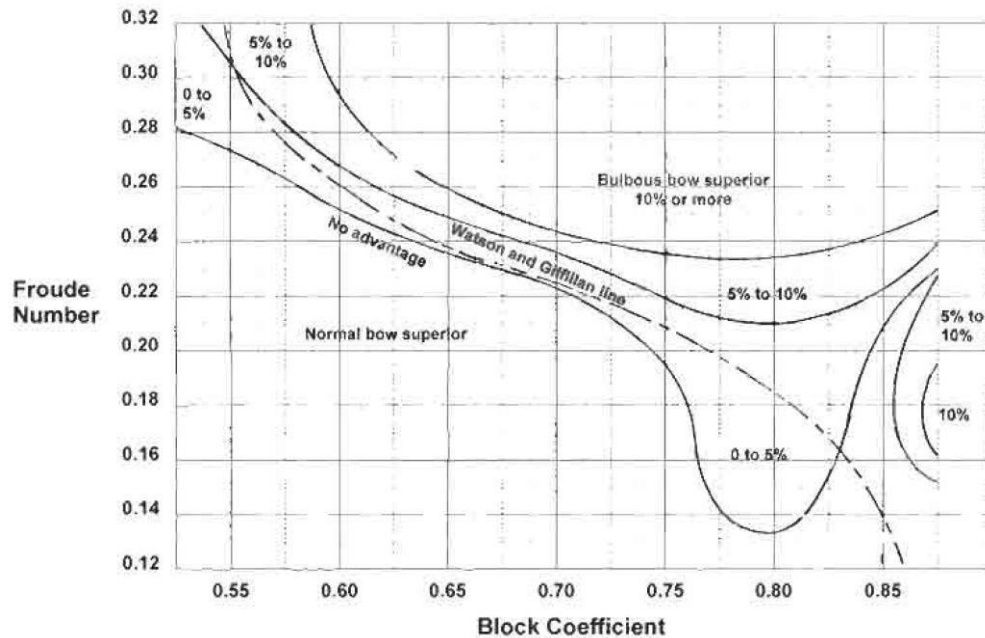
2.5 Perfiles de proa y popa.

Cuando se trata de bulbos, la primera decisión que debe tomar es si colocar una proa "normal" o un "bulbo". Las proas regulares son económicas de fabricar y los bulbos deben usarse solo si reducen la resistencia para aumentar la velocidad o reducen la potencia requerida para reducir el consumo de combustible. En la siguiente Figura se muestra el rango de números de Froude y coeficientes de block que es probable que logren estas mejoras cuando se trabaja con un tren de carretera.

En este gráfico, la superposición de la línea Watson/Gilfillan C_B en este diagrama indica el área que es de interés práctico y puede ver que el arco nodular se ve así:

- Favorable para barcos rápidos de C_B , menos de 0.625 y F , alrededor de 0.26.
- No representa una ventaja para los buques con valores de C_B entre 0,625 y 0,725, a menos que "desborden" según los criterios de Watson/Gilfillan;
- Nuevamente favorable para valores de C_B entre 0,725 y 0,825, pero puede no serlo para valores de C_B superiores a 0,825. Para todos los factores de bloqueo, los bulbos muestran la mejor ventaja en los barcos en funcionamiento y, a menudo, son desventajosos en los barcos de velocidad relativamente buena.

Cabe destacar que este análisis se refiere únicamente al estado de análisis de tiro de carga. Sin embargo, en general, los bulbos pueden proporcionar la mayor ventaja al lastrar, especialmente en embarcaciones totalmente revestidas con un coeficiente de block superior a 0,75.

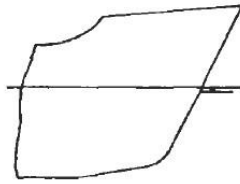


Con esto en mente se elige proa de bulbo pues es el que mejor acoplamiento tiene a nuestro buque.

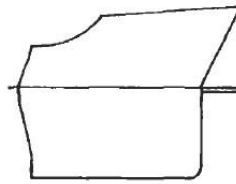
Los bulbos de proa tienen una variedad de formas y tamaños, una diferencia clave es entre un bulbo completamente acoplado y un bulbo con una línea de marcada entre el bulbo y una configuración de bulbo normal. Si bien se han hecho afirmaciones sobre los méritos de cada tipo, los bulbos "añadidos" son generalmente más fáciles de fabricar y parecen dar al menos tan buenos resultados como los bulbos emparejados en barcos totalmente revestidos.

La siguiente distinción es entre bulbos que sobresalen verticalmente de un émbolo y bulbos con poca o ninguna protuberancia. Los bulbos también varían en la posición vertical de la proyección frontal, comenzando cerca de la línea de flotación en algunos diseños y bloqueando bien en otros.

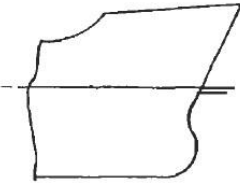
Uno de los principales criterios en la construcción de bulbos bulbosos es la relación entre el área de la sección transversal en la vertical frontal y el área de la sección transversal central.



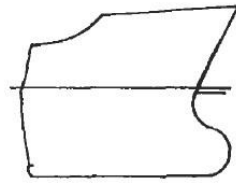
Straight Stem



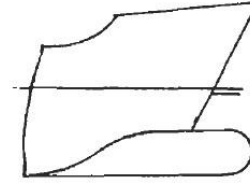
Cylindrical Bow (for full Cb)



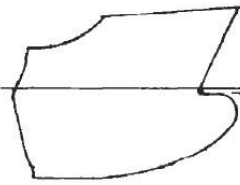
Faired-in Bulb



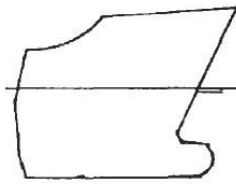
Ram Bow



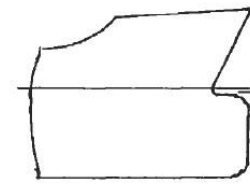
"Added" Bulk with Knuckle



Ram Close to Waterline



Deeply Submerged Ram



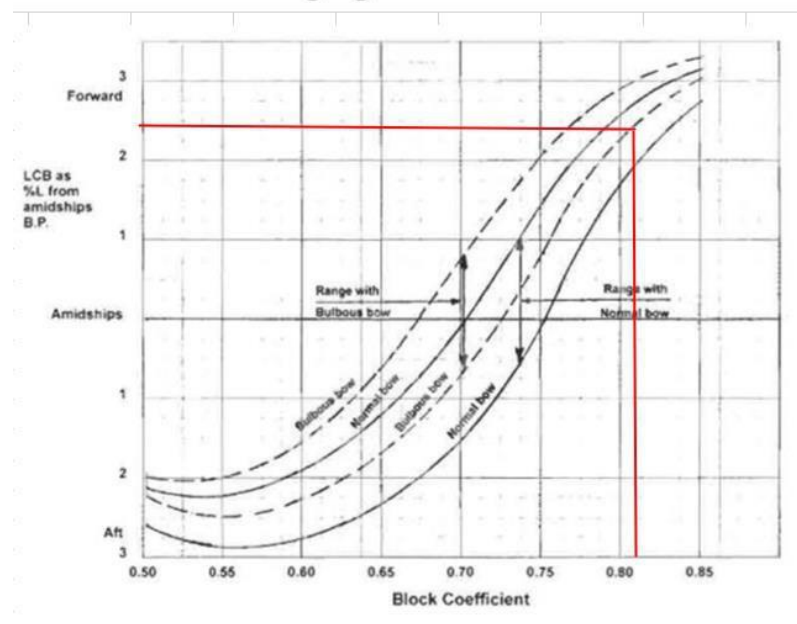
Moor Deep Ram

2.6 Análisis del bulbo de proa.

El análisis del bulbo en proa inicia con el criterio de Carlier De Lavalle [Análisis Hidrodinámico y Proyecto de Bulbo de Proa] el cual dice que se aceptara un bulbo en el buque si $C_B(B/L_{PP}) < 0.135$

Teniendo esta consideración se establece que es necesario incluir un bulbo en proa, esto es debido a que el resultado de esa condición establece un valor de 0.135.

Es necesario hacer la verificación con el criterio de Watson [PSD] en el capítulo 8 el cual lo aremos a base de diagramas. (mostraremos el diagrama ya marcado)



Con esto se confirma que es necesario incluir un bulbo en proa.

Para proceder con el diseño del bulbo, es necesario determinar ciertos parámetros que serán necesarios para poder definir la geometría del bulbo. Atendiendo a la recomendación del instructor y consultando la Tesis Carlier, se siguió el procedimiento para poder diseñar el bulbo.

2.7 Plano de formas del casco.

En forma general los cascos de las embarcaciones pueden ser de tres tipos: con fondo en “V”, con fondo en “U” y con una combinación de “U-V”. En nuestro caso se establece que nuestro fondo es una combinación de U-V, es decir un buque de casco moderno.

La forma del caso de un buque determina que tanta potencia requiere para ser impulsado, influye directamente en la velocidad de la embarcación, impone restricciones en cuanto al espacio disponible para el transporte de carga y pasajeros, e influye considerablemente en la seguridad, estabilidad, y movimiento del buque en el mar.

Plano de líneas

La presentación convencional de la forma 3D del casco de un buque se da por medio de planos de líneas de forma. Estos forman las curvas y contornos principales en las tres vistas ortogonales a lo largo del eje principal del buque.

Planos de línea de formas

- Vista de planta o planos de líneas de agua (plan view, waterlines plan, half breath plan). Es el grupo de proyecciones verticales en un plano base horizontal.
- Vista de perfil o de elevación (profile view, sheer plan, elevation). Es el grupo de proyecciones transversales en el plano de línea de centro.
- Vista de secciones transversales (body plan). Es el grupo de proyecciones longitudinales en un plano transversal. Es convencional que en este plano se proyecten los contornos de proa y popa de forma separada. La selección de una posición longitudinal para la división del buque en proa y popa es arbitraria pero generalmente dicha división se hace en amidships.

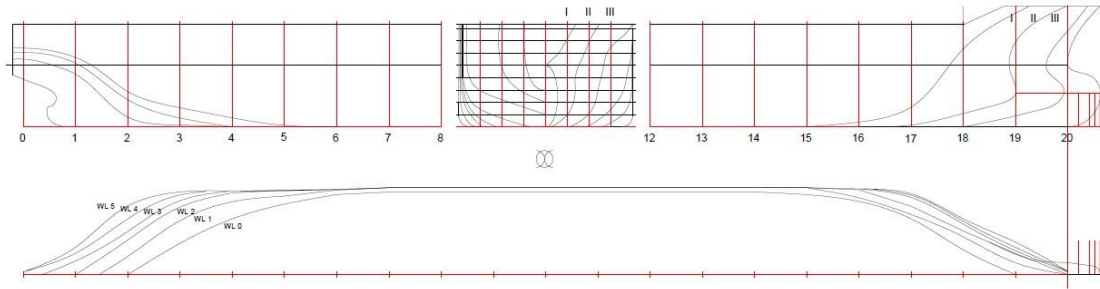
Elaboración de estaciones

Para dibujar las líneas de forma del barco, debe crear los planos con vista transversal, perfil y vista en planta. Empezando primeramente con el plano de vista transversal, se debe trabajar cada estación.

Con la curva de B/B_{máx} previamente ya realizada. De la tabla de esta curva obtuvimos la manga máxima de cada estación (media manga) y con esto se pueda cumplir con el área de cada estación. Entonces puede suponer que cada estación en cada línea de flotación tiene una manga, por lo que cada estación llega a esa área junto con la manga inicial con la manga máxima.

Este proceso es bastante iterativo y se realizó considerando previamente una forma de un buque similar. Al obtener las 21 estaciones, la vista transversal se dibujó con AutoCAD (y Excel).

Las vistas de perfil y plano se crearon con una vista de sección satisfactoria. Con estas vistas, las nuevas iteraciones quedaron claras (también fue necesario iterar las curvas A/ Amáx y B/ Bmáx). Después de muchas iteraciones, se asumió la forma del casco con respecto a la hélice y en la obra muerta.



PARTE TRES

3.0 Disposición General.

- Volumen requerido de los espacios de carga, basado en el tipo y cantidad de carga.
- Método de estiba de carga y sistemas de manejo de carga.
- Volumen requerido de espacios de maquinaria, basado en el tipo de maquinaria y potencia.
- Volumen requerido de espacios de habilitación, basado en el número de tripulantes y estándares.
- Volumen requerido de tankage, principalmente combustible y lastre limpio, basado en el tipo de maquinaria, tipo de combustible y autonomía de navegación.
- Estándar requerido de subdivisión y limitaciones de la separación de mamparos transversales.
- Dimensiones principales aproximadas (Eslora, Manga, Puntal, Calado).
- Formas de casco.

3.1 Introducción a Normativa principal para disposición general.

Las normativas para la evaluación de cumplimiento del buque que está registrado como proyecto 12, son CSR (Common Structures Rules) y Marpol (Maritime Pollution).

CSR se define como normativas estructurales desde popa a proa, espacio de máquinas, superestructura, fondeo, amarre, etc., de un buque.

CSR define en cada punto las normativas de estructura de casco, interna, cubierta, forma, lateral. Que debe cumplir dependiendo las dimensiones del buque, misión que elaborara, tipo de buque y forma.

En lo que respecta a Marpol, que es el Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques, incluye reglas encaminadas a prevenir y reducir al mínimo la contaminación ocasionada por los buques, tanto accidental como procedente de las operaciones normales, y actualmente incluye seis anexos técnicos. En la mayoría de tales anexos figuran zonas especiales en las que se realizan controles estrictos respecto de las descargas operacionales.

Es decir, todas las normativas ocupadas están basadas a un buque doble casco, cuyo tipo es “tanker”, específicamente “Product Tanker”, conforme a la especificación de diseño.

3.2 Zona de Proa.

La proa es la parte delantera del buque, esta deberá tener la forma adecuada según el diseño del casco para aportar la hidrodinámica más eficiente, es decir, aportar la menor resistencia al avance o desplazamiento del buque.

Existen diferentes diseños de la proa. El diseño adecuado para el buque proyecto 12 es proa de bulbo; se llama así por el bulbo que lleva en la proa, presenta una reducida.

3.2.1 Impacto de proa

- La estructura lateral en el área delantera de $0.1L$ del F.P. debe ser reforzado contra las presiones de impacto del arco.
- El módulo de sección y el grosor del alma de los miembros de soporte local se aplican a las áreas libres de los soportes de los extremos. El módulo de la sección del miembro de soporte primario se aplicará a lo largo del tramo de flexión libre de los soportes de los extremos y las áreas de la sección transversal del miembro de soporte primario se aplicará en los extremos / soportes y se puede reducir gradualmente a lo largo del tramo y sin los extremos.
- El refuerzo es extenderse hacia adelante de $0.1L$ desde el F.P. y verticalmente por encima del calado mínimo de lastre de diseño,
- El diseño de las conexiones de los extremos de los refuerzos en la región de impacto del arco es para asegurar la fijación del extremo, ya sea haciendo que los refuerzos sean continuos a través de los soportes o proporcionando soportes de extremo que cumplan.

3.2.2 (Estructura interna)

3.2.2.1 Mamparos de tanque

- Es posible que se requiera que los tanques tengan divisiones o placas de lavado profundo para minimizar la tensión dinámica en la estructura.

3.2.2.2 Construcción

- En ningún caso los escantillones de los mamparos delimitadores de los tanques serán inferiores a los requisitos para los mamparos estancos.
- El espesor de la placa de límite del tanque debe cumplir con los requisitos de: Para las planchas sometidas a presión lateral, el espesor neto de las planchas, t_{net} , debe tomarse como el valor máximo calculado para todos los conjuntos de cargas de diseño aplicables.
- El módulo de sección y el espesor de los refuerzos deben cumplir con los requisitos de: Para los rigidizadores sujetos a presión lateral, el módulo de la sección neta, Z_{net} , debe tomarse como el valor máximo calculado para todos los conjuntos de cargas de diseño aplicables.
Para los rigidizadores sujetos a presión lateral, el espesor neto del alma basado en los requisitos del área de cortante, $t_{w_{net}}$, debe tomarse como el valor máximo calculado para todos los conjuntos de cargas de diseño aplicables.
- El módulo de sección y el área de corte de los elementos de soporte primarios deben cumplir con los requisitos de: Para los miembros de soporte primarios que se cruzan con o en forma de secciones curvas del casco, la efectividad de los soportes de los extremos es incluir un margen para la curvatura del casco.
- El enchapado de los elementos de soporte primario debe tener una profundidad de no menos del 14% del tramo no soportado en flexión, y no debe ser menor de 2.5 veces la profundidad de las ranuras si las ranuras no están cerradas.

3.3 Zona de Popa.

La popa es la parte trasera y de forma adecuada para facilitar la llegada de los filetes líquidos, que van a llenar el vacío que provoca el buque con su movimiento de traslación. Para el buque Product Tanker (Proyecto 12) al momento de determinar las líneas de forma señala que la popa es tipo plana.

Las normativas (CSR) para la zona de popa que se debe respetar son:

3.3.1 Aplicación

- Los requisitos de esta subsección se aplican a la estructura ubicada entre el mamparo del pico de popa y el extremo de popa del buque.
- Los requisitos de esta subsección no se aplican a lo siguiente:
 - (a) bocina de timón
 - b) estructuras que no formen parte integrante del casco, como timones, toberas de dirección y hélices
 - (c) otros apéndices unidos permanentemente al casco.Quando se instalen tales elementos, se deben cumplir los requisitos de la Sociedad de Clasificación individual.

3.3.2 Requisitos generales de escantillado

- La estructura del casco debe cumplir con los requisitos aplicables de:
 - (a) resistencia longitudinal de la viga del casco.
 - (b) resistencia contra salpicaduras y cargas de impacto.
 - (c) pandeo / resistencia a la rotura.
- El espesor de la placa de cubierta y la estructura de soporte deben reforzarse adecuadamente para el mecanismo de gobierno, los molinetes de amarre y otra maquinaria de cubierta.
- Los criterios de escalado se basan en suposiciones de que todas las juntas estructurales y los detalles soldados se diseñan y fabrican de manera que sean compatibles con los niveles de tensión de trabajo previstos en las ubicaciones consideradas. Se deben considerar los patrones de carga, las concentraciones de tensiones y los posibles modos de falla de las uniones estructurales y los detalles durante el diseño de regiones altamente sometidas a esfuerzos. Los detalles del diseño de la estructura deben cumplir con los requisitos.
- En las zonas de transición por delante del pico de popa hacia el espacio de máquinas, se debe prestar la debida atención al estrechamiento de los elementos de soporte primarios.

3.3.3 Estructura de la carcasa del extremo de popa

3.3.3.1 El módulo de sección y el espesor de la estructura de la envolvente del casco deben cumplir con los requisitos de: Para los rigidizadores sujetos a presión lateral, el módulo de la sección neta, Z_{net} , debe tomarse como el valor máximo calculado para todos los conjuntos de cargas de diseño aplicables.

Para los rigidizadores sujetos a presión lateral, el espesor neto del alma basado en los requisitos del área de cortante, tw_{net} , debe tomarse como el valor máximo calculado para todos los conjuntos de cargas de diseño aplicables.

3.4 Zona de Carga.

3.4.1 Guía de carga

Todos los buques deberán recibir información de orientación sobre carga que contenga información suficiente para que el capitán del buque pueda mantener el buque dentro de las limitaciones operacionales estipuladas.

La información de guía de carga debe incluir un manual de carga y un sistema informático de carga aprobados que cumplan con los requisitos.

La información de orientación sobre la carga se basará en los datos finales del buque.

Las modificaciones que produzcan cambios en los datos principales del buque (peso del buque, distribución de la flotabilidad, volúmenes o uso de los tanques, etc.) requieren la actualización y aprobación del Manual de carga y, posteriormente, la actualización del Sistema informático de carga y vuelto a aprobar. Sin embargo, no es necesario volver a presentar una nueva guía de carga siempre que las corrientes de aire resultantes, los momentos flectores en agua en calma y las fuerzas cortantes no difieran de los datos aprobados originalmente en más del 2%.

La guía de carga se preparará en un idioma que los usuarios comprendan. Si este idioma no es el inglés, se incluirá una traducción al inglés. Cuando corresponda, un documento que traduzca el idioma de los datos de entrada y salida se proporcionará la carga del sistema informático en inglés.

La información de orientación de carga debe incluir la siguiente declaración, para asegurar que la tripulación conozca las limitaciones operacionales para el calado mínimo hacia adelante:

El cálculo de las condiciones de salida se basará en tanques llenos de acuerdo con las normas de estabilidad aplicables para el llenado de tanques; tenga en cuenta que los tanques de combustible no deben tomarse con menos del 95% de su capacidad y otros consumibles deben tomarse al 100% de su capacidad. Las condiciones de llegada se basarán en el 10% de la capacidad máxima de búnker, agua dulce y provisiones.

Cuando la cantidad y la disposición de los bienes fungibles en cualquier etapa intermedia del viaje se consideren más severos, los cálculos para tales condiciones intermedias también deberán presentarse para su aprobación.

No se permitirá que se utilicen como condiciones de carga de proyecto las condiciones de carga de lastre que impliquen un pico parcialmente lleno y / u otros tanques de lastre en cualquier condición de salida, llegada o intermedia, a menos que, para todos los niveles de llenado entre vacío y lleno, los niveles de tensión resultantes sean dentro de los criterios de aceptación de esfuerzos y pandeo. Para fines de diseño, este criterio se cumplirá si los niveles de tensión se encuentran dentro de los criterios de aceptación de tensión y pandeo para las condiciones de carga con los tanques adecuados llenos, vacíos y parcialmente llenos al nivel previsto en cualquier condición de salida, llegada o intermedia. Las condiciones correspondientes del tanque lleno, vacío y parcialmente lleno deben considerarse como condiciones de diseño para el cálculo del momento flector y la fuerza cortante en aguas tranquilas, pero no es necesario que cumplan con los requisitos de inmersión y asiento de la hélice como se especifica. Cuando se prevea que varios tanques de lastre se llenen parcialmente, se investigarán todas las combinaciones de llenos, vacíos o parcialmente llenos a los niveles previstos para esos tanques. Estos requisitos no son aplicables al cambio de agua de lastre utilizando el método secuencial.

Los requisitos de escalado en esta subsección deben aplicarse a cualquier sección transversal a lo largo de toda la longitud del barco y son adicionales a todos los demás requisitos dentro de las reglas.

Fuera de la región de 0,4 L de la parte central del barco, la placa y los refuerzos pueden reducirse gradualmente hacia los requisitos locales en los extremos.

3.5 Zona de Maquinaria.

Los requisitos de esta subsección se aplican a los espacios de máquinas situados en la región del extremo de popa, a popa del mamparo de popa del tanque de carga y delante del mamparo del pico de popa, incluido.

Las normativas (CSR) para la zona de maquinaria que se debe respetar son:

3.5.1 Requisitos generales de escantillado

La estructura del casco debe cumplir con los requisitos aplicables de:

- (a) resistencia longitudinal de la viga del casco.
- (b) resistencia contra salpicaduras y cargas de impacto.
- (c) resistencia al pandeo / rotura.

El módulo de sección neta, el área de corte y otras propiedades seccionales de los elementos de soporte primario y local se determinarán de acuerdo con:

El módulo de sección y el grosor del alma de los miembros de soporte local se aplican a las áreas libres de los soportes de los extremos. El módulo de sección y las áreas de corte transversal de los elementos de soporte primarios deben aplicarse.

Los criterios de escalado se basan en suposiciones de que todas las juntas estructurales y los detalles soldados se diseñan y fabrican de manera que sean compatibles con los niveles de tensión de trabajo previstos en las ubicaciones consideradas. Se deben considerar los patrones de carga, las concentraciones de tensiones y los posibles modos de falla de las uniones estructurales y los detalles durante el diseño de regiones altamente sometidas a esfuerzos.

Se tomarán las disposiciones adecuadas para asegurar la continuidad de la resistencia y evitar discontinuidades abruptas cuando se omita la estructura que contribuye a la resistencia longitudinal principal del buque en el espacio de máquinas.

Cuando el casco interior o las estructuras de mamparo longitudinal terminen en el mamparo de la cámara de máquinas de proa, se proveerá una estructura de respaldo adecuada junto con ménsulas ahusadas para asegurar la continuidad de la resistencia.

Los elementos de soporte primarios longitudinales, las cubiertas inferiores y los mamparos dispuestos en la sala de máquinas se alinearán con estructuras similares en la región del tanque de carga, en la medida de lo posible. Cuando no sea posible la alineación directa, se deben proporcionar dispositivos de escarpado adecuados, como soportes cónicos.

3.5.2 Preparativos

Cuando se disponga de aberturas en cubiertas / mamparos en el espacio de máquinas, las disposiciones serán para asegurar el soporte de la estructura de cubierta, lateral e inferior.

Todas las partes de la maquinaria, ejes, etc., deben estar soportadas para distribuir las cargas en la estructura del barco. La estructura adyacente debe estar adecuadamente reforzada.

Los elementos de soporte primarios se colocarán teniendo en cuenta la provisión de refuerzos pasantes y soportes de pilares en línea para lograr un diseño estructural eficiente.

Estos requisitos se formulan asumiendo disposiciones convencionales de propulsión de un solo tornillo y un motor. Las embarcaciones de dos tornillos o multimotores, o las embarcaciones de mayor potencia, pueden requerir adiciones a los escantillones de la estructura y al área de accesorios, que son proporcionales al peso, la potencia y las proporciones de la maquinaria, especialmente cuando los motores están colocados relativamente alto en proporción al ancho de la placa de la cama.

Los cimientos de las unidades de propulsión principales, engranajes de reducción, ejes y cojinetes de empuje y la estructura que soporta esos cimientos deben mantener la alineación y rigidez requeridas en todas las condiciones de carga previstas.

Se debe considerar la presentación de los siguientes planes al fabricante de la maquinaria para su revisión:

- a) cimientos de las unidades de propulsión principales
- b) fundamentos para engranajes reductores
- c) fundaciones para cojinetes axiales
- d) estructura de soporte (a), (b) y (c).

Se instalará una ataguía para separar los tanques de carga del espacio de máquinas.

La sala de bombas, los tanques de lastre o los tanques de fueloil pueden considerarse ataguías para este fin.

3.5.3 Estructura lateral

Los escantillones del revestimiento lateral de la carcasa y los longitudinales deben ahusarse adecuadamente desde la región del medio del barco hacia el extremo de popa.

Se dispondrá una disposición adecuada de escarpado del entramado longitudinal donde termina el entramado longitudinal y se sustituirá por un entramado transversal.

Los refuerzos y los miembros de soporte primario deben apoyarse en sus extremos.

Las conexiones de los extremos de los largueros en los mamparos transversales deben proporcionar fijación, soporte lateral y, cuando no son continuas, deben estar provistas de soportes de punta blanda. No se deben colocar soportes superpuestos a los longitudinales.

Miembros de soporte primario de la carcasa lateral:

Los marcos de alma deben estar conectados en la parte superior e inferior a elementos de rigidez adecuada y apoyados por transversales de cubierta.

La separación de los marcos de alma en espacios de máquinas con marcos transversales no debe exceder generalmente de cinco espacios de marcos transversales.

El módulo de sección y el área de corte de los elementos de soporte primarios deben cumplir con los requisitos.

La profundidad del alma no debe ser inferior a 2,5 veces la profundidad del alma de los marcos adyacentes si las ranuras no están cerradas.

El enchapado de alma de los miembros de soporte primario debe tener una profundidad de no menos del 14% del tramo sin soporte en flexión.

3.5.4 Estructura de cubierta en zona de maquinaria

Todas las aberturas deben estar enmarcadas. Se debe prestar atención a la continuidad estructural. Deben evitarse cambios bruscos de forma, sección o espesor de placa.

Las esquinas de las aberturas del espacio de máquinas deberán tener la forma y el diseño adecuados para minimizar las concentraciones de esfuerzos.

En lo que respecta a las aberturas de máquinas, la cubierta o los pisos deberán tener la resistencia suficiente cuando estén destinados a servir de soporte eficaz para los marcos transversales laterales o los marcos de alma.

Cuando se adopte un sistema de entramado transversal, los refuerzos de cubierta se sostendrán mediante una disposición adecuada de vigas longitudinales en asociación con pilares o mamparos de pilares. Cuando estén instalados, los transversales de la plataforma se colocarán en línea con los marcos de alma para proporcionar la fijación de los extremos y la continuidad transversal de la resistencia.

Cuando se adopte un sistema de entramado longitudinal, los largueros de cubierta se sostendrán mediante transversales de cubierta alineados con bastidores de alma en asociación con pilares o mamparos de pilares.

Las carcasas de maquinaria se sostendrán mediante una disposición adecuada de travesaños de cubierta y vigas longitudinales en asociación con pilares o mamparos de pilares.

En el caso de aberturas de carcasa de maquinaria particularmente grandes, pueden ser necesarias traviesas. Estos se colocarán en línea con los transversales de la cubierta.

Los escantillones estructurales no deben ser inferiores a los requisitos para los límites de los tanques si la cubierta forma el límite de un tanque.

Los escantillones estructurales no serán inferiores a lo prescrito para los mamparos estancos si la cubierta forma el límite de un espacio estanco.

3.6 Superestructuras.

Se le denomina superestructura a la parte superior de un conjunto estructural, es decir en términos de ingeniería naval, toda estructura sobre la cubierta principal. En la superestructura se puede integrar camarotes de la tripulación, sala de manipulaciones, gabinete, etc.

Las normativas (CSR) para la superestructura que se debe respetar son:

Disposiciones de cierre para aberturas en casetas y escaleras. Todas las aberturas en los mamparos de las casetas de cubierta y escaleras, que dan acceso directo a superestructuras cerradas o a espacios debajo del francobordo, deberán ser:

La altura de los umbrales de las aberturas de acceso, en los mamparos de las casetas de cubierta y las escaleras, que dan acceso directo a las superestructuras cerradas o a los espacios debajo de la cubierta de francobordo, debe ser como mínimo de 600 mm en la posición 1 y de 380 mm en la posición 2.

Las ventanas y los portillos laterales, instalados en los límites de las casetas de cubierta que protegen el acceso directo a las superestructuras, o a los espacios debajo de la cubierta de francobordo, deben estar equipados con eficientes luces muertas interiores con bisagras.

Los imbornales y descargas que drenan los espacios debajo de la cubierta de francobordo, o los espacios dentro de superestructuras intactas o casetas en la cubierta de francobordo, provistos de puertas que cumplan las prescripciones de la regla 12 del Convenio internacional sobre líneas de carga, podrán conducirse a las

sentinas caso de imbornales, o sanitarios adecuados cisternas en caso de vertidos sanitarios. Alternativamente, pueden ser arrojados por la borda, siempre que:

- a) el francobordo es tal que el borde de la cubierta no está sumergido cuando el buque escora cinco grados en cualquier dirección, y
- b) cada desagüe está provisto de medios para evitar que el agua pase hacia el interior, de conformidad.

3.7 Zonas de amarre, fondeo y local del servo.

La siguiente especificación del equipo de anclaje y amarre está destinada al amarre temporal de una embarcación dentro de un puerto o área protegida cuando la embarcación está esperando atraque, marea, etc.

Las normativas (CSR) para la zona de amare y fondeo que se debe respetar son:

3.7.1 Limitaciones

El equipo especificado no está destinado a ser adecuado para mantener a un barco alejado de costas totalmente expuestas en condiciones climáticas adversas o para detener un barco que se está moviendo o deriva. En tal condición, las cargas sobre el equipo de anclaje aumentan hasta tal punto que sus componentes pueden dañarse o perderse.

El equipo de anclaje especificado está destinado a mantener un barco en un buen terreno de sujeción en condiciones tales que eviten el arrastre del ancla. En un terreno de sujeción deficiente, la capacidad de las anclas para sujetar el barco se reducirá significativamente.

3.7.2 Suposiciones

Supuestos

La fórmula del Número de equipo (EN) para el equipo de anclaje requerido se basa en una velocidad de corriente asumida de 2.5 m/s, una velocidad del viento de 25 m/s y un alcance del cable de cadena entre 6 y 10. El alcance del cable de cadena se define como la relación entre la longitud de la cadena desplegada y la profundidad del agua.

Se supone que, en circunstancias normales, un barco utilizará solo un ancla de proa y un cable de cadena a la vez.

3.7.3 Anclas (fondeo) Anclas

Se deben conectar dos anclajes de la glorieta al cable de la cadena y guardarlos en su posición listos para usar.

Se recomienda proporcionar una tercera ancla como ancla de repuesto y se incluye solo como guía; no se requiere como condición de clasificación.

Los anclajes deben tener un diseño aprobado. El diseño de los cabezales de anclaje debe ser tal que minimice las concentraciones de tensión. En particular, los radios en todas las partes de las cabezas de anclaje fundidas deben ser lo más grandes posible, especialmente cuando hay un cambio considerable de sección.

Los anclajes deben ser del tipo sin stock. La masa de la cabeza de un ancla sin stock, incluidos los pasadores y accesorios, no debe ser inferior al 60% de la masa total del ancla.

Un ancla para la que se solicita la aprobación como ancla de alto poder de sujeción (HHP) se someterá a prueba en el mar para demostrar que tiene una potencia de sujeción dos veces mayor que la aprobada para un ancla estándar sin stock de la misma masa.

Si se busca la aprobación para una variedad de tamaños, se deben probar al menos dos. El más pequeño de los dos anclajes debe tener una masa no menor a una décima parte

de la del ancla más grande. El mayor de los dos anclajes sometidos a prueba debe tener una masa no inferior a una décima parte de la del ancla más grande para la que se solicita la aprobación.

Cada ensayo debe comprender una comparación entre al menos dos anclajes, un ancla de emparrado ordinaria sin stock y un ancla de HHP. Las masas de los anclajes deben ser aproximadamente iguales.

Las pruebas se realizarán en al menos tres tipos diferentes de fondo, que pueden ser lodo o limo blando, arena o grava y arcilla dura o material compactado similar.

Las pruebas se realizarán generalmente mediante un remolcador. El tirón se medirá con un dinamómetro o se determinará a partir de datos recientemente verificados del tirón del bolardo del remolcador en función de las RPM de la hélice.

El diámetro de los cables de la cadena conectados a los anclajes debe ser el requerido para el Número de Equipo correspondiente. Durante la prueba, la longitud del cable de la cadena en cada ancla debe ser suficiente para obtener un tirón aproximadamente horizontal en el ancla.

Generalmente, una distancia horizontal entre el ancla y el remolcador igual a 10 veces la profundidad del agua será suficiente.

2.7.4 Amarres y cables de remolque

Salvo lo indicado en, las líneas de amarre y las líneas de remolque no se requieren como condición para la Clasificación. Los cabrestantes y los cables de remolque que se enumeran en la lista están pensados como guía. Cuando la resistencia a la rotura tabular sea superior a 490 kN, la resistencia a la rotura y el número de cables individuales indicados en la Tabla pueden modificarse, siempre que su producto no sea menor que el de la resistencia a la rotura y el número de cables indicados en la Tabla.

Disposición alternativa de amarre

Para facilitar su manipulación, los cables de fibra no deberían tener un diámetro inferior a 20 mm.

Todos los cables que tengan una resistencia a la rotura superior a 736 kN y que se utilicen en operaciones normales de amarre deberían manipularse y almacenarse en cabrestantes de diseño adecuado. Los métodos alternativos de almacenamiento deben tener debidamente en cuenta las dificultades experimentadas al manipular manualmente cuerdas que tienen resistencias a la rotura en exceso de 490 kN. En tales casos, la resistencia a la rotura y el número de cables individuales pueden modificarse, pero su producto no debe ser menor que el de la resistencia a la rotura y el número de cables dados en la Tabla.

Sin embargo, el número de líneas de amarre no debe ser inferior a seis, y ninguna línea debe tener una resistencia a la rotura inferior a 490 kN.

Asegurar líneas de amarre

Se proveerán medios que permitan asegurar adecuadamente las amarras a bordo del buque. Se recomienda que el número total de bolardos convenientemente colocados a cada lado del buque y / o la capacidad total de retención de los frenos de los chigres de amarre sea capaz de sostener al menos 1,5 veces la suma de las resistencias máximas de rotura de las líneas de amarre.

3.8 Planos

Dado a que (CSR) son reglas estructurales para un buque, el ingeniero naval desarrolla plano estructurales de casco, estructura lateral, de cubierta, estructura de interiores (Mamparos), de refuerzos, plano de bloque de construcción de sección de buque, plano de corte de placa.

En este proyecto se realizó tres tipos de planos, perfil, transversal y de planta de los cuales define la forma estructural que tendrá el buque.

Con el plano transversal y perfil se puede definir plano de placas o forrado.

El cálculo de esos planos se realizó en base los coeficientes de forma, para poder entrar en el cálculo de la curva de áreas. Para si con los planes, coeficientes y áreas poder hacer mediante un proceso de prueba y error, la determinación de las líneas de forma y cartilla de trazado.

3.9 FUENTES DE INFORMACIÓN

Benitez, A. (Septiembre de 2020). Lineamiento de instrumentación de generación del diseño del proceso de diseño V1.0. México.

Benitez, A. (Octubre de 2020). Lineamiento de Instrumentación del Diseño de la Geometría de la Forma del casco V1.0. México.

Benitez, A. (Marzo de 2021). GUIA PARA GENERAL HOJA DE CALCULO DE DISEÑO PARAMETRICO. Mexico.

C., B. D. (2004). *Ship Design and Performance for Mater and Mates*. Oxford: ELSEVIER.

De Lavalle, M. C. (1985). *Análisis Hidrodinámico y Proyecto de Bulbo en Proa*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Erichsen, S. (1989). *Management of Marine Design*. London: Butterworths.

Gobierno de México. (2015). *Reglamento de la Ley de Navegación y Comercio Marítimo*. México.

Gobierno de México. (2020). *Ley de Navegación y Comercio Marítimo*. Mexico.

IMO. (1989). *Resolution 1989*. London: IMO.

IMO. (2028). *SOLAS 2018 Consolidated Edition*.

Juan Jose Moreno González, G. M. (s.f.). *Proyecto Petroleo de productos limpios*. ETSI.

Kratch, A. M. (1978). *Design of Bulbous Bow*. SNAME Transactions.

Lamb, T. (2004). *Ship Design and Construction Vol. 1&2*. Jersey City: SNAME.

LLoyd's Register. (2020). *Rules and Regulatios for the Classification of Ships*. July.

M, W. D. (1998). *Practical Ship Design Vol 1*. London: Elsevier.

Munro-Smith, R. (1973). *Ships and Naval Architecture*. London: Marine Media Management Limited.

Ramón, J. A. (s.f.). *Proyecto 1731 Petrolero de crudo de 150000 TPM*.

Tupper, E. C. (2004). *Introduction to Nava Architecture*. Great Britain: Elsevier.

DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA PRODUCTOS DE PETRÓLEO DE 50,000 TONELADAS DE PESO MUERTO



CAPÍTULO 3: DISEÑO PRELIMINAR

CONTENIDO

PARTE UNO.....	1
1.0 CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 CARACTERÍSTICAS HIDROSTÁTICAS.	2
1.3 BRAZOS DE ADRIZAMIENTO “GZ”.....	6
1.3.1 TABLA DE BRAZOS DE ADRIZAMIENTO.....	8
1.3.2 GRÁFICA DE BRAZOS DE ADRIZAMIENTO.	9
1.4 CAPACIDADES Y CENTROS DE GRAVEDAD DE LOS TANQUES PRINCIPALES. 10	
1.5 CÁLCULO DE FRANCOBORDO.....	13
1.6 CÁLCULO DE ARQUEO.	14
PARTE DOS.....	15
2.0 PREDICCIÓN DE POTENCIA. DISEÑO DEL PROPULSOR Y DEL TIMÓN.....	15
2.1 INTRODUCCIÓN.....	15
2.2 POTENCIA PROPULSORA. CÁLCULO DEL PROPULSOR ÓPTIMO.	16
2.2.1 POTENCIA DE REMOLQUE. MÉTODO DE GULDHAMMER & HARVALD.....	16
2.2.2 DISEÑO DEL PROPULSOR.	17
2.3 ELECCIÓN DEL MOTOR PRINCIPAL.	18
2.4 DISEÑO DEL TIMÓN.	19
2.5 ESTIMACIÓN DE LA MANIOBRABILIDAD.....	21
2.5.1 CAPACIDAD DE EVOLUCIÓN.....	23
2.5.2 ESTABILIDAD DE RUTA.....	23
2.5.3 FACILIDAD DE CAMBIO DE RUMBO.....	24
2.6 PERFIL DE CODASTE PROPULSOR Y TIMÓN.	25
2.7 CONCLUSIONES.	26
PARTE TRES.....	28
3.0 RESISTENCIA ESTRUCTURAL. CUADERNA MAESTRA.	28
3.1 INTRODUCCIÓN.....	28
3.2 CRITERIOS DE CÁLCULO. JUSTIFICACIÓN DE MATERIALES.....	28
3.2.1 REGLAMENTACIÓN APLICABLE.....	28
3.2.2 MATERIALES PARA EMPLEAR.	28
3.2.3 PROCESO PARA SEGUIR EN DEFINIR LA ESTRUCTURA DE LA EMBARCACIÓN.....	29
3.2.4 PARÁMETROS DE ESCANTILLONADO.	29
3.3 ACERO LONGITUDINAL. ESTRUCTURA SECUNDARIA.....	29
3.4 ACERO TRANSVERSAL. ESTRUCTURA PRIMARIA.	33
3.4.1 TRANSVERSALES DE FONDO.....	33
3.4.2 TRANSVERSALES DE COSTADO Y DE MAMPARO LONGITUDINAL.....	33
3.4.3 TRANSVERSALES DE CUBIERTA.....	34
3.4.4 REFUERZOS TRANSVERSALES DE PANTOQUE.....	34
3.5 PLANO DE LA CUADERNA MAESTRA.....	34
3.6 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	36

PARTE UNO

1.0 Cálculos de arquitectura naval.

Se van a definir las formas y la estructura del buque proyecto, realizando los cálculos de arquitectura naval. En los siguientes puntos se resume el contenido de cada una de estas partes y los resultados y conclusiones a los que se ha llegado.

1.1 Introducción.

En este apartado se van a calcular las características hidrostáticas de la carena de nuestro buque (Cálculos de arquitectura naval). Estas incluyen las características principales de las formas generadas, que son:

- a) Principales características hidrostáticas para distintos calados 0 y 13.30 metros.

Se mostrarán los siguientes datos y curvas:

- Características hidrostáticas.
- Curvas Hidrostáticas
- Curvas de Coeficientes principales
- Curvas Isoclinas o de brazos KN
- Capacidades y centros de gravedad de los tanques principales.
- Cálculo de Francobordo.
- Cálculo de arqueo.

Los cálculos y la presentación de gráficas y curvas se obtenidos empleando el software de diseño Maxsurf Modeler.

1.2 Características hidrostáticas.

Las curvas hidrostáticas del buque se han calculado para 6 líneas de flotación, partiendo del calado máximo de proyecto que es 13.3 m para definir bien la carena. Las flotaciones para el trazado de las curvas están separadas verticalmente entre ellas.

Para realizar los cálculos se necesitan definir un rango de calados/desplazamientos, la altura vertical del centro de gravedad (KG) y el trimado elegido, nulo en nuestro caso.

Para conseguir las formas de este se parte en este caso del empleo del programa Maxsurf en el cual se modela el casco a partir de los datos obtenidos en la cartilla de trazado del trabajo 2(NVC-1016_T2), los datos correspondientes a las estaciones derivados del cálculo de la curva de áreas y semimangas.

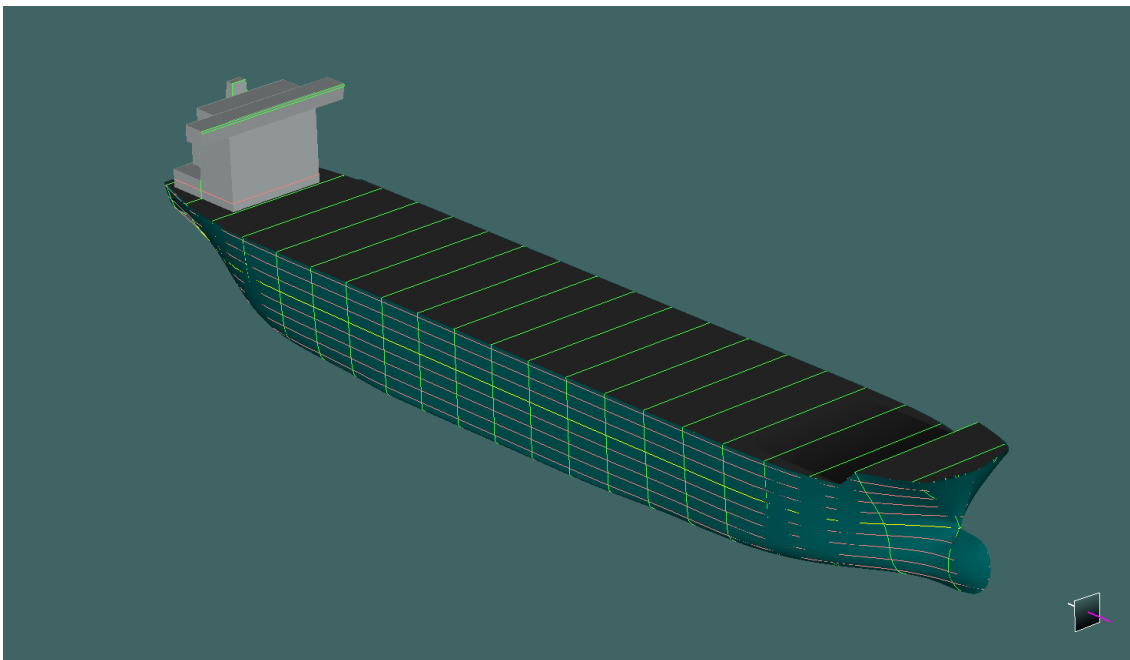
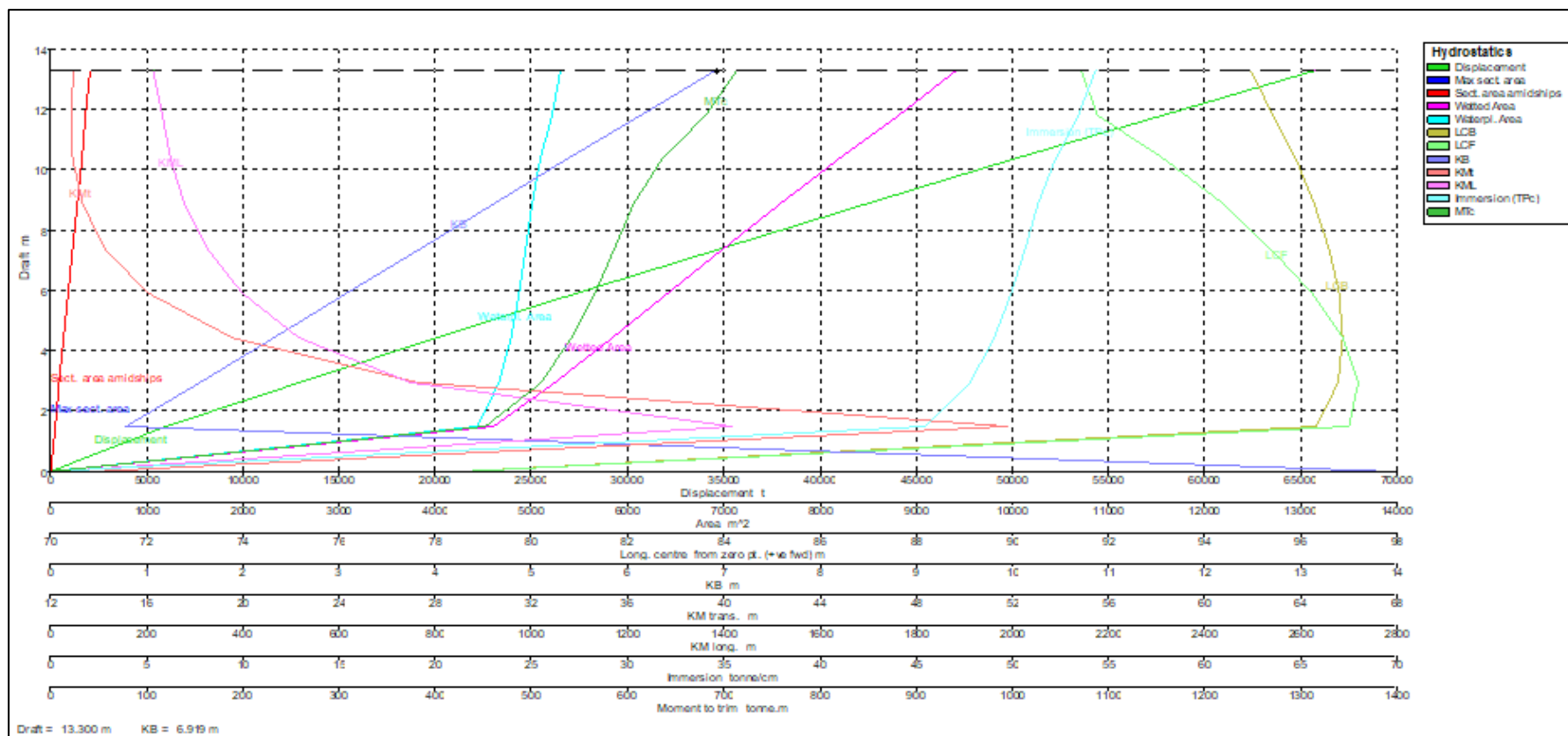
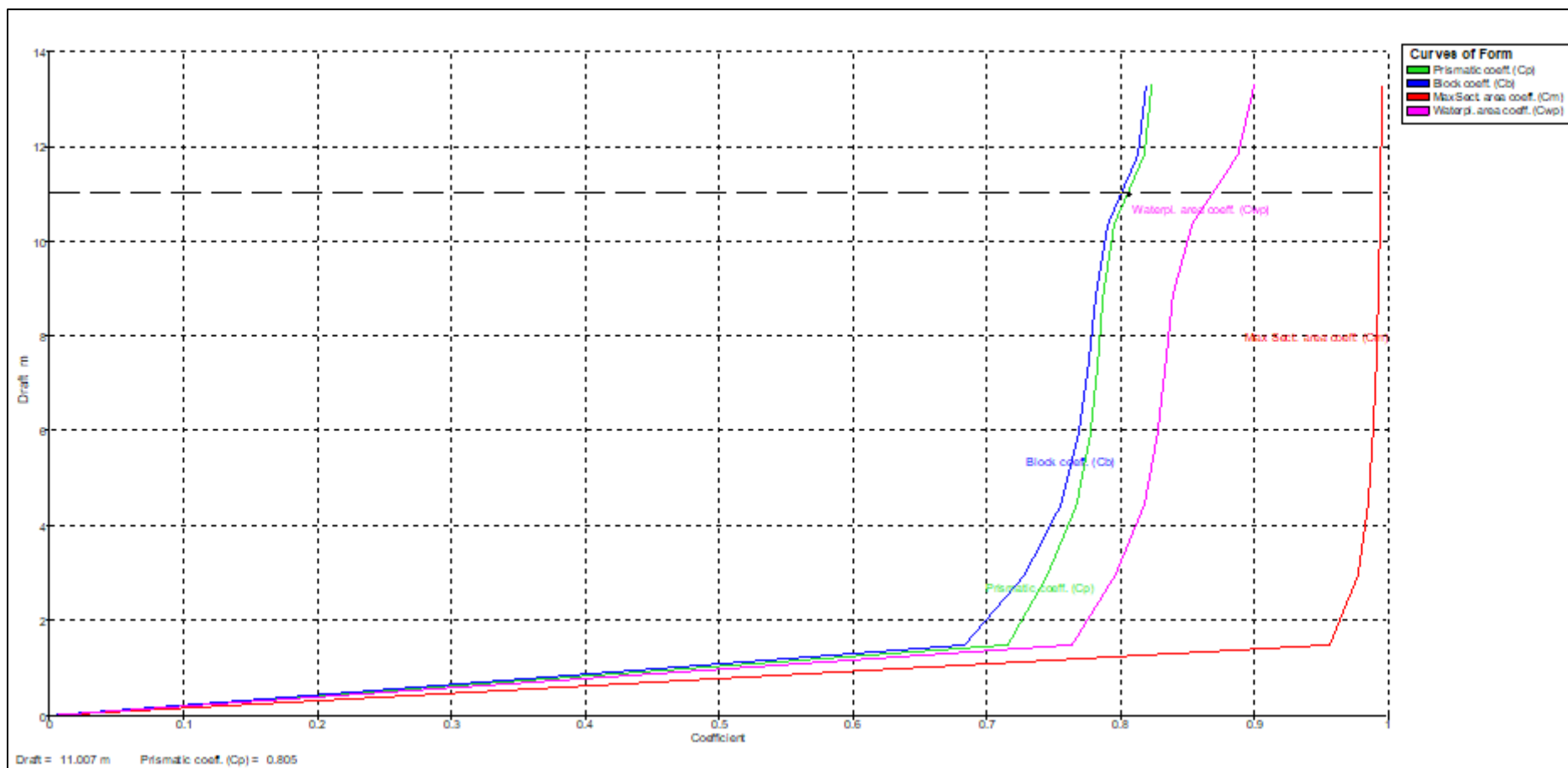


Figura 1 . Modelado del casco del buque (Elaboración Propia)

A continuación, se muestran los datos numéricos para su trazado y se presentan las curvas hidrostáticas y las curvas de coeficientes principales.

Draft Amidships m	0	1.478	2.956	4.433	5.911	7.389	8.867	10.344	11.822	13.3
Displacement t	0	6013	12931	20097	27415	34851	42389	50039	57850	65816
Heel deg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Draft at FP m	0	1.478	2.956	4.433	5.911	7.389	8.867	10.344	11.822	13.3
Draft at AP m	0	1.478	2.956	4.433	5.911	7.389	8.867	10.344	11.822	13.3
Draft at LCF m	0	1.478	2.956	4.433	5.911	7.389	8.867	10.344	11.822	13.3
Trim (+ve by stern) m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WL Length m	166.242	186.378	188.065	187.887	188.951	190.342	191.571	191.625	188.485	189.083
Beam max extents on WL m	0	31.16	31.16	31.16	31.16	31.16	31.16	31.16	31.16	31.16
Wetted Area m ²	0	4609.963	5247.518	5839.881	6426.108	6999.894	7589.241	8197.185	8820.571	9422.723
Waterpl. Area m ²	0	4436.118	4665.763	4786.151	4872.657	4943.302	5009.685	5095.918	5214.705	5300.904
Prismatic coeff. (Cp)	0	0.716	0.745	0.767	0.777	0.783	0.787	0.796	0.817	0.824
Block coeff. (Cb)	0	0.684	0.728	0.755	0.769	0.776	0.781	0.79	0.813	0.819
Max Sect. area coeff. (Cm)		0.956	0.977	0.985	0.989	0.991	0.992	0.994	0.994	0.995
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0	0.764	0.796	0.818	0.828	0.833	0.839	0.853	0.888	0.9
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	78.603	96.326	96.775	96.878	96.795	96.583	96.283	95.907	95.433	94.964
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	78.603	97.001	97.197	96.876	96.22	95.381	94.411	93.166	91.781	91.439
KB m	13.905	0.784	1.554	2.318	3.081	3.843	4.605	5.37	6.142	6.919
KG m	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
BMt m	0	51.008	25.735	17.226	12.955	10.408	8.731	7.558	6.697	6.025
BML m	0	1415.364	746.48	512.772	394.15	321.926	273.902	243.16	225.136	206.923
GMt m	2.905	40.792	16.288	8.544	5.036	3.25	2.335	1.927	1.838	1.944
GML m	2.905	1405.148	737.034	504.09	386.231	314.768	267.506	237.53	220.277	202.842
KMt m	13.905	51.792	27.288	19.544	16.036	14.25	13.335	12.927	12.838	12.944
KML m	13.905	1416.148	748.034	515.09	397.231	325.768	278.506	248.53	231.277	213.842
Immersion (TPc) tonne/cm	0	45.47	47.824	49.058	49.945	50.669	51.349	52.233	53.451	54.334
MTc tonne.m	0	451.824	509.654	541.741	566.233	586.634	606.385	635.603	681.443	713.92





1.3 Brazos de adrizamiento “GZ”.

Empezando por la estabilidad de nuestro barco es de prioridad obtener un cuerpo que recupera su posición inicial de equilibrio si la pierde por causas externas (condiciones ambientales), teniendo esto en mente establecimos que los brazos GZ conocidos por ser la altura metacéntrica por el seno del ángulo de escora, el cual se calcula por:

$$GZ = GM \cdot \sin \alpha \cdot \text{Momento de adrizamiento} = P \cdot GM \cdot \sin \alpha$$

Considerando lo siguiente:

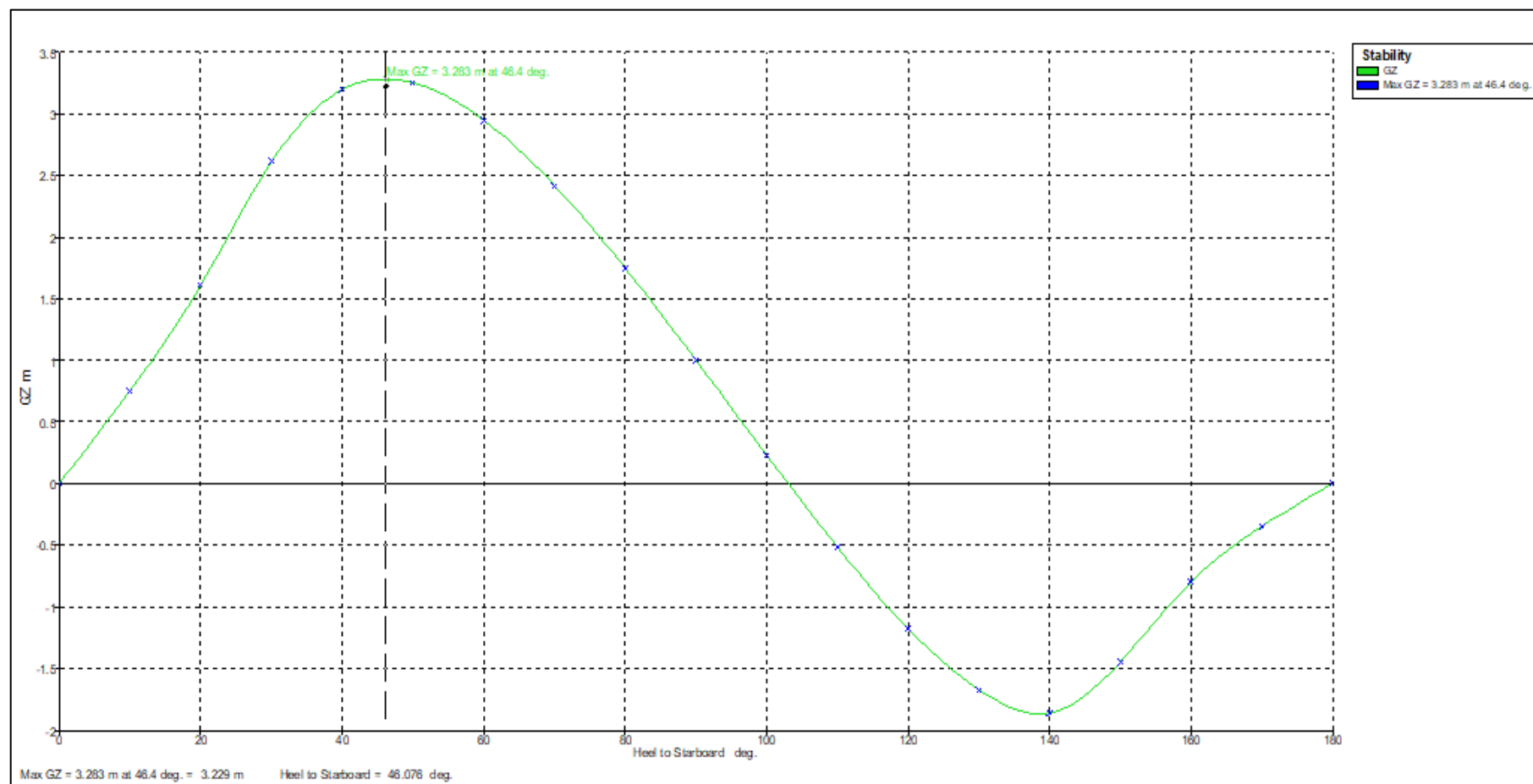
- Si GM es grande, el momento de adrizamiento es grande, lo que implica gran estabilidad inicial con resistencia al balance y recuperación brusca o rígida.
- Si GM es pequeña, el momento es pequeño con tendencia al balanceo de recuperación lenta (se dice que duerme).

Ahora en resultado de Las curvas de estabilidad (curvas GZ) lo usaremos para mostrar gráficamente los valores de los brazos de estabilidad (GZ) producidos por el movimiento que se pueden generar en nuestro buque al volver a la posición de equilibrio desde varias condiciones de escora.

Dichas curvas nos muestran varias características generales que tomamos como resultados que incorporan a nuestro proyecto. En esta se observan y se es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- la altura metacéntrica (GM)
- el valor máximo del brazo adrizante (GZ)
- el punto de estabilidad nula.

Para el cálculo correcto de estos brazos usamos Maxsurf Stability Enterprise, el cual arroja los siguientes resultados tanto numéricos como gráficos:



1.3.1 Tabla de brazos de adrizamiento.

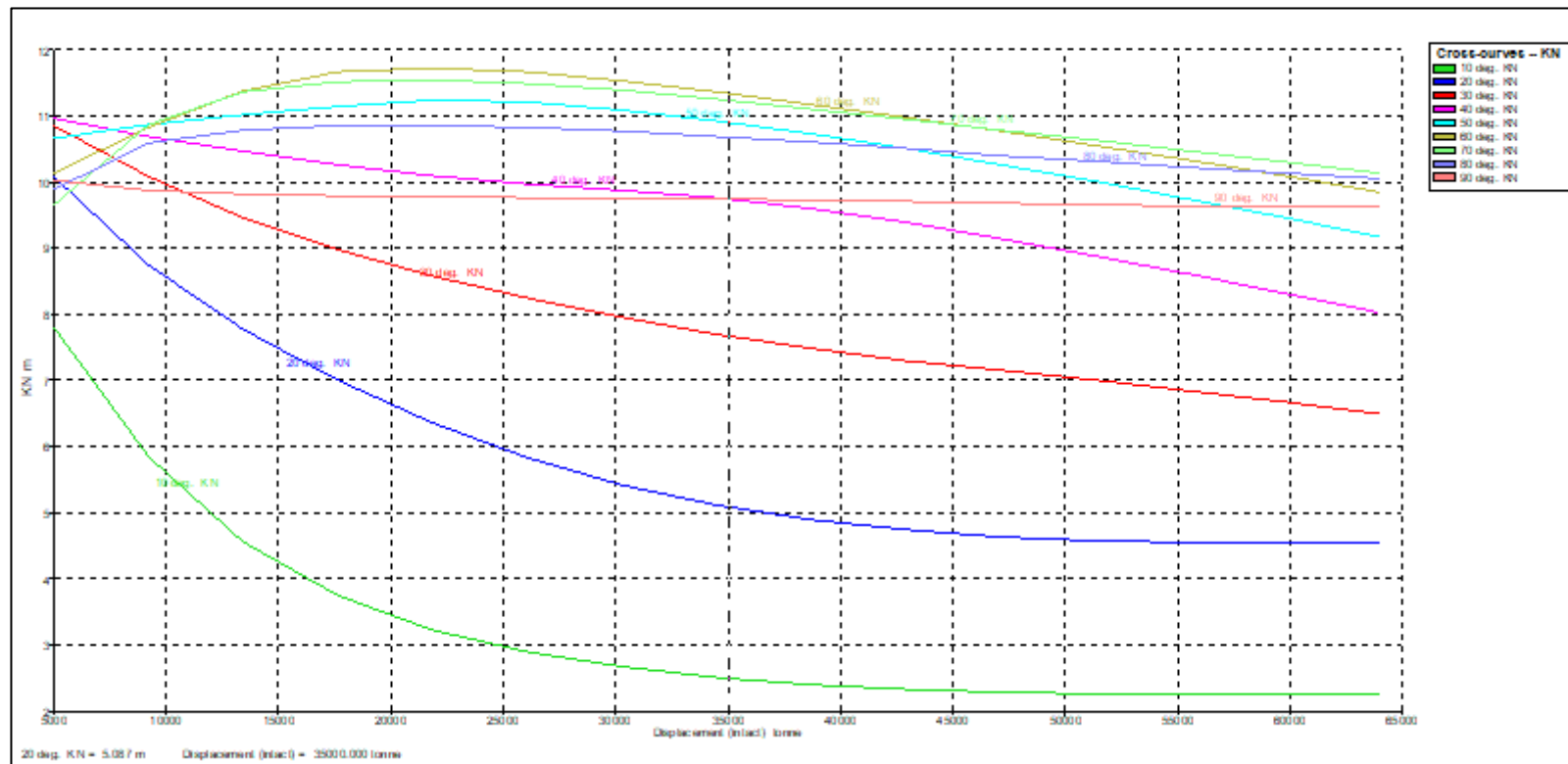
A continuación, se muestran los resultados numéricos de los cálculos de los brazos de adrizamiento KN. Han sido calculados para un rango de desplazamientos de 5,000

Toneladas hasta 64,000 Toneladas. Partimos pues del rango de desplazamientos, rango de ángulos de escora y KG.

Heel to Starboard	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
GZ m	0	0.754	1.609	2.61	3.194	3.252	2.948	2.417	1.747	1
Area under GZ curve from zero	0	3.7451	15.3923	36.5774	66.0646	98.6727	129.9053	156.8762	177.7868	191.5672
Displacement t	53463	53460	53463	53460	53467	53462	53463	53463	53463	53460
Draft at FP m	10.531	10.544	10.566	10.622	11.021	11.532	12.259	13.642	17.72	n/a
Draft at AP m	11.449	11.399	11.264	11.1	11.341	11.966	13.047	15.134	21.198	n/a
WL Length m	192.17	192.133	192.043	191.739	188.476	190.316	191.11	191.741	192.301	192.152
Beam max extents on WL m	31.16	31.641	33.16	32.951	28.289	23.886	21.273	21.071	20.98	21.242
Wetted Area m ²	8490.696	8496.85	8518.038	8763.079	9112.322	9252.449	9317.588	9338.979	9343.361	9345.322
Waterpl. Area m ²	5177.409	5250.665	5492	5458.66	4797.108	4183.947	3770.488	3519.672	3407.505	3391.588
Prismatic coeff. (Cp)	0.789	0.791	0.797	0.81	0.841	0.844	0.847	0.85	0.851	0.855
Block coeff. (Cb)	0.764	0.653	0.545	0.5	0.548	0.61	0.665	0.673	0.697	0.731
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	94.548	94.559	94.561	94.565	94.568	94.566	94.562	94.558	94.553	94.551
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	91.881	91.994	92.203	93.025	94.299	95.593	96.226	96.516	96.995	97.077
Max deck inclination deg	0.2812	10.0033	20.001	30.0002	40.0001	50.0001	60.0001	70.0001	80.0001	90
Trim angle (+ve by stern) deg	0.2812	0.2619	0.2141	0.1464	0.0981	0.1329	0.2414	0.457	1.0657	90

1.3.2 Gráfica de brazos de adrizamiento.

A continuación, se muestran los resultados gráficos de los cálculos de los brazos de adrizamiento KN. Han sido calculados para un rango de desplazamientos de 5,000 Toneladas hasta 64,000 Toneladas. Partimos pues del rango de desplazamientos, rango de ángulos de escora y KG.



1.4 Capacidades y centros de gravedad de los tanques principales.

Una vez se ha calculado las capacidades necesarias en los tanques, ahora se modelará los tanques en Maxsurf Stability Enterprise, esto teniendo de base ya los volúmenes finales de cada uno de los tanques, que deben de ser correspondientes a las capacidades requeridas.

El buque debe de llevar los siguientes tanques:

- Tanques de diésel
- Tanques de agua dulce
- Tanques de aceite
- Tanques de carga
- Tanques slops

Disposición general de los tanques.

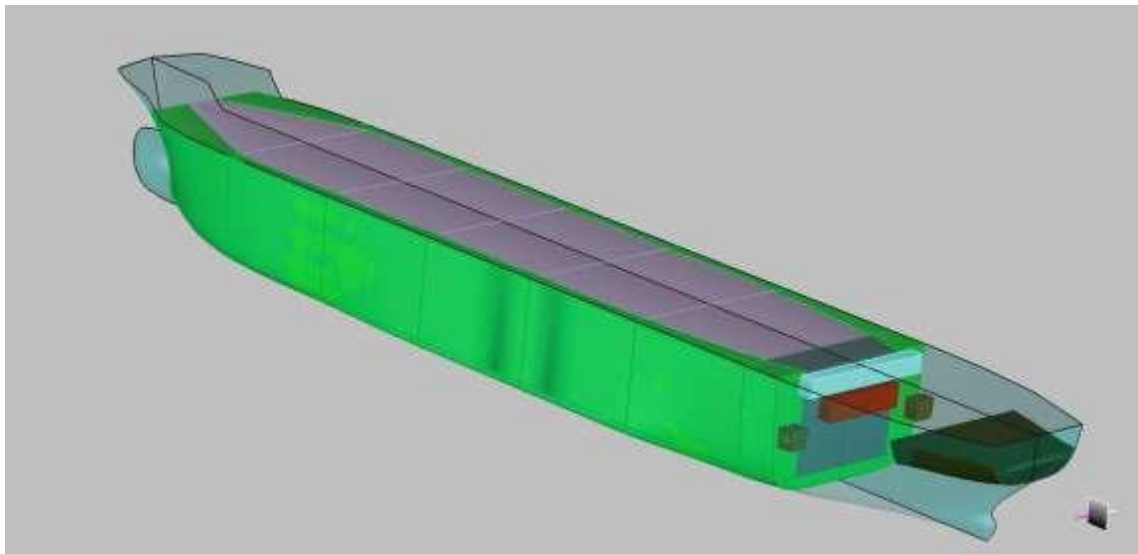


Figura 2. Modelado de tanques (Elaboración Propia)

Tanque	% Cap	Masa Total	Volumen total	LCG	TCG	VCG
Tank 1 Stb	0.95	2296.956	3224.228	163.956	4.734	9.742
Tank 1 Port	0.95	2296.956	3224.228	163.956	-4.734	9.742
Tank 2 Port	0.95	3512.627	4930.66	143.25	-6.79	9.742
Tank 2 Stb	0.95	3512.627	4930.66	143.25	6.79	9.742
Tank 3 Port	0.95	3512.627	4930.66	120.75	-6.79	9.742
Tank 3 Stb	0.95	3512.627	4930.66	120.75	6.79	9.742
Tank 4 Port	0.95	3512.627	4930.66	98.25	-6.79	9.742
Tank 4 Stb	0.95	3512.627	4930.66	98.25	6.79	9.742
Tank 5 Port	0.95	3512.627	4930.66	75.75	-6.79	9.742
Tank 5 Stb	0.95	3512.627	4930.66	75.75	6.79	9.742
Tank 6 Port	0.95	3211.286	4507.669	53.602	-6.226	9.742
Tank 6 Stb	0.95	3211.286	4507.669	53.602	6.226	9.742
Slop Port	0.95	953.418	1044.27	38.841	-5.2	9.742
Slop Stb	0.95	953.418	1044.27	38.841	5.2	9.742
Ballas 1 Port	0.95	355.711	347.035	163.593	-4.825	1.115
Ballast 1 Stb	0.95	355.711	347.035	163.593	4.825	1.115
Ballas 2 Port	0.95	579.774	565.634	143.048	-6.799	0.999
Ballast 2 Stb	0.95	591.606	577.177	143.048	6.799	0.999
Ballas 3 Port	0.95	626.924	611.634	120.615	-7.322	0.985
Ballast 3 Stb	0.95	626.924	611.634	120.615	7.322	0.985
Ballas 4 Port	0.95	644.332	628.616	98.241	-7.519	0.979
Ballast 4 Stb	0.95	644.332	628.616	98.241	7.519	0.979
Ballas 5 Port	0.95	645.89	630.136	75.754	-7.535	0.977
Ballast 5 Stb	0.95	645.89	630.136	75.754	7.535	0.977
Ballas 6 Port	0.95	598.877	584.27	53.535	-7.014	0.99
Ballast 6 Stb	0.95	598.877	584.27	53.535	7.014	0.99
Wing 1 Port	0.95	1502.923	1466.267	167.657	-10.097	10.919
Wing 1 Stb	0.95	1502.923	1466.266	167.657	10.097	10.919
Wing 2 Port	0.95	592.329	577.882	143.036	-14.433	10.284
Wing 2 Stb	0.95	592.328	577.881	143.036	14.433	10.284
Wing 3 Port	0.95	670.808	654.447	120.487	-14.54	9.884
Wing 3 Stb	0.95	670.808	654.447	120.487	14.54	9.884
Wing 4 Port	0.95	699.946	682.875	98.25	-14.58	9.743
Wing 4 Stb	0.95	699.946	682.875	98.25	14.58	9.743
Wing 5 Port	0.95	698.812	681.768	75.766	-14.578	9.749
Wing 5 Stb	0.95	698.812	681.768	75.766	14.578	9.749
Wing 6 Port	0.95	1035.075	1009.829	52.006	-13.819	10.007
Wing 6 Stb	0.95	1035.076	1009.83	52.006	13.819	10.007
Fuel Tank	0.95	503.054	532.727	7.563	4.926	12.885
Fuel Tank	0.95	503.054	532.727	7.563	-4.926	12.885
Ballast 7 Port	0.95	152.438	148.72	38.814	-6.259	1.028
Ballast 7 Stb	0.95	152.438	148.72	38.814	6.259	1.028
Wing 7 Port	0.95	478.599	466.926	38.576	-12.719	10.107
Wing 7 Stb	0.95	478.599	466.926	38.576	12.719	10.107
Diesel Oil Stb	0.95	47.216	56.209	33.35	3.5	12.781
Diesel Oil Port	0.95	47.216	56.209	33.35	-3.5	12.781
Lube Oil Port	0.95	19.886	21.615	33.358	-13.28	9.446
Lube Oil Stb	0.95	19.886	21.615	33.358	13.28	9.446
Fresh Water Port	0.95	69.549	69.549	33.35	-5.8	16.83
Fresh Water Port	0.95	69.549	69.549	33.35	-5.8	16.83
Fresh Water Stb	0.95	69.549	69.549	33.35	5.8	16.83

Concepto	Cap Req	Cap Total	% Error
Tanques de Carga	54900.00	54909.07	9%
Tanques Slops	2080.00	2088.54	9%
Tanques Lastre	6750.00	6746.19	-4%
Tanques de FO	1060.10	1065.45	5%
Tanques DO	118.48	112.42	-6%
Tanques LO	44.76	43.23	-2%
Tanques FW	138.04	139.10	1%

1.5 Cálculo de Francobordo.

Se entiende por francobordo como la distancia vertical desde el costado del buque y en la medianía de su eslora entre la línea de flotación a máxima carga y la línea de cubierta principal.

Se realizó el cálculo del francobordo de acuerdo con el Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 1966, especificando que nuestro buque es un tipo A, considerando esto, tenemos que las reglas aplicadas para este cálculo fueron las siguientes:

- Regla 28. Francobordo tabular
- Regla 30. Corrección por coeficiente de bloque
- Regla 31. Corrección por puntal

Obteniendo los siguientes resultados:

FRANCOBORDO			
Regla 27. Determinación de que tipo de buque es "A" o "B"			
Para el cálculo del francobordo, los buques se dividirán en tipo "A" y tipo "B", ahora bien siguiendo la regla 27 de sus puntos 1 al 11 determinamos que el buque del proyecto 12 cae en tipo "A".			
Regla 28. Tablas de francobordo (Buques de tipo "A")			
El francobordo tabular se determina por medio de: Tabla de francobordo para buques de tipo			
		Eslora	Francobordo
		186	2463
		187	2474
		186.98	Fb
Francobordo =		2,473.74	mm
Regla 30. Corrección por coeficiente de bloque			
Francobordo = Francobordo * (C _B + 0.68)/2			
Francobordo =		1,842.94	mm
Regla 31. Corrección por puntal			
Francobordo = Francobordo * (D-L/15)/(L/0.048)			
Francobordo =		4,127.93	mm

1.6 Cálculo de arqueo.

Como Arqueo se entiende que es el volumen o espacio cerrado de una embarcación, que se obtiene al efectuar el cálculo correspondiente y cuyo resultado expresa el tamaño de una embarcación y su capacidad utilizable, denominándose Arqueo Bruto y Arqueo Neto respectivamente. Ahora, de la misma manera que para el francobordo, los cálculos del arqueo tanto bruto como neto fueron siguiendo el Convenio internacional de líneas.

Específicamente se siguió el Capítulo IV “Reglas para el cálculo de arqueo para embarcaciones de eslora igual o mayor a 24 metros”. Este cálculo fue dividido en dos Arqueo bruto y Arqueo neto. Para el primer cálculo fue necesario el volumen del casco, este es el volumen total de los espacios cerrados del buque. Mientras que para el arqueo neto fue necesario reducir ese volumen del casco a solamente el volumen disponible para la carga.

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos.

Arque bruto y Arqueo neto

ARQUEO PARA BUQUES, EMBARCACIONES Y ARTEFACTOS NAVALES" en el capitulo IV "REGLAS PARA EL CÁLCULO Den ARQUEO PARA EMBARCACIONES DE ESLORA IGUAL O MAYOR A 24 METROS"

Artículo 25°. Arqueo Bruto

Datos			Formula		
∇_{casco}	=	89894.493 m ³	GT =	$K_1 \nabla$	
K_1	=	$0.2 + 0.2\text{Log}_{10}(\nabla_{Casco})$			
K_1	=	1.19			
			GT= 107,041.56 m ³		

Artículo 26°. Arque Neto

Datos			Formula		
$\nabla_{Carga\ útil}$	=	54380.79 m ³	NT =	$K_2 V_c (4T/3D)^2 + K_3 (N_1 + N_2/10)$	
K_2	=	$0.2 + 0.2\text{Log}_{10}(\nabla_{Carga})$			
K_2	=	1.15			
K_3	=	$1.25 + (GT + 10000)/10000$			
K_3	=	12.95			
N_1	=	0			
N_2	=	28			
			NT= 39,969.17 m ³		

PARTE DOS

2.0 Predicción de Potencia. Diseño del Propulsor y del timón.

2.1 Introducción.

En el diseño naval los aspectos relacionados con la predicción o estimación de potencia y la elección de la hélice requieren la aplicación de procedimientos y suposiciones que permiten obtener parámetros, dimensiones y propiedades a un nivel razonable, aun en etapas tempranas como lo es el diseño preliminar.

Los métodos de aproximación por medio de formulaciones empíricas son herramientas que facilitan y optimizan tiempos de cálculo. Para el caso de la potencia, los análisis de la resistencia se basan en la “Ley de comparación” de Froude y el estudio de modelos en canales de ensayos, donde se llevaron a cabo numerosos experimentos en distintos tipos de buques para conocer la resistencia residual correspondiente a cada caso.

De esta manera y mediante la aplicación de las formulaciones es posible obtener el coeficiente de resistencia friccional C_F teniendo como entrada los valores del prototipo y complementar con el coeficiente de resistencia residual C_R y el coeficiente de resistencia adicional C_A , de tal forma que:

$$C_T = C_F + C_R + C_A$$

$$R_T = C_T \left(\frac{1}{2} \rho S V^2 \right)$$

$$P_E = R_T V$$

Así, la potencia efectiva para cierta velocidad puede estimarse si se poseen los datos de entrada para cada componente del coeficiente de resistencia total, permitiendo con ello conocer la curva de Resistencia y de Potencia Efectiva para el rango de velocidades deseado.

Cabe señalar que existen varios caminos para poder llegar a una solución, la elección de cada método atiende a los criterios que cada diseño en particular posee. Para el caso de estudio del proyecto en cuestión, la metodología empleada se describe a continuación.

2.2 Potencia propulsora. Cálculo del propulsor óptimo.

2.2.1 Potencia de remolque. Método de Guldhammer & Harvald.

Para el desarrollo del método Guldhammer & Harvald y optimizado por Otto & Lutzen se desarrolló una hoja de cálculo de Excel en la que se integraron los componentes de la resistencia friccional, residual y adicional que permitieron obtener los datos para 4 velocidades (10, 12, 14 y 14.5 nudos).

Dimensiones				Coeficientes y otros			
Eslera entre perpendiculares	$L_{pp} =$	186.98	m	Razón Manga - Calado	$B/T =$	2.833	
Eslera en la línea de agua	$L_{WL} =$	187.93	m	Coefficiente de Bloque	$\delta =$	0.810	
	$(gL)^{1/2} =$	42.93	m/s	Coefficiente de la Sección Media	$\beta =$	0.994	
Manga	$B =$	31.16	m	Coef. prismático longitudinal ($\nabla/(L*B*T*\beta)$, Havarid)	$\phi =$	0.815	
Calado	$T =$	11.000	m	Razón Eslera-Desplazamiento	$L/\nabla^{1/3} =$	5.029	
desplazamiento	$\Delta =$	53480.00	t		$L/v =$	1.58E+08	s/m
		(1000 kg)					
Volúmen	$\nabla =$	52175.61	m ³				
	$\nabla^{1/3} =$	37.37	m				
Superficie mojada	$S =$	8619.46	m ²				
	$(1/2) * \rho * S =$	4417471	N s ² /m ²	Forma de proa:	Bulbo		
				Gravedad	$g =$	9.81	m/s ²
Velocidad (Esperada)	$V =$	7.46	m/s	Densidad de agua de mar @15°C	$\rho =$	1025.00	kg/m ³
				Viscosidad cinemática agua de mar @15°C	$\nu =$	1.188E-06	m ² /s

Columna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	$F_n =$ $V/(gL)^{1/2}$	Velocidad	V	V^2	$(1/2)\rho S V^2$	$10^3 C_R$						10^3 Correcciones		Resultado $10^3 C_R$	
						$L/\nabla^{1/3}$						B/T	Bulbo		
						5.00			5.50			5.029			
Fuente de la fórmula						Diagramas	interpol	Diagramas	interpol	interpol		(5.5.17) Havarid	APENDIX D $\Delta C_{R, Bulb}$	[12] + [13] + [14]	
						ϕ									
						0.800	0.850	0.815	0.800	0.850	0.815	0.815			
Unidades	-	m/s	Kt	m ² /s ²	kN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	0.120	5.14	10.00	26.46	116890	0.64	0.75	0.68	0.55	0.66	0.58	0.67	0.053	-0.172	0.552
-	0.144	6.17	12.00	38.10	168321	0.74	0.89	0.78	0.63	0.76	0.67	0.78	0.053	-0.186	0.644
-	0.168	7.20	14.00	51.86	229103	0.97	1.27	1.06	0.82	1.06	0.89	1.05	0.053	-0.201	0.898
-	0.174	7.46	14.50	55.63	245760	1.04	1.38	1.14	0.89	1.17	0.97	1.13	0.053	-0.204	0.980

Columna	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	$10^{-8} R_n$	$10^3 C_F$ ITTC-57	$10^3 C_A$	$10^3 C_{AA}$	$10^3 C_T$	R_T	P_E		$P_{E, Ser}$ 15% Sea Margin	
Fuente de la fórmula	$10^{-8} V L/v$	Fig. (5.5.14) Havarid	$10^3 C_A =$ $0.5 \log(\Delta)$ - $0.1(\log(\Delta))^2$	(O&L)	[15] + [17] + [18] + [19]	$10^{-3} [5][20]$	[2] x [21]	[22]/0.7355	[23] * 1.15	[24]/0.7355
Unidades	-	-	-	-	-	kN	kW	Hp	kW	Hp
-	8.14	1.57	0.129	0.070	2.321	271.31	1395.62	1897.52	1604.97	2182.14
-	9.76	1.54	0.129	0.070	2.378	400.25	2470.69	3359.20	2841.30	3863.08
-	11.39	1.51	0.129	0.070	2.603	596.33	4294.52	5838.92	4938.70	6714.76
-	11.80	1.50	0.129	0.070	2.679	658.27	4909.90	6675.60	5646.39	7676.94

Las formulaciones empíricas, así como los datos de entrada cumplen con lo estipulado en la especificación técnica del proyecto 12. Los resultados de la predicción de potencia se resumen en la siguiente tabla.

En la columna 22 y 23, se encuentra el valor de la Potencia Efectiva para la velocidad correspondiente en kW y Hp respectivamente, de la misma forma para las columnas 24 y 25 se encuentran los valores de Potencia Efectiva considerando un margen de mar del 15% de acuerdo con la especificación técnica del proyecto.

El rango de velocidades atiende al hecho que las formulaciones para el C_R de Otto & Lutzen, tienen valores del número de Froude en el rango de 0.12 a 0.25, siendo para este caso particular de 0.12 – 0.17, como dato de entrada.

2.2.2 Diseño del propulsor.

Una vez que se obtuvo la Potencia Efectiva P_E , se procedió a efectuar el diseño del propulsor, mediante la aplicación de los diagramas logarítmicos de hélice ISH.

El procedimiento de acuerdo con lo indicado en el inciso a) de la “Guía rápida de aplicación de diagramas de hélice ISH, método de Harvald” proporcionado por el Ing. Antonio Benítez. Para hélice de 4 aspas (B-4) con 3 razones de A_E/A_0 (0.4, 0.55 y 0.70) y para hélice de 5 aspas (B-5) con razones A_E/A_0 (0.45 y 0.60) efectuando el análisis de cavitación correspondiente el cual fue determinante para la elección del propulsor, pues de los 5 propulsores evaluados, solo uno cumplió con el criterio de cavitación.

A continuación, se resumen las características de los propulsores diseñados y la validación del criterio de selección empleado.

ALT	PROPULSOR	$A_{E/0}$	Lecturas B - 4				Rev Óptimas (rps)	$2*\pi*K_Q*(\rho*n^2*D^5)*n$	Análisis de cavitación
			P/D	J	K_T	K_Q	$V_A/(D*J)$		
							n (rps)	P_D (kW)	$A_{(E/0) prop} > A_{(E/0) nec}$
1	B- 4	0.400	0.705	0.330	0.195	0.023	1.71	8879.92	NO
2		0.550	0.773	0.362	0.215	0.028	1.56	8250.05	NO
3		0.700	0.873	0.380	0.240	0.038	1.48	9582.35	SI
4	B- 5	0.450	0.721	0.345	0.210	0.026	1.63	8876.60	NO
5		0.550	0.773	0.362	0.215	0.028	1.54	8774.80	NO

Una vez seleccionado el propulsor y teniendo los datos particulares del perfil de la hélice, se procedió a analizar para cada velocidad y poder determinar las revoluciones correspondientes, así como su validación para la cavitación con el procedimiento del inciso b) de la guía antes mencionada, el cual es similar al anterior. A continuación, se presentan los resultados de la hélice seleccionada para las distintas velocidades.

			Lecturas B - 4				$V_A / (D^3 J)$	$2 \pi K_Q (\rho n^2 D^5) n$	Analisis de cavitación
Vel	PROPULSOR	$A_{E/O}$	P/D	J	K_T	K_Q	n (rps) / N (RPM)	P_D (kW)	$A_{(E/O) prop} > A_{(E/O) nec}$
10	B- 4	0.700	0.873	0.409	0.240	0.036	0.95 / 57	2390.23	SI
12				0.873	0.402	0.240	1.16 / 69.6	4427.37	SI
14				0.39	0.260	0.0363	1.41 / 84.6	7953.19	SI
14.5				0.345	0.210	0.026	1.6 / 97.8	8876.60	SI

2.3 Elección del motor principal.

Para la elección del motor principal y de acuerdo con la especificación técnica del Proyecto 12, se delimitó a un motor MAN de 2 tiempos de baja velocidad, considerando un MCR del 90% para la condición de operación. Para ello se realizó una inspección del catálogo MAN de este tipo de motores, encontrando las siguientes opciones:

Propuestas MAN B&W										
	5S65ME-C8.6	8G50ME-C9.6	5G60ME-C10.5	5S60ME-C10.6	5S60ME-C10.5					
L4	75	8500	79	8,160	72	7500	82	7350	82	9000
L3	75	10750	79	10,880	72	9950	82	9750	82	12000
L1	95	13650	100	13,760	103	14200	105	12450	105	14940
L2	95	10750	100	10,320	103	10700	105	9400	105	11280
L4	75	8500	79	8,160	72	7500	82	7350	82	9000
	89.06	9,778	$P_B \text{ req}$							
	89.06	10,864	$P_B \text{ req@ } 90\% \text{ MCR} =$							



De las opciones evaluadas el motor seleccionado corresponde a la designación del fabricante “8GEME-C9.6” que es un motor que cumple con los requisitos del 90% de MCR de la potencia al freno con Margen de Mar del 15% correspondiente a la velocidad de 14.5 nudos que se espera obtener.

2.4 Diseño del timón.

El diseño del timón se va a realizar en base a la normativa DNV, en la que pretende que proporcionemos al buque un timón con las condiciones mínimas aceptables de maniobrabilidad, las cuales son

- Capacidad de evolución
- Estabilidad de ruta
- Facilidad de cambio de rumbo

Parámetros de diseño

La sociedad de clasificación Det norske Veritas (DNV) exige que el área del timón sea al menos del tamaño de:

$$A = ((T \cdot L) / 100) \cdot (1 + 25 \cdot (B/L)^2)$$

$$A = 34.85 \text{ m}^2$$

Esto teniéndolo de criterio, ahora determinaremos el área del timón por formulación empezando por:

La comparación de las relaciones de espesor con el ángulo de desprendimiento que se deduce en el siguiente cuadro, teniendo como norma un grado mayor a los 35 grados establecidos por IMO.

$$\theta_{des} = 7.11 \cdot (1 + 7 \cdot E) \cdot (1 + (1.25/L)) \cdot (1 + 0.048 \cdot ((\ln(1 + (8/\pi) \cdot (K_T/J^2))^{1/2})) \cdot (h/D))$$

Relacion de Espesor (E)	Angulo de desprendimiento
0.15	33.84
0.16	35.00
0.17	36.15
0.18	37.31
0.19	38.46
0.2	39.62
0.21	40.78
0.22	41.93
0.23	43.09

Determinamos la cuerda despejando la formula de relacion de alargamiento:

$$L = h/c$$

$$c = h/L$$

$$c = 4.52$$

Determinado c podemos encontrar el espesor t de la siguiente manera:

Determinamos el espesor despejando la formula de relacion de espesor:					
			$E = t/c$		
			$t = E * c$		
			$t = 0.77$		

Determinada la cuerda (Ancho del timón) pasos a determinar la altura máxima y mínima requería de igual manera establecida por DNV:

- Altura del timón " h_{max} " y h_{min} :

			$h_{max} = (1 - 0.06 - 0.08)H$		
			$h_{max} = 9.03 \text{ m}$		
			$h_{min} = 1.15 * D$		
			$h_{min} = 7.54 \text{ m}$		

Obtenido la altura y cuerda podemos determinar el área del timón:

			$A_R = h * c$		
			$A_R = 40.77 \text{ m}^2$		
			concluimos que el area si cumple con lo requerido para IMO		

2.5 Estimación de la maniobrabilidad.

La maniobrabilidad es un concepto que engloba la capacidad que posee un buque para poder maniobrar, mantener o cambiar un rumbo a propia voluntad mediante el empleo del aparato de gobierno que acciona el timón. El grado en que los componentes del sistema de gobierno ejecutan con eficacia su cometido depende de dos factores:

1. La capacidad de gobierno: que es la capacidad de mantener la proa del buque a determinado rumbo o dirección.
2. La capacidad de evolución: que es la respuesta del buque a la acción de la maquinaria y el timón para lograr el cambio de rumbo demandado para cada maniobra.

Para poder evaluar la maniobrabilidad de un buque se llevan a cabo experimentos conducidos en la mar una vez que el buque es construido, para poder conocer de forma real y final como se desempeña en las diferentes condiciones de operación.

De esta manera existen tres cualidades que definen sustancialmente la maniobrabilidad.

1. La facilidad de evolución: que es la capacidad de realizar una maniobra con un fuerte ángulo de cambio de rumbo en un espacio reducido. El cambio debe ser de al menos 180 grados, para que se requieran grandes ángulos de operación del timón.
2. La facilidad de cambio de rumbo: que es la capacidad para cambiar de rumbo o trayectoria en el menor espacio y la mayor rapidez posibles, es una cualidad muy importante del buque que incide notablemente en la seguridad ante posibles colisiones.
3. Estabilidad de ruta: que permite mantener en medida razonable el rumbo de la embarcación con el menor uso del timón, en la medida en que mayor sea la necesidad de emplear el timón para mantener el rumbo, menor será la estabilidad de la trayectoria, además de estar relacionado con el efecto o velocidad de guiñada, mismo que varía para cada ángulo de timón.

Al efectuar las pruebas en la mar cuando el nuevo buque sale del astillero, se llevan a cabo un conjunto de maniobras cuyo objetivo es conocer las cualidades y capacidades que se han descrito anteriormente, las maniobras que por singularidad se efectúan son las siguientes:

Maniobra de giro.

La maniobra de giro consiste en que el buque navegando a un rumbo y velocidad constante avante, se acciona el timón un determinado ángulo y se deja que el buque cambia de rumbo 540 grados con respecto al rumbo original, recopilando la trayectoria se pueden conocer:

1. Diámetro de giro: distancia máxima entre dos puntos opuestos de rumbo.
2. Diámetro táctico: es la separación entre la posición inicial del buque al efectuarse la maniobra de giro y cuando éste se encuentre en un rumbo opuesto, es decir cuando su rumbo ha variado 180 grados.
3. El avance: definida como la distancia recorrida hasta que el buque cambia su rumbo 90 grados con respecto al rumbo inicial.
4. El traslado lateral: es la distancia lateral alcanzada por el buque cuando la orientación de su proa ha cambiado 90 grados con respecto a la inicial.

Maniobra de zigzag.

Se realiza accionando el timón a un determinado ángulo (normalmente de 10 o 20 grados) y se espera que el rumbo cambie en la misma medida que el ángulo del timón para después llevar el mismo cambio, pero a la banda contraria. Esta operación se ejecuta continuamente de tres a cuatro veces y al igual que en la maniobra de giro, se registra la trayectoria y de ella se obtienen:

1. EL número P de Norrbín: que es el ángulo de rumbo girado por unidad de ángulo de timón empleado, cuando el buque ha recorrido una distancia equivalente a una eslora desde el accionamiento del timón.
2. El ángulo de rebasamiento: que es el ángulo que dibuja la trayectoria del buque al cambiar el timón de una banda a otra banda. Este dato sirve para conocer la distancia que avanzaría un buque con un cambio brusco en el timón.

Maniobra de espiral.

Se efectúa cuando el buque a un rumbo y velocidad constantes, se acciona el timón a un ángulo que suele ser de 15 grados y se mantiene hasta que alcanza una velocidad de giro constante por al menos un minuto, a continuación se reduce el ángulo del timón a 5 grados y se espera a que la velocidad de giro vuelva a ser constante y seguido de esto, reducir de igual forma de grado en grado manteniendo el tiempo necesario para que la velocidad de giro sea constante cada vez, hasta que el timón se lleva a 0 grados, una vez que se ha logrado esto, se continúa de forma inversa hacia la banda contraria y finalizando con 15 grados pero en el sentido opuesto, se registran las trayectorias y se analizan los datos de velocidad de giro y ángulos de timón, pudiéndose generar una función que los relacione, de esta prueba existen dos posibles tipos de comportamiento:

1. Buques estables: aquellos que para cada ángulo de timón existe una sola velocidad de giro en régimen permanente.
2. Buques inestables: para buques en los que, en ángulos de timón próximos a cero grados, existen dos posibles valores de velocidad de giro, uno positivo y uno negativo, lo que se conoce como ciclo de histéresis.

2.5.1 Capacidad de evolución.

La capacidad de evolución se relaciona estrechamente con el diámetro de giro, en la maniobra de la curva de evolución, se mide el diámetro de giro y se comprueba la capacidad que tiene el buque de realizar su propia evolución.

Capacidad de evolución						
La capacidad de giro dependiera de los criterios de aceptabilidad de OMI						
						X
$D_{\phi}/L_{pp} \leq$	3.2	para	$C_B =$	0.8		0.2
$D_{\phi}/L_{pp} \leq$	4.2	para	$C_B =$	0.6		0
para conocer nuestro criterio extrapolaremos a razón de que nuestro $C_B = 0.81$						
	$(0, 4.2) = y = m \cdot x + n$					
	$4.2 = m \cdot 0 + n$					
	$n = 4.2$					
	$(0.2, 3.2) = y = m \cdot x + n$					
	$3.2 = m \cdot 0.2 + 4.2$					
	$3.2 - 4.2 = 0.2m$					
	$m = -5$					
	$y = m \cdot x + n$					
	$y = 3.15$					
$D_{\phi}/L_{pp} \leq$	3.15	para	$C_B =$	0.81		0.21
Calculando relación de giro						
$D_{\phi}/L_{pp} = \frac{(2/\sin(2 \cdot \theta)) \cdot 0.024 \cdot (L_{pp}/B) \cdot (1/C_B^2) \cdot ((M \cdot V^3)/((F_N/B) \cdot (L_{pp})))}{1}$						
	$F_N =$	1659536.7	N			
	$D_{\phi}/L_{pp} =$	2.73701217				
Con lo que tenemos que el buque cumple.						

2.5.2 Estabilidad de ruta.

Esta cualidad se relaciona con la anchura del ciclo de histéresis, en la maniobra de espiral se comprueba que tan estable puede ser un buque en su rumbo establecido.

Estabilidad de ruta					
Esta cualidad se mide con el criterio de Gertler que considera que el valor de anchura del ciclo debe de ser de 4 grados, expresado de la siguiente manera:					
		$a =$	$18.12 - (46.43/T_m)$		
donde T_m es el índice de Nomoto, el cual funciona como:					
		$1/T_m \geq$	0.305		
suponiendo que el trimado es nulo, calculamos esta relación de la siguiente manera:					
		$1/T_m =$	$(d_1/(K_i^2 + K_j^2)) * (1+G)$		
donde K_i y K_j según la tesis doctoral de Banquero establece que para este tipo de barcos tengan los siguientes valores:					
	$K_i =$	0.24		$K_j =$	0.185
resolviendo d y G para la relacion de Nomoto:					
		$G =$	$0.193 * (L_{pp}/B) * (1/C_b^2) * 1$		
		$G =$	1.76		
		$d =$	$(I_1/L_{pp}) * (0.5 - (X_{cc}/L_{pp}))$		
		$I_1/L_{pp} =$	$0.27 + 0.258 * (F + 0.38)^{0.39}$		
		$F =$	$(C_{FT}/\theta) * (1-w)^2 * (A_R/(L_{pp} * T)) * (L_{pp}/C_b^2) * 1$		
$C_{FT}/\theta =$	$((2 * \pi * L)/(2.55 + L)) * (1 + 0.35 * E) * (1 + (8/\pi) * (K_i/J^2) * (D/h)) * ((C_b + 0.3)/(1 + 1.214 * (1 - e^{-3KT/J^2})))$				
	$C_{FT}/\theta =$	8.95598582			
	$F =$	0.3987479			
	$I_1/L_{pp} =$	0.50402621			
	$d =$	0.13141126			
	$1/T_m =$	0.51999050400			

2.5.3 Facilidad de cambio de rumbo.

Esta cualidad se relaciona con el avance y el numero P, en la maniobra de la curva de evolución, se comprueba la facilidad que tiene el buque para cambiar de rumbo, viendo lo que avanza hasta alcanzar el cambio deseado,

mientras que, en la maniobra de zigzag, se obtiene el número P cuando el buque ya ha recorrido una eslora desde que se mete el timón para cambiar el rumbo.

Facilidad de cambio de rumbo					
Determinando diametro de evolución por Gertler:					
		$D_T = 1.4 * D_G$			
		$D_T = 723.00$			
Ahora determinando diametro de evolución en función de la eslora tenemos:					
		$D_T = 3.87 * L_{pp}$			
		$D_T = 723.60$			
El valor del avance se calculo por:					
		$ADVC = 2 * (D_T - 0.75 * D_G)$			
		$ADVC = 671.36$			
Ahora valor del avance en función de la eslora tenemos:					
		$ADVC = 3.591 * L_{pp}$			
		$ADVC = 671.43$			
Aplicando el criterio tenemos que:					
	$D_T <$	$4.5 * L_{pp}$	$=$	841.40	Si cumple
	$ADVC <$	$(4.3 - 0.5 * C_B) * L_{pp}$	$=$	728.27	
Aplicando el criterio en función de eslora tenemos que:					
	$D_T <$	$4.5 * L_{pp}$	mismo resultado del criterio		
	$ADVC <$	$3.914 * L_{pp}$	$=$	731.83	
					Cumple

2.6 Perfil de codaste propulsor y timón.

Para el diseño del perfil del codaste se tienen que considerar ciertos aspectos relacionados con la geometría, de tal manera que se cumpla con los requerimientos establecidos en la normativa.

Para los huelgos y tolerancias que se deben guardar entre los límites físicos de la hélice y el timón, así como el vano que guarda la hélice en las inmediaciones del codaste se han establecido tres dimensiones:

1. Distancia horizontal entre el extremo longitudinal del barrido de la hélice, medido a $0.7R$ hasta el lado recto del extremo de proa de la pala del timón, se denomina:

$$a > 0.2R$$

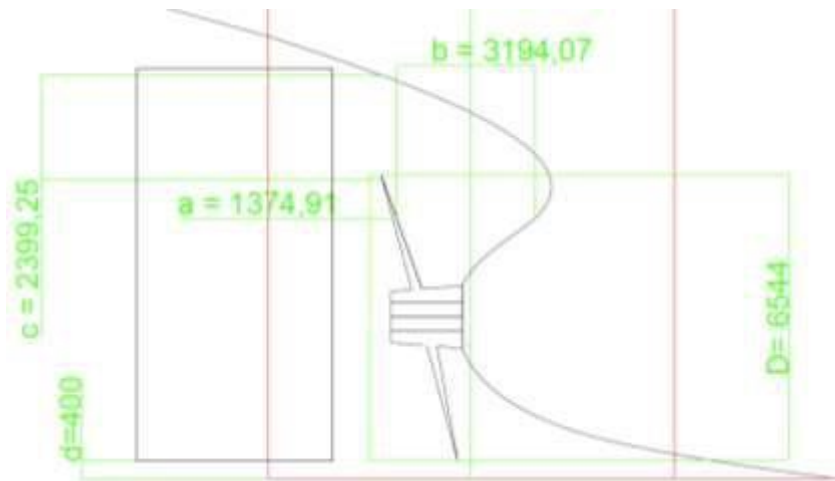
2. La distancia entre el extremo longitudinal del barrido de la hélice, medido a $0.7R$ hasta el lado tangente del extremo situado a proa codaste y paralela al eje del timón, se denomina:

$$b > (0.7 - 0.04Z) R$$

3. La distancia entre el extremo tangencial del barrido de la hélice, medido en el extremo radial del aspa, hasta el extremo tangente del codaste en dirección vertical sobre la hélice, se denomina:

$$c > (0.48 - 0.02Z) R$$

Bajo este esquema, se han evaluado los valores y se ha trazado el perfil de la hélice B-4, conforme a la geometría indicada en el libro PNA-II, de esta manera se pudo identificar los componentes del perfil de la hélice, adicionalmente, la línea de ejes se definió con lo indicado en el manual del motor propulsor elegido.



2.7 Conclusiones.

En diversas fuentes consultadas se hace referencia a estudios experimentales en modelos a escala para la predicción de la potencia, la maniobrabilidad y el comportamiento en la mar, los parámetros empíricos de diseño si bien son una guía para etapas tempranas en el diseño, tienen una limitante en la aplicación formal del diseño naval. Los experimentos con modelos y el análisis histórico de buques similares construidos permite que los ingenieros puedan obtener en grado razonable una aproximación muy cercana al desempeño del buque una vez que este se someta a pruebas al término de su construcción.

Para el caso del proyecto de estudio resulta de gran utilidad poder emplear formulaciones empíricas y otras suposiciones que permiten desarrollar la etapa del diseño conforme los objetivos de la formación. El empleo de herramientas como software de diseño y dibujo asistido por computadora son útiles sin que sustituyan el aprendizaje a través del ensayo y error que se obtiene por métodos no computacionales.

PARTE TRES

3.0 Resistencia estructural. Cuaderna Maestra.

3.1 Introducción.

Un buque en el mar está constantemente sometido a una serie de esfuerzos debido principalmente a la distribución de pesos y empujes. Desde el punto de vista estructural el buque se considera como una viga flotante cuya composición de esfuerzos y resistencia propia han de estar en constante equilibrio en todas las condiciones de operación. Los esfuerzos para considerar en el cálculo son los esfuerzos cortantes en sentido longitudinal debido a la distribución de empujes y pesos, y el momento flector provocado por estos esfuerzos cortantes. La importancia de los refuerzos transversales es relativa con respecto a los longitudinales, aunque hay que tenerlos en cuenta y básicamente son los mismos que en la resistencia longitudinal. A efectos de resistencia, el casco dispondrá de elementos básicos que soportan tanos los esfuerzos longitudinales como transversales; así sucede con las planchas del forro exterior y cubierta, localizando elementos en un sentido y otro, según las necesidades estructurales o de soporte de las planchas.

3.2 Criterios de cálculo. Justificación de materiales.

3.2.1 Reglamentación aplicable.

El buque va a cumplir la cota de clasificación +1A correspondiente a la casa clasificadora DNV (Det Norske Veritas). Todos los cálculos de este escantillonado están basados en el “Section 8, Scantling Requirements”. Dicha reglamentación debe aplicarse a los petroleros de doble casco con una eslora igual o superior a 100 m. En aquellas regiones o elementos del buque que no queden recogidos en esta regla se aplicarán los requerimientos específicos del LRS.

3.2.2 Materiales para emplear.

El material de construcción elegido es el acero dulce de clase A, no habiendo encontrado razones para utilizar aceros de características superiores. Las principales características del acero seleccionado son las siguientes:

Límite elástico $\sigma_0 = 235 \text{ kN/m}^2$

Módulo de Young $E = 206.000 \text{ Nmm}^{-2}$

Factor de acero = 1

3.2.3 Proceso para seguir en definir la estructura de la embarcación.

La estructura de una embarcación debe cumplir requerimiento de rigidez, cuerpo, resistencia y almacenamiento. Para poder afinar la estructura se debe cumplir ciertos requerimientos que otorga el armador; cuyos requerimientos son: tipo de material a transportar, autonomía, dimensiones (Eslora, manga, etc.)

En el apartado de resistencia estructural para cumplir ese requisito se debe proporcionar elementos o refuerzos longitudinales. El buque debe repartir las fuerzas ejercidas que produce el material en el compartimiento o bodega, los refuerzos longitudinales que posee la embarcación ayudan a que la armazón de la estructura tenga resistencia.

La estructura del buque debe tener (Quilla vertical, Vagras, Palmejares, placas de costado, planchas de doble fondo, mamparo longitudinal, forro exterior, etc.) Estos ayudan y tiene la función de dar rigidez y la resistencia necesaria de la estructura.

3.2.4 Parámetros de escantillonado.

El reglamento para la realización de los distintos cálculos establece una serie de parámetros del buque a considerar. (Sección 4, Capítulo 1):

Eslora Reglamentaria “LR”, es la distancia en la flotación de verano desde la parte trasera del timón hasta la cara de proa de la roda. No debe ser mayor del 97% de la eslora total del buque a ese calado ni menor del 96%. En nuestro caso es igual a la eslora entre perpendiculares 186.98 m.

- Manga de Trazado “B”, igual a 31.16 m.
- Puntal de trazado “D”, igual a 18.33 m.
- Calado de verano en la condición de operación a plena carga “ T_{verano} ”, igual a 13.30 m. Desplazamiento “ Δ ”, se toma al calado de escantillonado y es igual a 65817 t.
- Coeficiente de Bloque “Cb”, se toma al calado de escantillonado y es igual a 0.819

3.3 Acero longitudinal. Estructura secundaria.

3.3.1 Planchas del forro exterior del casco.

Según Pt.3 Ch.1 Sec.7, C101; el espesor mínimo de la plancha de costado es de:

$$t = \frac{(15.8 * K_a * S * (\rho^{1/2}))}{(\sigma^{1/2})} = 13.9783 \text{ mm}$$

Donde el valor de $\rho = 103.14 \text{ KN/m}^2$, que se obtuvo del valor mayor entre p_1 y p_6 (Pt.3 Ch.1 Sec.7, B101, Tabla B1).

$$\sigma = 235 \text{ kN/m}^2$$

Selección de las placas cuyo espesor sea de 14 mm para tener un margen de factor de seguridad.

3.3.2 Planchas del doble fondo, del doble casco y mamparo longitudinal.

Doble casco

Según Pt.3 Ch.1 Sec.7, C101; el espesor mínimo de la plancha de costado es de:

$$t = (15.8 * K_a * S * (\rho^{1/2})) = 13.9783 \text{ mm}$$

Doble fondo

Según Pt.3 Ch.1 Sec.6, C402; el espesor no será menor que:

$$t = \frac{t_0 + (0.03 * l)}{\sqrt{f_1}} + t_k = 11.0094 \text{ mm}$$

Nota: $t_0 = 5$ por que la propiedad que caracteriza el buque es un tipo tanker.

$f_1 = 1$ y $t_k = 0.4$ por propiedades de forma

Selección de la placa cuyo espesor sea de 12.7 mm.

Mamparo longitudinal

El mamparo longitudinal se calculará aquí, es el que separa la zona de carga en babor y estribor. El mamparo va colocado en crujía.

Según Pt.3 Ch.1 Sec.9, C101; el espesor mínimo correspondiente a la presión lateral será de:

$$t = \frac{(15.8 * Ka * s * \sqrt{p})}{\sqrt{\sigma}} + tk = 11.1576 \text{ mm}$$

$p = 122.54 \text{ kN/m}^2$. Se obtiene del mayor valor entre p_1 y p_9 . (Pt.3 Ch.1 Sec.9, B101, Tabla B1).

$\sigma = 235 \text{ kN/m}^2$. Tensión admisible para el material.

$tk = 1$. Factor de corrosión para los tanques de carga.

Selección de la placa cuyo espesor sea de 12.7 mm.

3.3.3 Quilla vertical, vagras y palmejares.

Quilla vertical

Según Pt.3 Ch.1 Sec.6, C502; el espesor de la chapa de quilla vertical, que forma el cierre entre los tanques de lastre de doble fondo de babor y estribor, no será inferior a:

$$t = 6 + (k / \sqrt{f_1}) + t_k = 18.8257 \text{ mm}$$

$$K = 0.04 * L$$

Selección de la placa cuyo espesor sea de 19.1 mm.

Vagras

Según Pt.3 Ch.1 Sec.6, C501; el espesor mínimo de las vagras viene dado por la siguiente fórmula:

$$t = (15.8 * Ka * s * \sqrt{p}) / (\sqrt{\sigma}) = 16.5275 \text{ mm}$$

$p = 199.96 \text{ kN/m}^2$. Se obtiene del mayor valor entre p_{13} y p_{15} . (Pt.3 Ch.1 Sec.6, B201, Tabla B1)

Selección de la placa cuyo espesor sea de 17.5 mm.

Palmejares

Según Pt.3 Ch.1 Sec.7, D101; el espesor mínimo viene dado por:

$$t = 5 + (k / \sqrt{f_1}) + t_k = 17.8257 \text{ mm}$$

$$K = 0.02 * L$$

Selección de la placa cuyo espesor sea de 19.1 mm.

3.3.4 Disposición y características de los elementos longitudinales.

3.3.5 Cálculo de módulo de sección de la cuaderna maestra.

3.3.6 Requerimientos mínimos de las CSR.

Momento de Inercia de la cuaderna maestra. (Sección 8 / 1.2.2.1.)

El momento de Inercia de la cuaderna maestra con respecto al eje neutro horizontal “I_{min}” no debe ser menor que el obtenido mediante la siguiente expresión:

$$I_{\min} = 2,7 \times C_{mw} \times LR^3 \times B \times (CB + 0,7) \times 10^{-8}$$

Donde C_{mw} : es un coeficiente de ola que viene dado por la expresión:

$$C_{mw} = 10,75 - [(300 - LR)/100]^{3/2} = 9.5484$$

Con ello ya se puede calcular el momento de inercia mínimo de la maestra:

$$I_{\min} = 79.2971 \text{ m}^4.$$

Módulo resistente mínimo de la cuaderna maestra. (Sección 2 / 1.2.2.2.)

En un proyecto real habría que calcular también la envolvente del máximo momento flexionante en Aguas Tranquilas (MaxSWBM) en las diferentes condiciones de carga y calcular el módulo requerido por la corrección:

$$Z_{req} = \max(Z_{\min}; (MaxSWBM + WBM) / \sigma L)$$

Pero para un PFC de este tipo de buque podemos aceptar como bueno $Z_{req} = Z_{\min}$. Por esto, nos disponemos a calcular el Módulo resistente mínimo $Z_{\min}$.

El módulo resistente mínimo de la cuaderna maestra “Z min” debe ser superior al obtenido a través de la expresión:

$$Z_{\min} = 0,9 \times k \times C_{mw} \times LR^2 \times B \times (Cb + 0,7) \times 10^{-6}$$

Donde “k” es un factor del tiro de acero empleado en la estructura, para este caso vale 1. Por lo tanto,

$$Z_{\min} = 14.1364 \text{ m}^3.$$

Momentos flectores.

Momento flector en olas (sección 7 / 3.4.1.)

Los momentos flectores en arrufo y quebranto en olas según el CSR son:

$$M_{f \text{ OLA ARRUFOS}} = f_{\text{prob}} \times 0,11 \times f_{wv-v} \times C_{mw} \times L^2 \times B \times (Cb + 0,7)$$

$$Mf_{OLA\ QUEBRANTO} = f_{prob} \times 0,11 \times f_{wv-v} \times C_{mw} \times L^2 \times B \times Cb$$

Dónde: f_{prob} y f_{wv-v} son factores que para la zona de la cuaderna maestra valen 1.

$$Mf_{OLA\ ARRUFO} = 1,727,791.73 \text{ kn*m}$$

$$Mf_{OLA\ QUEBRANTO} = 926,828.674 \text{ Kn*m}$$

3.4 Acero transversal. Estructura primaria.

3.4.1 Transversales de fondo.

El espesor de las placas de alma, bridas, soportes y refuerzos generalmente no debe ser inferior a:

$$t = 5 + (k / \sqrt{f_1}) + t_k = 19.5094 \text{ mm}$$

Donde k es igual a $0.03 \times L$ para placas de alma

$$Eslora = 186.98 \text{ m}$$

$$F_1 = 1 \text{ por NV-NS STEEL 2}$$

$$T_k = 8.9 \text{ separación entre refuerzos este en los rangos (600 y 800) mm.}$$

3.4.2 Transversales de costado y de mamparo longitudinal.

Costado

El espesor de las placas de alma, bridas, soportes y refuerzos generalmente no debe ser inferior a:

$$t = 6 + (k / \sqrt{f_1}) + t_k = 18.9396 \text{ mm}$$

Donde k es igual a $0.02 \times L$ para placas de alma

$$Eslora = 186.98 \text{ m}$$

$$F_1 = 1 \text{ por NV-NS STEEL 2}$$

$$T_k = 9.2 \text{ separación entre refuerzos este en los rangos (600 y 800) mm.}$$

Mamparo longitudinal

El espesor de las placas de alma, bridas, soportes y refuerzos generalmente no debe ser inferior a:

$$t = \frac{1000 \times s}{120 - 3(L^{1/2})} + t_k = 20.4302 \text{ mm}$$

$$\text{Donde } s = 0.650 \text{ m}$$

$$L = 186.98 \text{ m}$$

$T_k = 12.2$ separación entre refuerzos este en los rangos (600 y 800) mm.

3.4.3 Transversales de cubierta.

El espesor de las placas de alma, bridas, soportes y refuerzos generalmente no debe ser inferior a:

$$t = 12 * s + t_k = 20 \text{ mm}$$

$s = 0.650$ mm (separación entre los refuerzos).

$t_k = 12.2$ separación entre refuerzos este en los rangos (600 y 800) mm.

3.4.4 Refuerzos transversales de pantoque.

El espesor de las placas de alma, bridas, soportes y refuerzos generalmente no debe ser inferior a:

$$t = (15.8 * K_a * s * \sqrt{p}) / (\sqrt{\sigma}) = 20.5579 \text{ mm}$$

K_a = correction factor for aspect ratio of plate field = $(1.1 - 0.25 s/L)^2$

$$K_a = 1.208$$

$$\sigma_{yd} = 235 \text{ kN/m}^2$$

$t_k = 12.2$ separación entre refuerzos este en los rangos (600 y 800) mm.

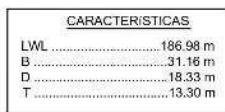
$$\rho = 106.64 \text{ kN/m}^2$$

Se obtiene del mayor valor entre p_{13} y p_{15} . (Pt.3 Ch.1 Sec.6, B201.).

3.5 Plano de la cuaderna maestra.

Una vez que se obtuvieron los espesores correspondientes a los elementos estructurales principales que integran la cuaderna maestra, se efectuó el trazo correspondiente mediante el empleo de software de dibujo asistido por computadora (AutoCAD). El plano de la cuaderna maestra contiene los datos generales para la identificación de los principales componentes y el arreglo que guardan en la estructura principal que conforma la cuaderna maestra.

Una imagen ilustrativa del plano se muestra a continuación, dejando para su pronta referencia el archivo PDF de nombre “Cuaderna Maestra_T3” mismo que contiene el plano correspondiente generado en el software de dibujo.



- All length bulbs are 430x25mm
- 1.- Bottom Lengths S = 650mm
 - 2.- Double Bottom Lengths S = 650mm
 - 3.- Side Lengths S = 650mm
 - 4.- Double Side Buttock Lengths S = 650mm
 - 5.- Deck Lengths S = 650mm
 - 6.- Buttock Lengths S = 650mm

Asistente:	Instituto Tecnológico de Boca del Río		
Atraviesa:	Empresa naviera		
Tipo:	Handymax de 50,000 DWT		
Número:	Proyecto 12: Handymax		
Nombre:	Cuaderna Maestra		
Autor:	Escalera F, López J, López O, Ortega R.		Responsable: Antonio R. Benítez G. Fecha: Mayo 2021

3.6 Fuentes de información.

Benitez, A. (Septiembre de 2020). Lineamiento de instrumentación de generación del diseño del proceso de diseño V1.0. México.

Benitez, A. (Octubre de 2020). Lineamiento de Instrumentación del Diseño de la Geometría de la Forma del casco V1.0. México.

Benitez, A. (Marzo de 2021). GUIA PARA GENERAL HOJA DE CALCULO DE DISEÑO PARAMETRICO. Mexico.

C., B. D. (2004). *Ship Design and Performance for Mater and Mates*. Oxford: ELSEVIER.

DNV. (2013). *Part 3 Ch 1 Hull structural Design Ships with length 100 meters and above*. Norway: Det Norske Veritas.

IMO. (1989). *Resolution 1989*. London: IMO.

Juan Jose Moreno González, G. M. (s.f.). *Proyecto Petroleo de productos limpios*. ETSI.

M, W. D. (1998). *Practical Ship Design Vol 1*. London: Elsevier.

Munro-Smith, R. (1973). *Ships and Naval Architecture*. London: Marine Media Management Limited.

Ramón, J. A. (s.f.). *Proyecto 1731 Petrolero de crudo de 150000 TPM*.

Tupper, E. C. (2004). *Introduction to Nava Architecture*. Great Britain: Elsevier.

DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA PRODUCTOS DE PETRÓLEO DE 50,000 TONELADAS DE PESO MUERTO



CAPÍTULO 4: DISEÑO CONTRACTUAL.

CONTENIDO

PARTE UNO.....	4.1
1.0 PESOS Y CENTRO DE GRAVEDAD DE LA EMBARCACIÓN EN ROSCA.	4.1
1.1 INTRODUCCIÓN AL PESO SIN CARGA Y CENTRO DE GRAVEDAD DE LA EMBARCACIÓN.....	4.1
1.2 CRITERIOS DE CÁLCULO.	4.1
1.3 PESO Y CENTRO DE GRAVEDAD DEL ACERO.....	4.2
1.3.1 PESO TOTAL DEL ACERO CONTINUO Y CENTRO DE GRAVEDAD.	4.3
1.3.2 PESOS LOCALES DEL ACERO Y CENTRO DE GRAVEDAD.....	4.5
1.3.3 PESO TOTAL Y CENTRO DE GRAVEDAD DEL ACERO.	4.6
1.4 PESO Y CENTRO DE GRAVEDAD DE EQUIPOS, SISTEMAS Y HABILITACIÓN.	4.7
1.5 PESO DE EQUIPOS.	4.8
1.5.1 PESO DE SISTEMAS.....	4.8
1.5.2 PESO DE HABILITACIÓN.	4.8
1.5.3 PESO DE PROTECCIÓN ANTICORROSIVA, CIERRES Y ACCESOS.....	4.9
1.5.4 PESO TOTAL Y CENTRO DE GRAVEDAD DE EQUIPOS, SISTEMAS Y HABILITACIÓN.....	4.12
1.6 PESO Y CENTRO DE GRAVEDAD DE LA MAQUINARIA.	4.12
1.6.1 PESO DE LA MAQUINARIA DE PROPULSIÓN.	4.12
1.6.1 PESO DEL RESTO DE LA MAQUINARIA.	4.13
1.6.2 PESO TOTAL Y CENTRO DE GRAVEDAD DE LA MAQUINARIA.....	4.13
1.6.3 DISTRIBUCIÓN LONGITUDINAL DEL PESO EN ROSCA Y SU LCG.	4.14
PARTE DOS.....	4.14
2.0 SITUACIONES DE CARGA Y RESISTENCIA LONGITUDINAL.	4.14
2.1 INTRODUCCIÓN A LA RESISTENCIA LONGITUDINAL Y EL IMPACTO DE LAS SITUACIONES DE CARGA.....	4.14
2.2 SITUACIONES DE CARGA CONSIDERADAS.	4.15
2.3 CRITERIOS APLICABLES SEGÚN REGLAMENTOS.	4.16
2.3.1 CALADOS MÍNIMOS Y ASIENTOS MÁXIMOS.....	4.16
2.3.2 ESTABILIDAD INTACTA ESTÁTICA Y DINÁMICA.....	4.16
2.3.3 ESTABILIDAD DESPUÉS DE AVERÍAS.....	4.17
2.4 CONSIDERACIONES DE CÁLCULO DE LAS SITUACIONES DE CARGA.	4.18
2.5 CÁLCULO DE LAS SITUACIONES DE CARGA.	4.18
2.5.1 A PLENA CARGA – CONDICIÓN DE SALIDA.....	4.18
2.5.2 A PLENA CARGA – CONDICIÓN DE LLEGADA.....	4.21
2.5.3 EN LASTRE – CONDICIÓN DE SALIDA.....	4.24
2.5.4 EN LASTRE – CONDICIÓN DE LLEGADA.....	4.27
2.5.5 CONDICIÓN DE LASTRE IMO.....	4.30



2.5.6	EN LASTRE – CONDICIÓN DE SALIDA CON MAL TIEMPO.....	4.33
2.5.7	EN LASTRE – CONDICIÓN DE LLEGADA CON MAL TIEMPO.....	4.36
2.6	ESTABILIDAD DESPUÉS DE AVERÍAS.....	4.39
2.6.1	A PLENA CARGA – CONDICIÓN DE SALIDA.....	4.42
2.6.2	A PLENA CARGA – CONDICIÓN DE LLEGADA.....	4.42
2.6.3	EN LASTRE – CONDICIÓN DE SALIDA.....	4.43
2.6.4	EN LASTRE – CONDICIÓN DE LLEGADA.....	4.43
2.6.5	CONDICIONES DE LASTRE IMO.....	4.44
2.6.6	EN LASTRE – CONDICIÓN DE SALIDA CON MAL TIEMPO.....	4.44
2.6.7	EN LASTRE – CONDICIÓN DE LLEGADA CON MAL TIEMPO.....	4.45
2.7	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	4.46

PARTE UNO

1.0 Pesos y centro de gravedad de la embarcación en rosca.

1.1 Introducción al peso sin carga y centro de gravedad de la embarcación.

De acuerdo con Alvariño Castro, la estimación del peso en rosca en un proyecto es una de las tareas de mayor importancia y que representa cierta dificultad por factores asociados a la falta de datos en las etapas iniciales del diseño. Sin embargo, existen métodos muy aproximados que permiten estimar el peso en rosca, así como las coordenadas de la ubicación del centro de gravedad.

Un cálculo correcto o lo más cercano a la realidad desde las etapas tempranas del proyecto ayuda a disminuir las correcciones derivadas de los errores iniciales, las cuales podrían representar mayor dificultad, así como costos adicionales si no se lleva a la práctica una correcta estimación y evaluación. Papanikolau Apostolos expone que los errores iniciales pueden tener una influencia significativa en el alcance de la capacidad de transporte de carga, la velocidad, la estabilidad y la seguridad del buque.

1.2 Criterios de cálculo.

La aplicación de formulaciones empíricas tiene como finalidad obtener valores base a partir de los cuales se puede comenzar el desarrollo del proyecto. Los pesos que componen el total de la embarcación se pueden dividir en tres grupos principales:

- 1 Estructura de acero.
- 2 Equipo y habilitación.
- 3 Maquinaria.

Para el empleo de las formulaciones, es necesario primero evaluar cuales métodos podrían aplicarse, toda vez que se indican de forma particular los rangos de aplicación en las relaciones y coeficientes característicos, así como el tipo de buque.

Si bien existen formulaciones generalizadas producto de análisis estadístico, algunos autores recomiendan que en la manera de lo posible se pueda contar con información de un buque similar para una obtención, comparación y corrección simplificada.

Debido a que la aproximación de peso emplea formulaciones generalizadas, puede existir una diferencia en ciertos tipos específicos de buques, para el caso de este proyecto, las regulaciones y requerimientos para tanques que estipula la MARPOL en lo concerniente al uso de tanques de lastre segregados, incrementa el peso del acero.

Existe muy poca información publicada sobre pesos de buques de doble casco para el transporte de productos de petróleo, Alvarino Castro propone formulas aproximadas con base en regresiones de los datos analizados de buques construidos con acero HT (High Tensile Steel) de lo que han transcurrido más de veinte años desde su publicación.

1.3 Peso y centro de gravedad del acero.

Para poder estimar el peso del acero y su centro de gravedad es necesario poder definir las zonas que conforman la estructura y asignarles un porcentaje del peso en rosca estimado mediante la formulación empírica que se definió en el Trabajo 2, la cual fue proporcionada por el Ing. Antonio Benítez en su Lineamiento de instrumentación de generación del proceso de diseño, V1.0 en la que se empleó el método de Watson & Gilfillan:

$$W_{ST} = K E^{1.36} \{ 1 + 0.5 [(C^b + (1 - C_b)[(0.8D - T)/3T]) - 0.7] \} \quad (\text{ton})$$

Donde $E = L(B + T) + 0.85L(D - T) + 1.45L - 11$; con $K = 0.32$ (valor promedio tankers).

Obteniendo un valor para la alternativa de diseño seleccionada de:

$$W_{ST} = 8,519.48 \text{ Toneladas.}$$

Consultando publicaciones más recientes, Predrag Cudina presenta un procedimiento matemático para el diseño conceptual de tanqueros en el que expone formulaciones para la estimación del peso en rosca en el que figuran tres factores (f_1 , f_2 y f_3) integrados en la formulación general empírica para la estimación del peso de la estructura de acero como a continuación se indica:

$$W_{ST} = (1 - f_1/100) (f_2 [L_{pp} (B + 0.85D + 0.15d_s)]^{1.36} \{ 1 + 0.5 [(C_B - 0.7) + (1 - C_B) (0.8D - d_s)/3d_s] \} + f_3) \quad \text{Donde:}$$

f_1 = Factor de influencia del acero de alto grado en la reducción del peso de la estructura de acero.

f_2 = factor empírico para tanqueros (Graficas con contornos para tipos de buques).

f_3 = masa adicional de estructura de habitabilidad y otras características específicas para diseños particulares (castillos, clase hielo, entre otros).

Sin embargo, la estimación requiere de conocer aspectos particulares como el porcentaje de influencia del acero de alto grado y el peso adicional debido a las estructuras que no conforman el armazón principal del buque.

Ahora bien, las zonas estructuralmente definidas y su correspondiente porcentaje del peso total se presentan a continuación:

Zona	% LSW	Ton
Proa	4%	340.80
Zona de carga	80%	6,815.60
Cámara de Máquinas	10%	851.90
Popa	3%	255.59
Superestructura	3%	255.59

1.3.1 Peso total del acero continuo y centro de gravedad.

Para poder definir el peso total del acero continuo se tiene que identificar los elementos que componen la estructura de acero de la embarcación. La estructura longitudinal y transversal son los grupos principales que considerar ya que ellos conforman la armazón del buque de forma continua y que permite obtener la solidez requerida para soportar los distintos esfuerzos a los que el buque se ve sometido durante toda su vida útil y bajo los diferentes estados de la mar.

De acuerdo con la estimación de la estructura para la cuaderna maestra, se pueden estimar los pesos de la estación 10, los cuales se conforman por los siguientes elementos estructurales.

Longitudinal del fondo. Longitudinal lateral.
Longitudinal mamparo de crujía. Longitudinal de cubierta.
Quilla. Fondo. Pantoque.
Longitudinal de pantoque. Forro de costado.
Doble costado. Doble fondo. Sobrequilla. Mamparo crujía. Cubierta.
Cubierta superior tanque lateral. Cubierta inferior tanque lateral Doble pantoque.
Vagra.
Quilla vertical.

Cada uno de los elementos ya se han calculado los espesores correspondientes conforme a las recomendaciones de la casa clasificadora de tal forma que el peso por unidad de longitud se puede estimar y por lo tanto el peso del acero continuo por estaciones y su correspondiente centro de gravedad, toda vez que la configuración longitudinal se mantiene de manera proporcional a las formas de las cuadernas.

Peso de la estructura longitudinal en la cuaderna maestra: $P_L (C.M) = 40.37 \text{ Ton/m}$

De la misma forma, el acero transversal continuo se puede estimar toda vez que se ha calculado el valor de los elementos estructurales transversales. Ya que se cuenta con un espaciamiento entre cuadernas de 3.75 m y que el espaciamiento entre estaciones es de 8.75 m, es de suponer que por cada estación se encuentran 2 cuadernas, salvo en los casos en que coincida con un mamparo transversal correspondiente a la separación entre tanques en la zona de carga.

El peso de la estructura transversal de las cuadernas es: P_T

$(C.M) = 1.28 \text{ Ton/m}$

Estación	x G	z G	PL(S)	PT(S)	PTOTAL(S)	f(simp)	f(PTOTAL)	f(PTOTAL)*xG	f(PTOTAL)*zG
0	0.00	15.00	3.698	0.484	4.182	1	4.18	0.00	62.73
1	9.35	13.12	14.007	0.463	14.470	4	57.88	541.16	759.54
2	18.70	11.52	22.598	0.812	23.410	2	46.82	875.54	539.51
3	28.05	10.52	31.880	1.068	32.948	4	131.79	3696.78	1386.46
4	37.40	9.85	36.642	1.185	37.827	2	75.65	2829.47	745.04
5	46.75	9.44	37.784	1.222	39.006	4	156.02	7294.16	1473.27
6	56.10	9.28	38.685	1.248	39.933	2	79.87	4480.54	740.93
7	65.45	9.20	40.368	1.279	41.647	4	166.59	10903.19	1532.61
8	74.80	9.18	40.368	1.279	41.647	2	83.29	6230.39	764.64
9	84.15	9.18	40.368	1.279	41.647	4	166.59	14018.39	1529.28
10	93.50	9.30	40.368	1.279	41.647	2	83.29	7787.99	774.63
11	102.85	9.30	40.368	1.279	41.647	4	166.59	17133.58	1549.27
12	112.20	9.30	40.368	1.279	41.647	2	83.29	9345.59	774.63
13	121.55	9.30	40.368	1.279	41.647	4	166.59	20248.78	1549.27
14	130.90	9.30	40.368	1.279	41.647	2	83.29	10903.19	774.63
15	140.25	9.30	39.892	1.279	41.171	4	164.68	23097.05	1531.57
16	149.60	9.33	31.077	1.222	32.300	2	64.60	9664.07	602.71
17	158.95	9.42	28.107	1.155	29.262	4	117.05	18604.63	1102.58
18	168.30	9.58	22.734	0.963	23.697	2	47.39	7976.36	453.94
19	177.65	9.77	17.085	0.655	17.740	4	70.96	12605.78	693.48
20	187.00	8.76	14.555	0.415	14.970	1	14.97	2799.41	131.12
							2031.402	191036.0585	19471.84
						P Total =	6331.20	94.04	9.59
								X G	Z G

1.3.2 Pesos locales del acero y centro de gravedad.

Existen ciertos componentes de la estructura que no se consideran dentro de la estimación del peso de acero continuo pero que debido a su influencia en el peso total del buque es necesario efectuar su estimación.

Los pesos locales que se van a considerar para su estimación son los siguientes:

1. Mamparos transversales. De acuerdo con lo estipulado en las reglas DNV-GL, el número de mamparos transversales para el rango de eslora $165 < L < 190$, que es en el que recae el diseño del proyecto 12, se recomienda que para una disposición con cuarto de máquinas en popa debe considerar como mínimo 8 mamparos transversales estancos. Debido a que la configuración para los tanques de carga y los tanques slops se obtiene el total de nueve mamparos estancos transversales.

El peso el mamparo transversal se puede estimar con la siguiente formulación:

$$P_{MTi} = 0.0141 * B^{1.20} * D^{1.60} * R$$

Mamparo	Area	x G	z G	R	P MT(ton)
1.00	144.95	14.80	13.83	0.43	19.63
2.00	310.00	35.50	10.09	0.91	41.98
3.00	321.29	42.00	10.42	0.94	43.50
4.00	339.10	64.50	9.17	1.00	45.92
5.00	340.60	87.00	9.17	1.00	46.12
6.00	340.60	109.50	9.17	1.00	46.12
7.00	340.60	132.00	9.17	1.00	46.12
8.00	317.41	154.50	9.24	0.93	42.98
9.00	114.46	178.35	9.70	0.34	15.50
Total =					347.86

2. Superestructuras. Este componente incluye los pesos correspondientes a las casetas, cubiertas, mamparos y otras estructuras que conforman los espacios por encima de la cubierta principal.

De acuerdo con las fuentes consultadas y en específico para buques tanques, una aproximación para este peso es del 6 – 9 % del Peso en rosca del buque.

$$W_{SE} = 0.08 * 10,912.45 = 872 \text{ Ton.}$$

Existe otro método que emplea las áreas de las superestructuras y considera que el espaciamiento entre cubiertas es de 2.4 metros con lo que se puede estimar el peso por unidad de área empleando las formulaciones correspondientes.

3. Refuerzos adicionales en los espacios de la cámara de máquinas. Este peso corresponde a la estructura adicional de refuerzo en las bancadas de instalación de la maquina propulsora y

maquinaria auxiliar, la formulación hace referencia a un coeficiente que multiplica el volumen de la cámara de máquinas.

$$W_{RCM} = 0.0395 * V_{CM} = 0.0395 * 8067 = 318.65 \text{ Ton}$$

4. El refuerzo en el área del codaste, el cual se puede estimar con la siguiente formulación:

$$W_{RCod} = 8.972 * T = 98.692 \text{ Ton}$$

5. Refuerzos en la estructura de piques de proa y popa. Debido a que son las zonas en que la estructura requiere de refuerzos adicionales.

$$W_{RPPr} = 0.0538 * V_{ppr} = 119.87 \text{ Ton.}$$

$$W_{RPPP} = 0.0538 * V_{ppp} = 165.225 \text{ Ton.}$$

1.3.3 Peso total y centro de gravedad del acero.

Como se definió en el apartado 1.3 el peso en rosca estimado engloba el peso total de la estructura de acero y superestructuras, con base en las distintas formulaciones que se presentan en fuentes de información consultadas, se realizó una comparación de los resultados de estas estimaciones como a continuación se indica:

MÉTODO	FORMULACIÓN	RESULTADO (Ton)
Almeida (2009)	$W_{ST} = 0.0361 * L^{1.6} * B * D^{0.22}$	8,225.41
Watson & Gillfillan	$W_{ST} = K E^{1.36} \{1 + 0.5 [(C_b + (1 - C_b))((0.8D - T)/3T)] - 0.7\}$	8,519.48
SV.AA. Havarld & J.Juncher	$W_{ST} = C_s (L_{pp} * B * D + Sup)$	8,098.29
Alvariño P.Productos	$W_{ST} = 0.0659 L_{pp}^{1.7} * B^{0.102} * D^{0.886}$	8,964.47

Con base en los resultados anteriores el peso en rosca total del buque calculado con el método Watson & Gillfillan empleado de forma inicial en el diseño paramétrico basado en conjuntos se encuentra en el promedio de los resultados de las otras formulaciones, por lo que se decide que será el peso total por considerar para la estimación del centro de gravedad.

La estimación del centro de gravedad tiene una denotación empírica con base en las fuentes consultadas. Empleando las siguientes formulaciones, se puede estimar el centro de gravedad del peso del acero como a continuación se indica:

MÉTODO	FORMULACIÓN	RESULTADO (m)
Kupras	$VCG W_{ST} = 0.01 \cdot D [46.6 + 0.135(0.81 - C_b)(L/D)^2] + 0.008 \cdot D (L/B - 6.5)$	10.34
Watson & Gillfillan	$VCG W_{ST} = [48 + 0.15(0.85 - C_b D) L_{pp}^2 / D^2] D A / D$	10.12

Con los cálculos de los distintos componentes de la estructura, se obtiene la siguiente configuración para el peso total del acero:

Descripción	Peso	X G	Z G
Acero continuo	6331.20	94.04	9.59
Mamparos	347.86	89.47	9.73
Superestructura	872.00	18.78	23.64
Reforzado en cuarto de Maquinas	318.65	26.15	10.71
Refuerzo del codaste	98.69	4.50	7.50
Refuerzos en pique proa	119.87	182.70	13.90
Refuerzos en pique de popa	165.23	7.51	13.60
Total =	8253.49	81.76	11.24

1.4 Peso y centro de gravedad de equipos, sistemas y habilitación.

La parte correspondiente al peso de los equipos, sistemas y habilitación redunda en la estimación de todos los componentes del buque que son necesarios para su operatividad.

De acuerdo con las reglas de la casa clasificadora existen ciertos equipos y sistemas que son específicos para el tipo de buque, algunos de los cuales es posible deducir bajo el esquema de comparación con buques similares construidos en los que figura información relativa a los sistemas principales y equipos instalados que poseen, de tal suerte que se puede realizar una estimación similar. A continuación, se enlistan los equipos y sistemas que se consideran indispensables para la operación del buque.

1.5 Peso de equipos.

Descripción	Peso (Ton)	XG	ZG
Equipo de gas inerte	40	93.4	10.18
Equipo espuma Contra Incendio	15	28.84	18.55
Bote salvamento y rampa	3	1	24
Mamparos, aislamiento, mobiliario	245	24.8	25
Equipo gambuza	10	22.75	19.5
Montacargas	17	25	25
Equipo Navegación	2	24.5	25
Equipo salvamento	10	24.5	22
Molinetes y estopor	14.5	181	21
Chigres	6.5	7.4	18.3
Anclas de fondeo	18	184	15.5
Cadenas	110	179.5	13.5
Elementos de amarre	36	7.4	18.3
Escobenes	6	184	15.5
Equipo de limpieza de tanques	30	94	18.3
Ancla de respeto	9	178	18.3
Total de equipos	572		

1.5.1 Peso de sistemas.

Descripción	Peso (Ton)	XG	ZG
Sistema de gobierno	21	0	15.3
Sistema Ventilación y A.A	25	24.8	25
Sistema de Electricidad habilitación	35	24.8	25
Tubería sanitaria	15	24.8	25
Tubería de cubierta y carga	150	94	18.3
Tubería de lastre y sentinas	70	94	1.5
Total de sistemas	316		

1.5.2 Peso de habilitación.

El cálculo del peso de la habilitación se va a realizar con las densidades superficiales y el área de los distintos tipos de locales.

Para eso debemos tener ya realizado la distribución de zona de la superestructura en niveles y cuyos niveles tenga proporcionado el local respectivo contando los pasillos y escaleras.

La superestructura debe establecer un requerimiento primordial y es no ubicarla en puntos donde debajo de la cubierta haya un tanque primordial. Esto se debe a la resistencia que debe proporcionar ese sector para soportar los pesos estáticos y dinámicos de la superestructura.

La densidad superficial en función del tipo de local, el peso resultante incluye también el correspondiente a los mamparos divisorios. Los cálculos para el peso de la habilitación se presentan en la siguiente tabla:

Determinación de pesos por locales			
	Area total (m ²)	ρ (kg/m ²)	Peso (tons)
Enfermeria	45.00	260	11.7
Talleres	18.75	280	5.25
Oficina	18.75	190	3.5625
Comedores	31.25	120	3.75
Camarote O	42.00	135	5.67
Cocina	31.2500	200	6.25
Camarotes	105.00	160	16.8
Sala de control	112.00	200	22.4
Pasillos	166.50	90	14.985
Escaleras	27.75	90	2.4975
Peso total =		92.865	tons

1.5.3 Peso de protección anticorrosiva, cierres y accesos.

El peso de protección anticorrosiva

Se analiza en 3 secciones independientes (Pintura del buque, Protección catódica y Protección en tanques de lastre) Primera sección (Pintura del buque).

El peso de pintura del buque se obtiene como un porcentaje de 0.7% del peso total del acero.

Determinamos mediante la siguiente ecuación:

$$P_{\text{pintura}} = 0.7\% * P_{\text{ac}}$$

Obtenemos:

$P_{\text{pintura}} = 0.007 * P_{\text{AC}} =$	82.402649 tons
--	----------------

Segunda sección (Protección catódica)

Se supone establecer un requisito de protección por ánodos de sacrificio de aluminio de alto rendimiento y que esta protección se mantenga por 2 años siendo el peso el mismo. Para eso se requiere tener el valor de Superficie mojada, la cual se puede obtener realizando una división entre el volumen de la carena y el calado. El peso de protección catódica tiene una regla y es ser el 0.04% del peso analizado de la superficie mojada.

Y es calculado por la siguiente ecuación:

$$P_{\text{ánodos de sacrificio}} = 0.04\% * S_m * (3.5/12) * 2 \text{ años}$$

Como resultado tenemos:

$P_{\text{ánodos sacrificio}} = 0.0004 * S_M * (3.5/12) * 2$	0.95404895 tons
--	-----------------

Tercera sección (tanque de lastre)

Además, hay que añadir el peso de la protección catódica de los tanques de lastre de los petroleros. El peso de protección para tanques de lastre tiene una regla y es ser el 0.1% del peso de los tanques de lastre. Para eso se requiere el A_t es la superficie total de los tanques de lastre que se puede aproximar por:

$$A_t = 1.20 * \text{Volumen total de lastre.}$$

Partiendo de A_t determinamos $P_{\text{protección tanques de lastre}}$:

$$P_{\text{protección tanques de lastre}} = 0.1\% * A_t * (3.5/12) * 2$$

Obteniendo, así como resultado:

$P_{\text{ptDlastre}} = 0.0001 * A_t * (3.5/12) * 2 =$	0.39285458 tons
--	-----------------

Sumando todos los pesos obtenemos:

Peso total de la proteccion anticorrosiva es =	83.7495525 tons
--	-----------------

Peso de cierres y accesos

Los accesos y cierres que se debe analizar son escaleras externas, Puertas, portillos y ventanas.

- En el caso de escaleras externas, dice la normativa aplicable que se evalúa en dependencia a número de cubiertas en la superestructura, guardacalor y chimeneas.

$P_{\text{Escaleras habitación}}$ expresado por la siguiente ecuación:

$$P_{\text{Escaleras habilitación}} = 2 \cdot (0.8 \cdot NH + 0.6)$$

Donde NH son 5 cubiertas que posee la superestructura, detallado esto obtenemos que:

$P_{\text{Escaleras habilitación}} = 2 \cdot (0.8 \cdot NH + 0.6) =$	9.2	tons
--	-----	------

Ahora determinamos $P_{\text{Escaleras guarda calor y chimenea}}$ de la siguiente manera:

$$P_{\text{Escaleras guarda calor y chimenea}} = 2 \cdot (0.8 \cdot NH + 0.6)$$

Donde NH es un 1 guarda calor-chimenea,

resolvemos:

$P_{\text{Escaleras guarda calor y chimenea}} = 2 \cdot (0.8 \cdot NH + 0.6) =$	2.8	tons
---	-----	------

- Cuando analizamos la sección de puertas indica: Tomamos que es acero estanco que da acceso a los locales cerrados desde el exterior que hacen un total de 15. Cuya suposición de un peso de 0.4 tons por puerta, determinado de la siguiente manera:

$P_{\text{puertas}} =$	$0.4 \cdot N =$	6	tons
------------------------	-----------------	---	------

- Por último, en la sección de accesos y cierres entramos con pesos de portillos y ventanas; las reglas dicen que el peso será el 12% del número de tripulantes donde el buque mande $n = 28$ tripulantes. Evaluado como:

$P_{\text{portillos y ventanas}} = 0.12 \cdot N^{\circ} \text{ de}$	3.36	tons
---	------	------

Sumando todos los pesos obtenemos:

Peso total de los cierres y accesos del buque es =	21.36	tons
--	-------	------

1.5.4 Peso total y centro de gravedad de equipos, sistemas y habilitación.

Aquí agudados a lo que envié Jasso, si quieres igual avientate una introducción con narración mendiga.

1.6 Peso y centro de gravedad de la maquinaria.

Para el cálculo del peso y centro de gravedad se toman las mismas consideraciones que para el cálculo del peso del equipo y habilitación.

Las fórmulas sencillas son función de la potencia del motor principal instalada, revoluciones y tipo de motor propulsor, además de las dimensiones principales del buque y los coeficientes de experiencia.

El peso de la maquinaria se desglosa a su vez en:

- Motor propulsor principal y reductora en caso de existir
- Resto de la maquinaria propulsora

1.6.1 Peso de la maquinaria de propulsión.

Al seleccionar la maquina (motor principal: "MAN 8G50ME-C9.6") aremos el cálculo del peso por Lloyd's Register of Shipping, agosto 1973 " Towards a dynamic computer system for defining the light weight distribution of tankers, bulkcarriers and container ships" Tomado de referencia en el libro "Proyecto básico del buque mercante por Alvariño" tenemos la fórmula 3.7.48:

Formula:

$$WME = 5 + 4(MCO/N)^{0.925}$$

MCO: máxima potencia continua. MCO = 18452.454 BHP

Donde N son las revoluciones. N=100

Tenemos como resultado:

WME=	504.13	tons
------	--------	------

1.6.1 Peso del resto de la maquinaria.

Ahora se calculará de manera agrupada los elementos auxiliares del motor principal como son circuitos de lubricación y refrigeración con sus correspondientes bombas, enfriadores, etc.

El peso se calcula mediante la siguiente expresión:

$$WRP = K_m * MCO^{0.7}$$

Donde el K_m es de pendiente del tipo de buque. Por lo que nuestro $K_m = 0.59$ y MCO es la máxima potencia continua. $MCO = 18452.464$ BHP

El resultado del peso del resto de la maquinaria sería:

WRP=	571.60	tons
------	--------	------

1.6.2 Peso total y centro de gravedad de la maquinaria.

En la siguiente tabla se presenta el resultado del peso total de la maquinaria:

Peso Total de la maquinaria propulsora y auxiliar		
Motor principal	504.13	tons
Maquinaria propulsora restante	571.60	tons
Total	1075.73	tons

Ahora determinamos los centros de gravedad (transversal longitudinal) de la maquinaria:

- Transversal:

Formula:

$$KGWQ = (0.17 * T) + (0.36 * D)$$

Tenemos como resultado:

KGWQ=	8.47	m
-------	------	---

- Longitudinal

Formula:

$$KGWOA = D + 1.25 + 0.01(L_{pp} - 125)$$

Tenemos como resultado:

$$KGWOA = 20.20 \text{ m}$$

1.6.3 Distribución longitudinal del peso en rosca y su LCG.

La distribución longitudinal de peso en rosca se puede resumir en la agrupación de los grupos de pesos calculados, en la siguiente tabla se indican los grupos y su correspondiente peso y centro de gravedad.

Descripción	(Ton)	VCG	LCG
Peso acero (W ST)	8253.49	10.34	94
Peso de eq., sist. y hab. (W W&O)	1085.97	20.2	N/A
Peso Maquinaria (W MACH)	1075.73	8.47	20.22
	10415.19		

PARTE DOS

2.0 Situaciones de carga y resistencia longitudinal.

2.1 Introducción a la resistencia longitudinal y el impacto de las situaciones de carga.

Para la evaluación de la resistencia longitudinal en las diferentes condiciones de carga se requiere de poder conocer la distribución de los pesos. Los pesos ya fueron derivados en la sección anterior, con ayuda del

software Maxsurf Stability se elaboró la definición de espacios y la situación de carga en rosca considerando los pesos y su posición longitudinal, transversal y vertical.

Bajo esta evaluación se obtienen los esfuerzos principales (Esfuerzo cortante y momento flexionante) a que el casco será sometido en las distintas condiciones.

2.2 Situaciones de carga consideradas.

Las situaciones de carga son los posibles estados de carga que el buque experimentará durante su operación normal. La evaluación atiende principalmente a la normativa relacionada con la seguridad para buques de carga bajo ciertos supuestos en los que existen límites permisibles de aceptabilidad para cada condición.

Las condiciones conforme a las recomendaciones de la OMI de los “Criterios de estabilidad sin averías aplicables a los buques de pasaje y de carga de 1987” son las siguientes:

A. Para el análisis de estabilidad intacta.

1. A plena carga – Condición de salida.
2. A plena carga – Condición de llegada.
3. En lastre – Condición de salida.
4. En lastre – Condición de llegada
5. A plena carga – Condición de salida.
6. A plena carga – Condición de salida.

Para las condiciones conforme a la regla 28 del Anexo I de MARPOL, considerando el casco comprometido por averías.

B. Para el análisis de estabilidad en avería.

1. A plena carga – Condición de salida.
2. A plena carga – Condición de llegada.
3. En lastre – Condición de salida.
4. En lastre – Condición de llegada
5. A plena carga – Condición de salida.

6. A plena carga – Condición de salida.
- C. Para el análisis de la normativa MARPOL. Relativo a las situaciones en que únicamente se considera el peso en rosca y el peso contenido en los tanques de lastre llenos al 100%.
 1. En lastre – Condición de salida con mal tiempo.
 2. A plena carga – Condición de llegada con mal tiempo.

2.3 Criterios aplicables según reglamentos.

2.3.1 Calados mínimos y asientos máximos.

Para el calado mínimo en la condición de lastre:

$$3.1.2.2 \quad T_{\min} = 2.0 + 0.02 \cdot L;$$

Donde $L = 96\%$ de L_{wl} @ $85\% D_{\min}$

$$T_{\min} = 5.627 \text{ m}$$

$$3.1.2.3 \quad \text{El asiento por popa no debe ser superior a } 0.015 \cdot L_{wl} = 2.72 \text{ m.}$$

3.1.2.4 El calado en popa no debe ser menor que el requerido para obtener una inmersión completa de la hélice.

$$D_{\text{hélice}} = 6.544 \text{ m}$$

Calado mínimo en Popa para la condición = 7.2094 m.

2.3.2 Estabilidad intacta estática y dinámica.

Como este buque requiere cumplir con normas internacionales, es muy importante asegurar que en cualquier condición de navegación la estabilidad cumpla al menos con los siguientes criterios:

1. En puerto, la altura metacéntrica inicial G_{Mo} , corregida con respecto a la superficie libre medida con un ángulo de escora de 0° , no será inferior a 0,15 m.
2. En el mar se aplicarán los siguientes criterios:
 - a. El área situada bajo la curva de brazos adrizantes (curva GZ) no será inferior a 0,055 m-rad hasta un ángulo de escora $\theta = 30^\circ$ ni inferior a 0,09 m-rad hasta un ángulo de escora $\theta = 40^\circ$, o hasta otro ángulo de inundación θ_f si éste es inferior a 40° . Además, el área situada

bajo la curva de brazos adrizantes (curva GZ) entre los ángulos de escora de 30° y 40° , o entre 30° y θ_f , si este ángulo es inferior a 40° , no será inferior a $0,03 \text{ m.rad}$;

- b. El brazo adrizante GZ será como mínimo de $0,20 \text{ m}$ a un ángulo de escora igual o superior a 30° .
- c. El brazo adrizante máximo corresponderá a un ángulo de escora preferiblemente superior a 30° pero no inferior a 25° ; y,
- d. La altura metacéntrica inicial GMO , corregida para una superficie libre medida a un ángulo de 0° de escora, no será inferior a $0,15 \text{ m}$. (θ_f es el ángulo de escora al que se sumergen las aberturas del casco, las superestructuras o las casetas que no pueden cerrarse de modo estanco a la intemperie. Al aplicar este criterio no se considerará que estén abierta las pequeñas aberturas por las que no pueda producirse una inundación progresiva)

2.3.3 Estabilidad después de averías.

Conforma a la Regla 28 del Anexo I MARPOL 1978, se considera que los petroleros satisfacen los criterios de estabilidad con avería si se cumplen las siguientes condiciones:

- a. La flotación final, teniendo en cuenta la inmersión, la escora y el asiento queda por debajo del canto inferior de cualquier abertura por la cual pueda producirse una inundación progresiva. Dichas aberturas incluirán los respiros y las que se cierran por medio de puertas o tapas de escotilla estancas a la intemperie y podrán excluir las aberturas cerradas por medio de tapas de registros y tapas de ras de cubierta estancas, las pequeñas tapas de escotilla estancas de tanques de carga que mantengan la alta integridad de la cubierta, las puertas estancas correderas maniobrables a distancia y los portillos laterales de cierre permanente.
- b. En la etapa final de la inundación, el ángulo de escora producido por la inundación asimétrica no excederá de 25° , pero dicho ángulo podrá aumentarse hasta 30° si no se produce inmersión del canto de la cubierta.
- c. Se investigará la estabilidad en la fase final de la inundación y cabrá considerarla como suficiente si la curva de brazos adrizantes tiene un alcance mínimo de 20° más allá de la posición de equilibrio,

con un brazo adrizante residual máximo de por lo menos 0,1 m dentro de ese margen de 20°; el área que quede bajo la curva dentro de tal margen no será inferior a 0,0175 m-rad. Las aberturas no protegidas no deberán quedar sumergidas cuando se esté dentro de dicho margen, a menos que el espacio de que se trate se suponga inundado. Dentro del citado margen podrá permitirse la inmersión de las aberturas enumeradas en el subpárrafo 3.1 del presente párrafo y de las demás aberturas que puedan cerrarse de manera estanca.

2.4 Consideraciones de cálculo de las situaciones de carga.

Para el cálculo de las situaciones de carga se emplea el Módulo Stability del software Maxsurf, en el que se ha preparado la definición de los espacios y compartimentos, así como el total de los pesos estimados y sus correspondientes coordenadas, obteniéndose el total de los pesos que tiene el buque.

2.5 Cálculo de las situaciones de carga.

2.5.1 A plena carga – condición de salida.

Tabla de estado de tanques para la condición establecida.

Descripción	% Llenado	Vol Total	Descripción	% Llenado	Vol Total
Tank 1 Stb	95%	3063.016	Ballas 6 Port	0%	0
Tank 1 Port	95%	3063.016	Wing 1Stb	0%	0
Tank 2 Stb	95%	4684.127	Wing 1 Port	0%	0
Tank 2 Port	95%	4684.127	Wing 2 Stb	0%	0
Tank 3 Stb	95%	4684.127	Wing 2 Port	0%	0
Tank 3 Port	95%	4684.127	Wing 3 Stb	0%	0
Tank 4 Stb	95%	4684.127	Wing 3 Port	0%	0
Tank 4 Port	95%	4684.127	Wing 4 Stb	0%	0
Tank 5 Stb	95%	4684.127	Wing 4 Port	0%	0
Tank 5 Port	95%	4684.127	Wing 5 Stb	0%	0
Tank 6 Stb	95%	4282.285	Wing 5 Port	0%	0
Tank 6 Port	95%	4282.285	Wing 6 Stb	0%	0
Slop Stb	0%	0	Wing 6 Port	0%	0
Slop Port	0%	0	Fuel Tank	95%	511.132

Ballast 1 Stb	0%	0	Fuel Tank	95%	511.132
Ballas 1 Port	0%	0	Ballast 7 Stb	0%	0
Ballast 2 Stb	0%	0	Ballast 7 Por	0%	0
Ballas 2 Port	0%	0	Wing 7 Stb	0%	0
Ballast 3 Stb	0%	0	Wing 7 Port	0%	0
Ballas 3 Port	0%	0	Diesel Oil St	95%	56.209
Ballast 4 Stb	0%	0	Diesel Oil Po	95%	56.209
Ballas 4 Port	0%	0	Lube Oil Stb	95%	14.735
Ballast 5 Stb	0%	0	Lube Oil Por	95%	14.735
Ballas 5 Port	0%	0	Fresh Water	95%	69.549
Ballast 6 Stb	0%	0	Fresh Water	95%	69.549
			V total Carga (m ³) = 53466.868		

Características hidrostáticas del buque en equilibrio.

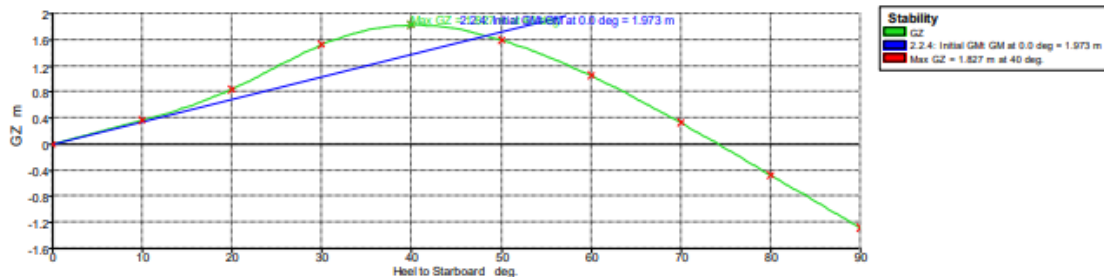
Concept	Valor	Concept	Valor
Draft Amidships m	10.73	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	98.28
Displacement t	5075	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	94.08
Heel deg	0	KB m	5.59
Draft at FP m	10.31	KG fluid m	10.99
Draft at AP m	11.15	BMt m	7.36
Draft at LCF m	10.73	BML m	246.8
Trim (+ve by stern) m	0.84	GMt corrected m	1.97
WL Length m	193.10	GML m	241.42
Beam max extents on WL m	31.1	KMt m	12.96
Trim angle (+ve by stern) deg	0.258	KML m	252.41

Evaluación de criterios de estabilidad.

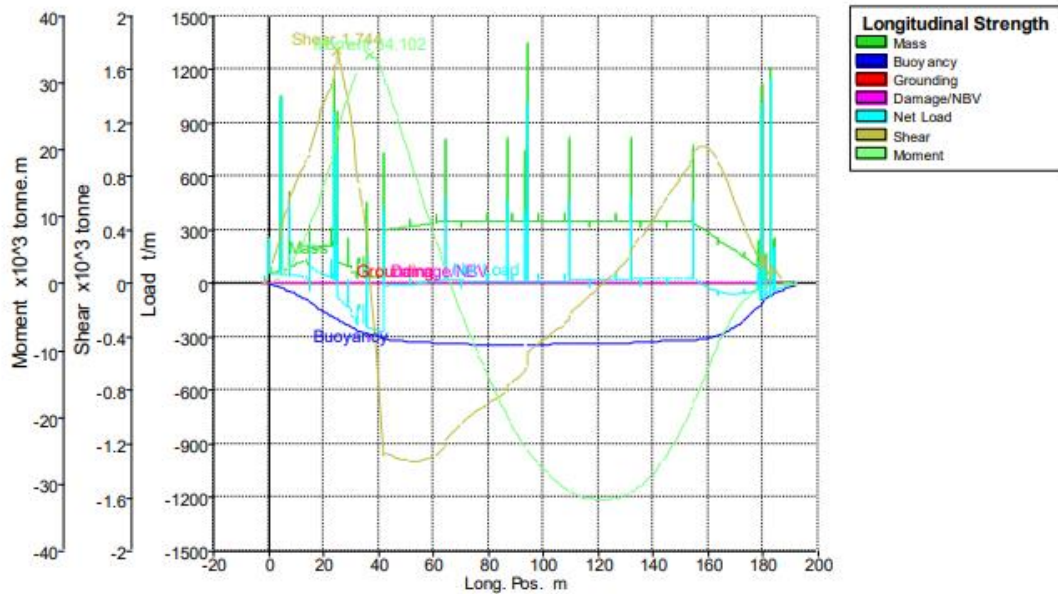
Criterio	Descripción	Ref.	Unidad	Valor	Estado
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0	deg	0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	30	deg	30	
	angle of vanishing stability	74.2	deg		
	shall not be less than (>=)	3.1513	m.deg	19.4402	Pass

267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40				
	from the greater of				
	spec. heel angle	0 deg	0		
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40 deg	40		
	first downflooding angle	n/a deg			
	angle of vanishing stability	74.2 deg			
	shall not be less than ($\geq$)	5.1566 m.deg	36.6425	Pass	
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	30 deg	30		
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40 deg	40		
	first downflooding angle	n/a deg			
	angle of vanishing stability	74.2 deg			
	shall not be less than ($\geq$)	1.7189 m.deg	17.2023	Pass	
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
	in the range from the greater of				
	spec. heel angle	30 deg	30		
	to the lesser of				
	spec. heel angle	90 deg			
	angle of max. GZ	40 deg	40		
	shall not be less than ($\geq$)	0.2 m	1.827	Pass	
	Intermediate values				
	angle at which this GZ occurs	deg	40		

Curva de estabilidad.



Curva de esfuerzo longitudinal.



2.5.2 A plena carga – condición de llegada.

Tabla de estado de tanques para la condición establecida.

Descripción	% Llenado	Vol Total	Descripción	% Llenado	Vol Total
Tank 1 Stb	95%	3063.016	Ballas 6 Port	0%	0
Tank 1 Port	95%	3063.016	Wing 1Stb	0%	0
Tank 2 Stb	95%	4684.127	Wing 1 Port	0%	0
Tank 2 Port	95%	4684.127	Wing 2 Stb	0%	0
Tank 3 Stb	95%	4684.127	Wing 2 Port	0%	0
Tank 3 Port	95%	4684.127	Wing 3 Stb	0%	0
Tank 4 Stb	95%	4684.127	Wing 3 Port	0%	0
Tank 4 Port	95%	4684.127	Wing 4 Stb	0%	0
Tank 5 Stb	95%	4684.127	Wing 4 Port	0%	0
Tank 5 Port	95%	4684.127	Wing 5 Stb	0%	0
Tank 6 Stb	95%	4282.286	Wing 5 Port	0%	0
Tank 6 Port	95%	4282.286	Wing 6 Stb	0%	0
Slop Stb	95%	1044.27	Wing 6 Port	0%	0
Slop Port	95%	1044.27	Fuel Tank	10%	53.803
Ballast 1 Stb	0%	0	Fuel Tank	10%	53.803
Ballas 1 Port	0%	0	Ballast 7 Stb	0%	0
Ballast 2 Stb	0%	0	Ballast 7 Port	0%	0
Ballas 2 Port	0%	0	Wing 7 Stb	0%	0

Ballast 3 Stb	0%	0	Wing 7 Port	0%	0
Ballas 3 Port	0%	0	Diesel Oil Stb	10%	5.917
Ballast 4 Stb	0%	0	Diesel Oil Port	10%	5.917
Ballas 4 Port	0%	0	Lube Oil Stb	95%	14.735
Ballast 5 Stb	0%	0	Lube Oil Port	95%	14.735
Ballas 5 Port	0%	0	Fresh Water Stb	10%	7.321
Ballast 6 Stb	0%	0	Fresh Water Port	10%	7.321
			V total Carga (m³) =		52327.172

Características hidrostáticas del buque en equilibrio.

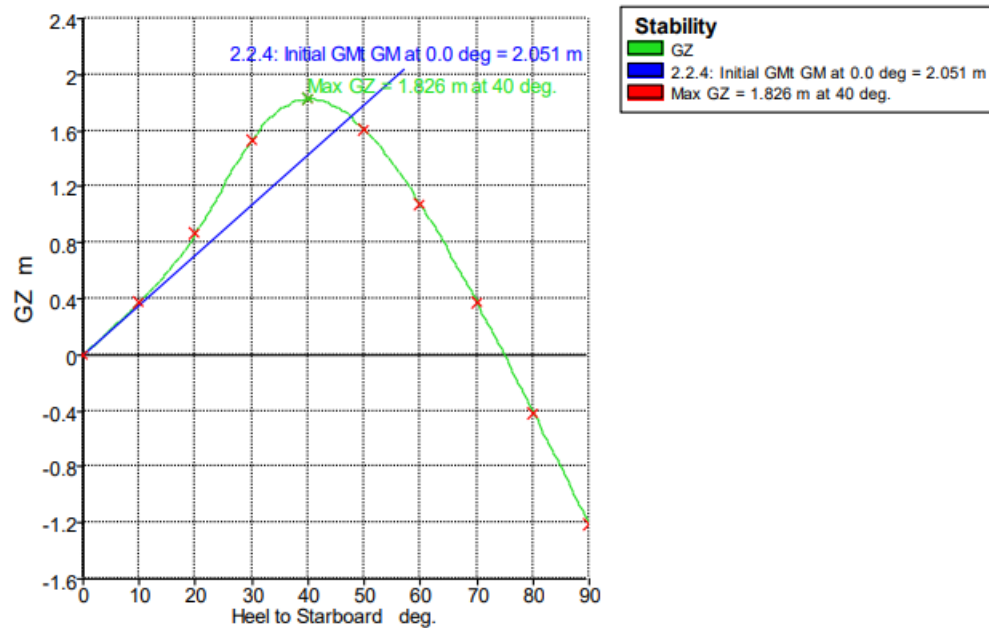
Concept	Valor	Concept	Valor
Draft Amidships m	10.89	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	97.8
Displacement t	5158	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	93.61
Heel deg	0	KB m	5.68
Draft at FP m	10.34	KG fluid m	10.91
Draft at AP m	11.44	BMt m	7.28
Draft at LCF m	10.89	BML m	247.12
Trim (+ve by stern) m	1.09	GMt corrected m	2.05
WL Length m	193.15	GML m	241.89
Beam max extents on WL m	31.1	KMt m	12.96
Trim angle (+ve by stern) deg	0.336	KML m	252.80

Evaluación de criterios de estabilidad.

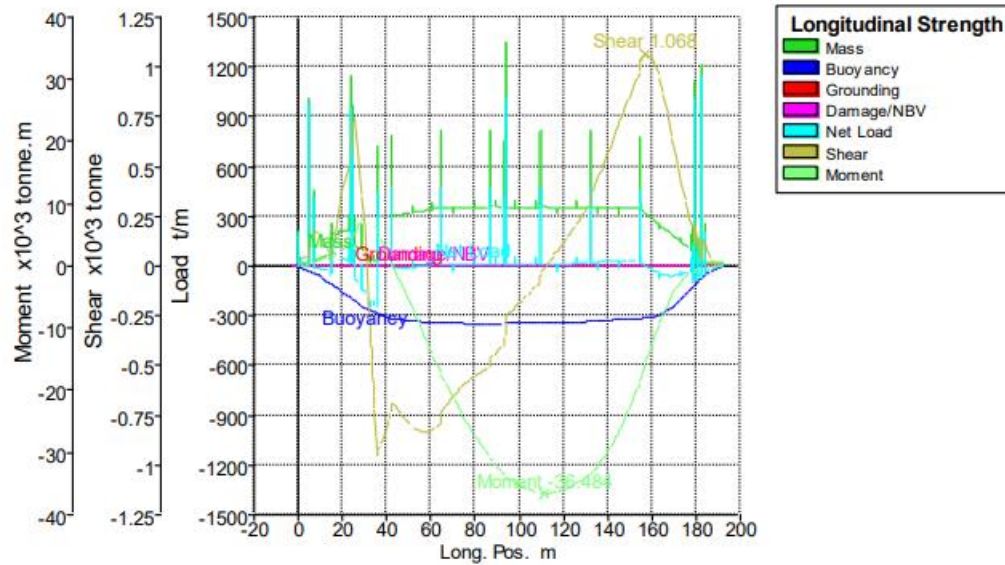
Criterio	Descripción	Ref.	Unidad	Valor	Estado
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0 deg		0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	30 deg		30	
	angle of vanishing stability	74.8 deg			
	shall not be less than (>=)	3.1513 m.deg		19.8993	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0 deg		0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40 deg		40	
	first downflooding angle	n/a deg			
	angle of vanishing stability	74.8 deg			
267(85) Ch2 - General Criteria	shall not be less than (>=)	5.1566 m.deg		37.152	Pass
	2.2.1: Area 30 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	30 deg		30	

	to the lesser of				
	spec. heel angle	40	deg	40	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	74.8	deg		
	shall not be less than ($\geq$)	1.7189	m.deg	17.2527	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
	in the range from the greater				
	spec. heel angle	30	deg	30	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	90	deg		
	angle of max. GZ	40	deg	40	
	shall not be less than ($\geq$)	0.2	m	1.826	Pass
	Intermediate values				
	angle at which this GZ occurs		deg	40	

Curva de estabilidad.



Curva de esfuerzo longitudinal.



2.5.3 En lastre – condición de salida.

Tabla de estado de tanques para la condición establecida.

Descripción	% Llenado	Vol Total	Descripción	% Llenado	Vol Total
Tank 1 Stb	0%	0	Ballas 6 Port	95%	528.021
Tank 1 Port	0%	0	Wing 1Stb	95%	1748.761
Tank 2 Stb	0%	0	Wing 1 Port	95%	1748.761
Tank 2 Port	0%	0	Wing 2 Stb	95%	602.886
Tank 3 Stb	0%	0	Wing 2 Port	95%	602.886
Tank 3 Port	0%	0	Wing 3 Stb	95%	678.497
Tank 4 Stb	0%	0	Wing 3 Port	95%	678.497
Tank 4 Port	0%	0	Wing 4 Stb	95%	682.886
Tank 5 Stb	0%	0	Wing 4 Port	95%	682.886
Tank 5 Port	0%	0	Wing 5 Stb	95%	655.13
Tank 6 Stb	0%	0	Wing 5 Port	95%	655.129
Tank 6 Port	0%	0	Wing 6 Stb	95%	932.743
Slop Stb	0%	0	Wing 6 Port	95%	932.743
Slop Port	0%	0	Fuel Tank	95%	511.132
Ballast 1 Stb	0%	0	Fuel Tank	95%	511.132
Ballas 1 Port	95%	404.826	Ballast 7 Stb	95%	111.456
Ballast 2 Stb	95%	595.099	Ballast 7 Port	95%	111.456

Ballas 2 Port	95%	583.197	Wing 7 Stb	95%	394.41
Ballast 3 Stb	95%	624.432	Wing 7 Port	95%	394.41
Ballas 3 Port	95%	624.432	Diesel Oil Stb	95%	56.209
Ballast 4 Stb	95%	629.81	Diesel Oil Port	95%	56.209
Ballas 4 Port	95%	629.81	Lube Oil Stb	95%	14.735
Ballast 5 Stb	95%	613.695	Lube Oil Port	95%	14.735
Ballas 5 Port	95%	613.695	Fresh Water Stb	95%	69.549
Ballast 6 Stb	95%	528.021	Fresh Water Port	95%	69.549
			V total Carga (m³) =		19291.825

Características hidrostáticas del buque en equilibrio.

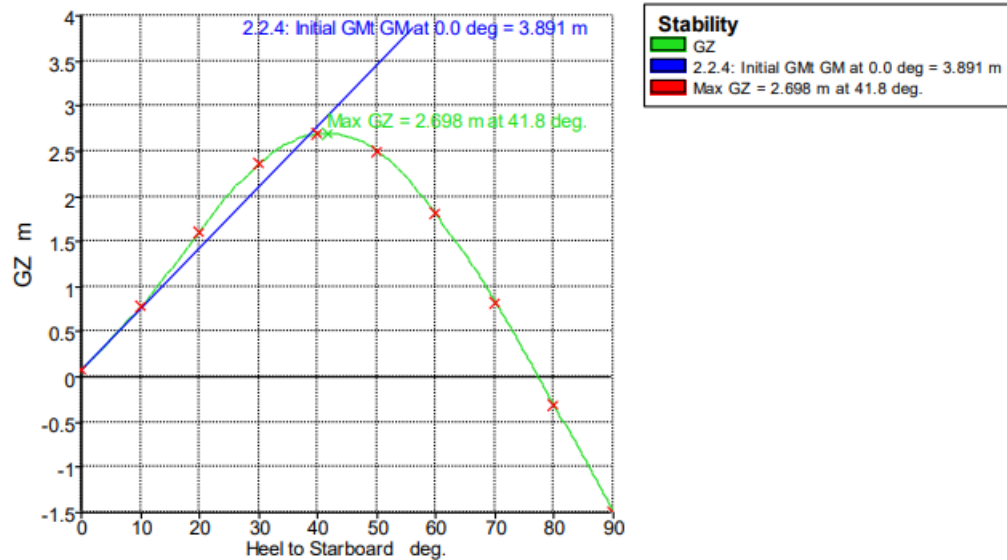
Concept	Valor	Concept	Valor
Draft Amidships m	6.73	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	93.50
Displacement t	3007	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	97.36
Heel deg	-1	KB m	3.54
Draft at FP m	4.77	KG fluid m	11.3
Draft at AP m	8.68	BMt m	11.68
Draft at LCF m	6.65	BML m	362.22
Trim (+ve by stern) m	3.91	GMt corrected m	3.89
WL Length m	190.41	GML m	354.43
Beam max extents on WL m	31.16	KMt m	15.22
Trim angle (+ve by stern) deg	1.198	KML m	365.62

Evaluación de criterios de estabilidad.

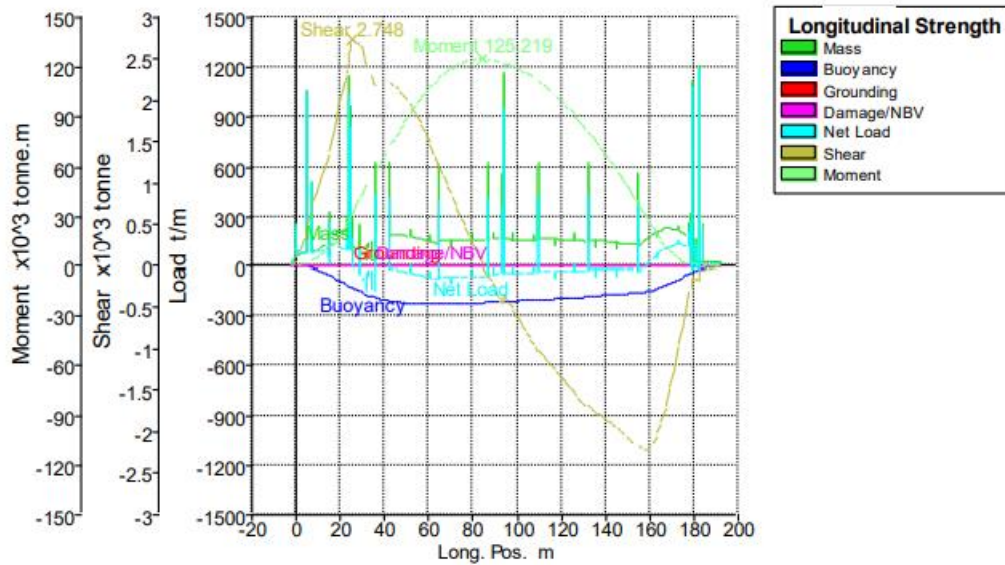
Criterio	Descripción	Ref.	Unidad	Valor	Estado
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0	deg	0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	30	deg	30	
	angle of vanishing stability	77.3	deg		
	shall not be less than (>=)	3.1513	m.deg	36.04	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0	deg	0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40	deg	40	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	77.3	deg		
	shall not be less than (>=)	5.1566	m.deg	61.6924	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40				Pass
	from the greater of				

	spec. heel angle	30 deg	30	
	to the lesser of			
	spec. heel angle	40 deg	40	
	first downflooding angle	n/a deg		
	angle of vanishing stability	77.3 deg		
	shall not be less than ($\geq$)	1.7189 m.deg	25.6524	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater			Pass
	in the range from the greater			
	spec. heel angle	30 deg	30	
	to the lesser of			
	spec. heel angle	90 deg		
	angle of max. GZ	41.8 deg	41.8	
	shall not be less than ($\geq$)	0.2 m	2.698	Pass
	Intermediate values			
	angle at which this GZ occurs	deg	41.8	

Curva de estabilidad.



Curva de esfuerzo longitudinal.



2.5.4 En lastre – condición de llegada.

Tabla de estado de tanques para la condición establecida.

Descripción	% Llenado	Vol Total	Descripción	% Llenado	Vol Total
Tank 1 Stb	0%	0	Ballas 6 Port	95%	528.021
Tank 1 Port	0%	0	Wing 1Stb	95%	1748.761
Tank 2 Stb	0%	0	Wing 1 Port	95%	1748.761
Tank 2 Port	0%	0	Wing 2 Stb	95%	602.886
Tank 3 Stb	0%	0	Wing 2 Port	95%	602.886
Tank 3 Port	0%	0	Wing 3 Stb	95%	678.497
Tank 4 Stb	0%	0	Wing 3 Port	95%	678.497
Tank 4 Port	0%	0	Wing 4 Stb	95%	682.886
Tank 5 Stb	0%	0	Wing 4 Port	95%	682.886
Tank 5 Port	0%	0	Wing 5 Stb	95%	655.13
Tank 6 Stb	0%	0	Wing 5 Port	95%	655.129
Tank 6 Port	0%	0	Wing 6 Stb	95%	932.743
Slop Stb	0%	0	Wing 6 Port	95%	932.743
Slop Port	0%	0	Fuel Tank	10%	53.803
Ballast 1 Stb	0%	0	Fuel Tank	10%	53.803

Ballas 1 Port	95%	404.826	Ballast 7 Stb	95%	111.456
Ballast 2 Stb	95%	595.099	Ballast 7 Port	95%	111.456
Ballas 2 Port	95%	583.197	Wing 7 Stb	95%	394.41
Ballast 3 Stb	95%	624.432	Wing 7 Port	95%	394.41
Ballas 3 Port	95%	624.432	Diesel Oil Stb	10%	5.917
Ballast 4 Stb	95%	629.81	Diesel Oil Port	10%	5.917
Ballas 4 Port	95%	629.81	Lube Oil Stb	95%	14.735
Ballast 5 Stb	95%	613.695	Lube Oil Port	95%	14.735
Ballas 5 Port	95%	613.695	Fresh Water Stb	10%	7.321
Ballast 6 Stb	95%	528.021	Fresh Water Port	10%	7.321
			V total Carga (m³) =		18152.127

Características hidrostáticas del buque en equilibrio.

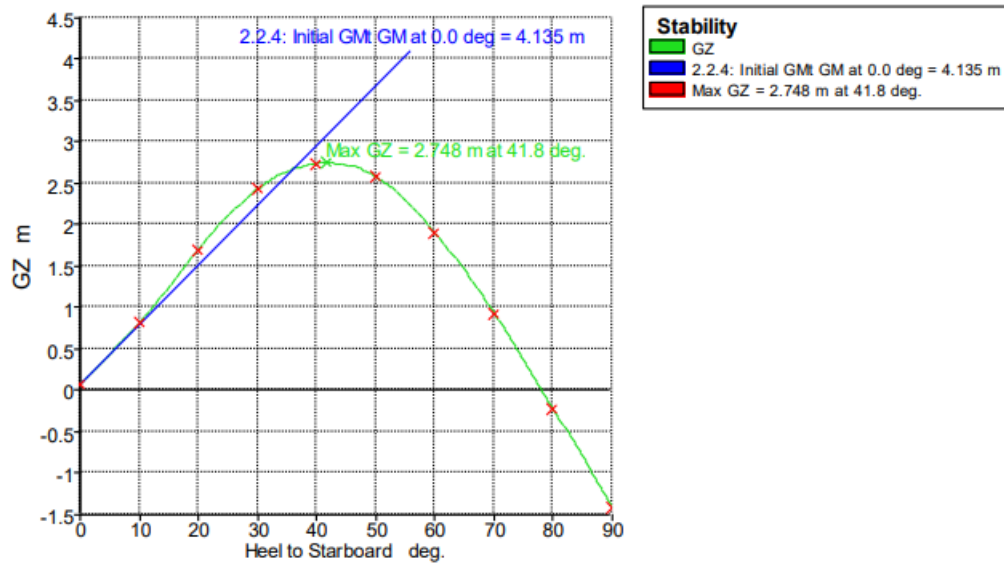
Concept	Valor	Concept	Valor
Draft Amidships m	6.47	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	96.60
Displacement t	2900	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	98.31
Heel deg	-1	KB m	3.37
Draft at FP m	5.34	KG fluid m	11.24
Draft at AP m	7.61	BMt m	12.01
Draft at LCF m	6.4	BML m	364.5
Trim (+ve by stern) m	2.26	GMt corrected m	4.14
WL Length m	188.65	GML m	356.64
Beam max extents on WL m	31.16	KMt m	15.3
Trim angle (+ve by stern) deg	0.694	KML m	367.80

Evaluación de criterios de estabilidad.

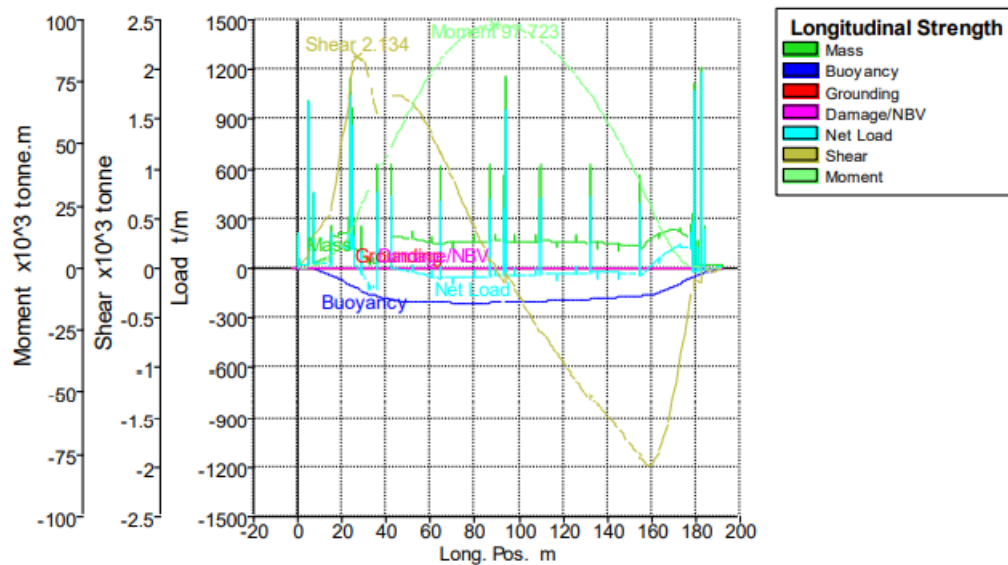
Criterio	Descripción	Ref.	Unidad	Valor	Estado
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0	deg	0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	30	deg	30	
	angle of vanishing stability	78.2	deg		
	shall not be less than (>=)	3.1513	m.deg	37.8689	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0	deg	0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40	deg	40	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	78.2	deg		
	shall not be less than (>=)	5.1566	m.deg	64.1318	Pass

267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	30 deg		30	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40 deg		40	
	first downflooding angle	n/a deg			
	angle of vanishing stability	78.2 deg			
	shall not be less than ($\geq$)	1.7189 m.deg		26.2629	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
	in the range from the greater				
	spec. heel angle	30 deg		30	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	90 deg			
	angle of max. GZ	41.8 deg		41.8	
	shall not be less than ($\geq$)	0.2 m		2.748	Pass
	Intermediate values				
	angle at which this GZ occurs		deg	41.8	

Curva de estabilidad.



Curva de esfuerzo longitudinal.



2.5.5 Condición de lastre IMO.

Tabla de estado de tanques para la condición establecida.

Descripción	% Llenado	Vol Total	Descripción	% Llenado	Vol Total
Tank 1 Stb	0%	0	Ballas 6 Port	100%	555.812
Tank 1 Port	0%	0	Wing 1Stb	100%	1840.801
Tank 2 Stb	0%	0	Wing 1 Port	100%	1840.801
Tank 2 Port	0%	0	Wing 2 Stb	100%	634.617
Tank 3 Stb	0%	0	Wing 2 Port	100%	634.617
Tank 3 Port	0%	0	Wing 3 Stb	100%	714.207
Tank 4 Stb	0%	0	Wing 3 Port	100%	714.207
Tank 4 Port	0%	0	Wing 4 Stb	100%	718.828
Tank 5 Stb	0%	0	Wing 4 Port	100%	718.828
Tank 5 Port	0%	0	Wing 5 Stb	100%	689.61
Tank 6 Stb	0%	0	Wing 5 Port	100%	689.61
Tank 6 Port	0%	0	Wing 6 Stb	100%	981.835
Slop Stb	0%	0	Wing 6 Port	100%	981.835
Slop Port	0%	0	Fuel Tank	0%	0
Ballast 1 Stb	100%	426.133	Fuel Tank	0%	0

Ballas 1 Port	100%	426.133	Ballast 7 Stb	100%	117.322
Ballast 2 Stb	100%	626.42	Ballast 7 Port	100%	117.322
Ballas 2 Port	100%	613.891	Wing 7 Stb	100%	415.168
Ballast 3 Stb	100%	657.296	Wing 7 Port	100%	415.168
Ballas 3 Port	100%	657.296	Diesel Oil Stb	0%	0
Ballast 4 Stb	100%	662.958	Diesel Oil Port	0%	0
Ballas 4 Port	100%	662.958	Lube Oil Stb	0%	0
Ballast 5 Stb	100%	645.994	Lube Oil Port	0%	0
Ballas 5 Port	100%	645.994	Fresh Water Stb	0%	0
Ballast 6 Stb	100%	555.812	Fresh Water Port	0%	0
			V total Carga (m ³) =		19361.473

Características hidrostáticas del buque en equilibrio.

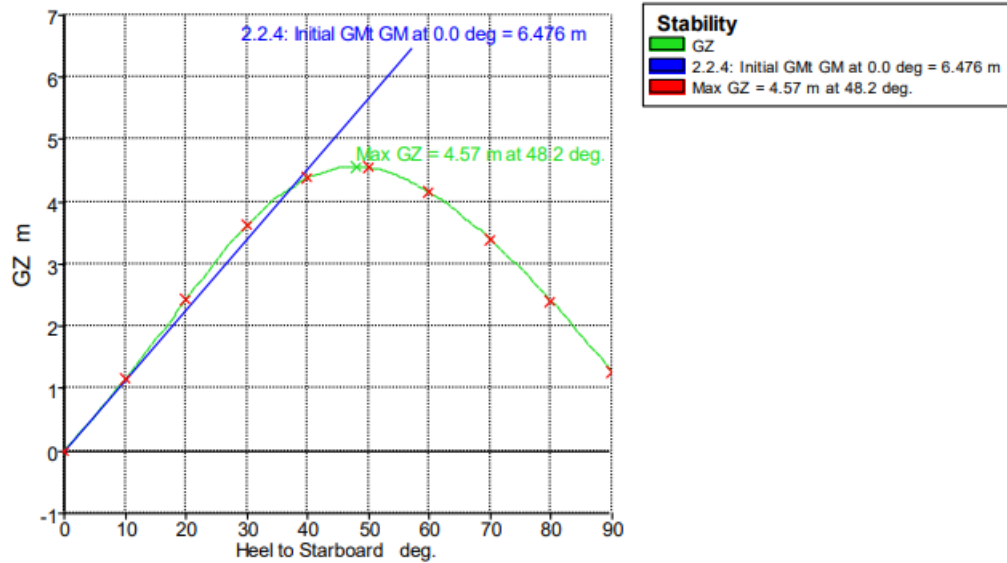
Concept	Valor	Concept	Valor
Draft Amidships m	6.70	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	98.40
Displacement t	3025	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	98.52
Heel deg	0	KB m	3.48
Draft at FP m	6.03	KG fluid m	8.54
Draft at AP m	7.37	BMt m	11.53
Draft at LCF m	6.67	BML m	348.50
Trim (+ve by stern) m	1.34	GMt corrected m	6.47
WL Length m	188.36	GML m	343.45
Beam max extents on WL m	31.1	KMt m	15.01
Trim angle (+ve by stern) deg	0.410	KML m	351.98

Evaluación de criterios de estabilidad.

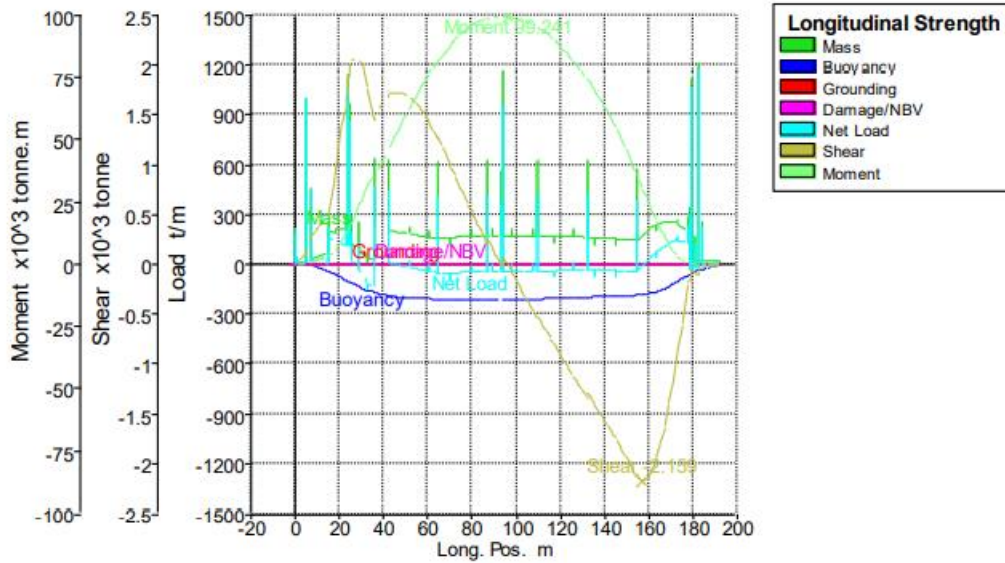
Criterio	Descripción	Ref.	Unidad	Valor	Estado
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0 deg		0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	30 deg		30	
	angle of vanishing stability	90 deg			
	shall not be less than (>=)	3.1513	m.deg	54.0311	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0 deg		0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40 deg		40	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	90 deg			
	shall not be less than (>=)	5.1566	m.deg	94.5255	Pass

267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	30 deg		30	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40 deg		40	
	first downflooding angle	n/a deg			
	angle of vanishing stability	90 deg			
	shall not be less than ($\geq$)	1.7189 m.deg		40.4944	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
	in the range from the greater				
	spec. heel angle	30 deg		30	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	90 deg			
	angle of max. GZ	48.2 deg		48.2	
	shall not be less than ($\geq$)	0.2 m		4.57	Pass
	Intermediate values				
	angle at which this GZ occurs		deg	48.2	

Curva de estabilidad.



Curva de esfuerzo longitudinal.



2.5.6 En lastre – condición de salida con mal tiempo.

Tabla de estado de tanques para la condición establecida.

Descripción	% Llenado	Vol Total	Descripción	% Llenado	Vol Total
Tank 1 Stb	0%	0	Ballas 6 Port	98%	544.696
Tank 1 Port	0%	0	Wing 1Stb	98%	1803.985
Tank 2 Stb	0%	0	Wing 1 Port	98%	1803.985
Tank 2 Port	0%	0	Wing 2 Stb	98%	621.924
Tank 3 Stb	95%	4684.127	Wing 2 Port	98%	621.924
Tank 3 Port	95%	4684.127	Wing 3 Stb	98%	699.923
Tank 4 Stb	0%	0	Wing 3 Port	98%	699.923
Tank 4 Port	0%	0	Wing 4 Stb	98%	704.451
Tank 5 Stb	0%	0	Wing 4 Port	98%	704.451
Tank 5 Port	0%	0	Wing 5 Stb	98%	675.818
Tank 6 Stb	0%	0	Wing 5 Port	98%	675.818
Tank 6 Port	0%	0	Wing 6 Stb	98%	962.198
Slop Stb	0%	0	Wing 6 Port	98%	962.198
Slop Port	0%	0	Fuel Tank	98%	527.273
Ballast 1 Stb	98%	417.61	Fuel Tank	98%	527.273
Ballas 1 Port	98%	417.61	Ballast 7 Stb	98%	114.976

Ballast 2 Stb	98%	613.891	Ballast 7 Port	98%	114.976
Ballas 2 Port	98%	601.613	Wing 7 Stb	98%	406.865
Ballast 3 Stb	98%	644.15	Wing 7 Port	98%	406.865
Ballas 3 Port	98%	644.15	Diesel Oil Stb	98%	57.984
Ballast 4 Stb	98%	649.698	Diesel Oil Port	98%	57.984
Ballas 4 Port	98%	649.698	Lube Oil Stb	98%	15.201
Ballast 5 Stb	98%	633.075	Lube Oil Port	98%	15.201
Ballas 5 Port	98%	633.075	Fresh Water Stb	98%	71.746
Ballast 6 Stb	98%	544.696	Fresh Water Port	98%	71.746
			V total Carga (m ³) =		29686.904

Características hidrostáticas del buque en equilibrio.

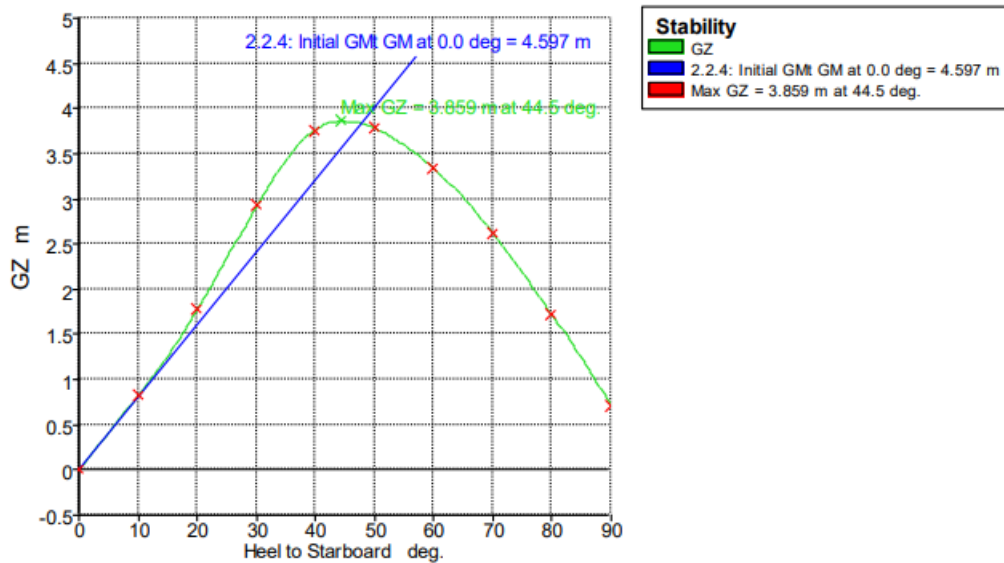
Concept	Valor	Concept	Valor
Draft Amidships m	8.2	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	99.57
Displacement t	3814	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	97.50
Heel deg	0	KB m	4.30
Draft at FP m	8.01	KG fluid m	9.07
Draft at AP m	8.52	BMt m	9.36
Draft at LCF m	8.25	BML m	288.44
Trim (+ve by stern) m	0.51	GMt corrected m	4.59
WL Length m	190.16	GML m	283.68
Beam max extents on WL m	31.1	KMt m	13.66
Trim angle (+ve by stern) deg	0.157	KML m	351.98

Evaluación de criterios de estabilidad.

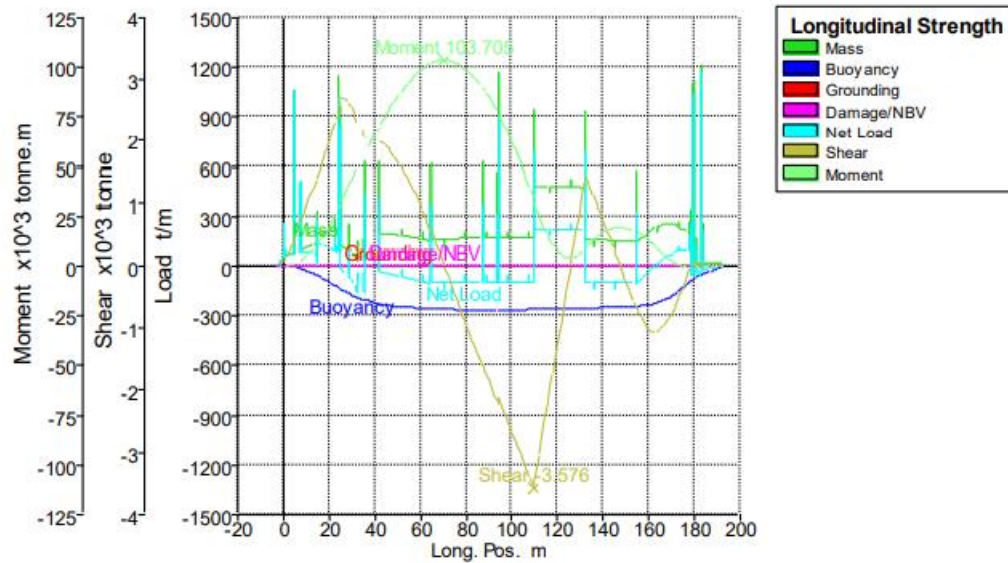
Criterio	Descripción	Ref.	Unidad	Valor	Estado
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0 deg		0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	30 deg		30	
	angle of vanishing stability	90 deg			
	shall not be less than (>=)	3.1513	m.deg	40.3106	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0 deg		0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40 deg		40	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	90 deg			
	shall not be less than (>=)	5.1566	m.deg	74.3251	Pass
	2.2.1: Area 30 to 40				Pass

267(85) Ch2 - General Criteria	from the greater of				
	spec. heel angle	30 deg	30		
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40 deg	40		
	first downflooding angle	n/a deg			
	angle of vanishing stability	90 deg			
	shall not be less than ($\geq$)	1.7189 m.deg	34.0145	Pass	
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
	in the range from the greater				
	spec. heel angle	30 deg	30		
	to the lesser of				
	spec. heel angle	90 deg			
	angle of max. GZ	44.5 deg	44.5		
	shall not be less than ($\geq$)	0.2 m	3.859	Pass	
	Intermediate values				
	angle at which this GZ occurs	deg	44.5		

Curva de estabilidad.



Curva de esfuerzo longitudinal.



2.5.7 En lastre – condición de llegada con mal tiempo.

Tabla de estado de tanques para la condición establecida.

Descripción	% Llenado	Vol Total	Descripción	% Llenado	Vol Total
Tank 1 Stb	0%	0	Ballas 6 Port	98%	544.696
Tank 1 Port	0%	0	Wing 1Stb	98%	1803.985
Tank 2 Stb	0%	0	Wing 1 Port	98%	1803.985
Tank 2 Port	0%	0	Wing 2 Stb	98%	621.924
Tank 3 Stb	95%	4684.127	Wing 2 Port	98%	621.924
Tank 3 Port	95%	4684.127	Wing 3 Stb	98%	699.923
Tank 4 Stb	0%	0	Wing 3 Port	98%	699.923
Tank 4 Port	0%	0	Wing 4 Stb	98%	704.451
Tank 5 Stb	0%	0	Wing 4 Port	98%	704.451
Tank 5 Port	0%	0	Wing 5 Stb	98%	675.818
Tank 6 Stb	0%	0	Wing 5 Port	98%	675.818
Tank 6 Port	0%	0	Wing 6 Stb	98%	962.198
Slop Stb	0%	0	Wing 6 Port	98%	962.198
Slop Port	0%	0	Fuel Tank	0%	0
Ballast 1 Stb	98%	417.61	Fuel Tank	0%	0

Ballas 1 Port	98%	417.61	Ballast 7 Stb	98%	114.976
Ballast 2 Stb	98%	613.891	Ballast 7 Port	98%	114.976
Ballas 2 Port	98%	601.613	Wing 7 Stb	98%	406.865
Ballast 3 Stb	98%	644.15	Wing 7 Port	98%	406.865
Ballas 3 Port	98%	644.15	Diesel Oil Stb	0%	0
Ballast 4 Stb	98%	649.698	Diesel Oil Port	0%	0
Ballas 4 Port	98%	649.698	Lube Oil Stb	98%	15.201
Ballast 5 Stb	98%	633.075	Lube Oil Port	98%	15.201
Ballas 5 Port	98%	633.075	Fresh Water Stb	98%	71.746
Ballast 6 Stb	98%	544.696	Fresh Water Port	98%	71.746
			V total Carga (m ³) =		28516.39

Características hidrostáticas del buque en equilibrio.

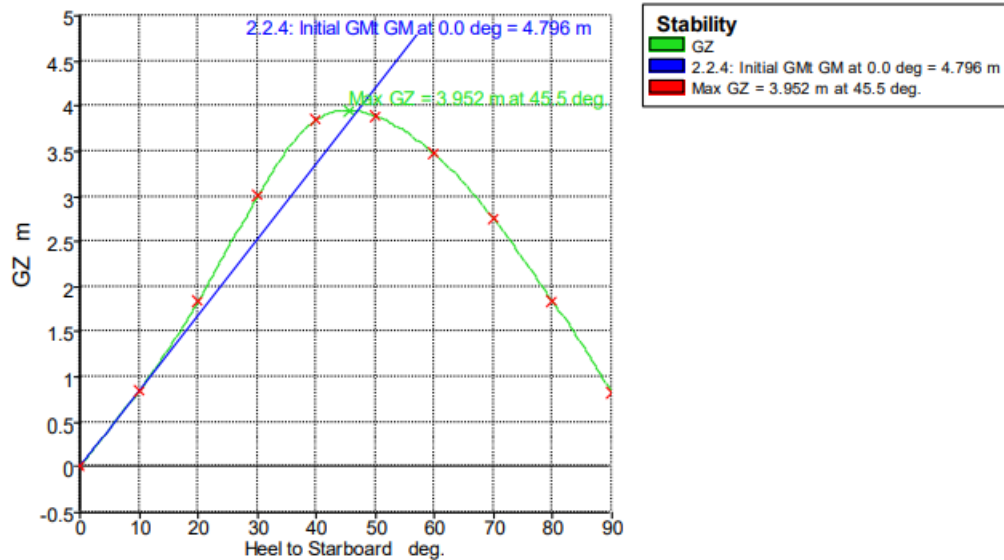
Concept	Valor	Concept	Valor
Draft Amidships m	8.01	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	102.28
Displacement t	3705	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	98.33
Heel deg	0	KB m	4.19
Draft at FP m	8.60	KG fluid m	8.95
Draft at AP m	7.41	BMt m	9.55
Draft at LCF m	8.04	BML m	287.12
Trim (+ve by stern) m	-	GMt corrected m	4.79
WL Length m	188.18	GML m	282.36
Beam max extents on WL m	31.1	KMt m	13.75
Trim angle (+ve by stern) deg	-	KML m	291.3

Evaluación de criterios de estabilidad.

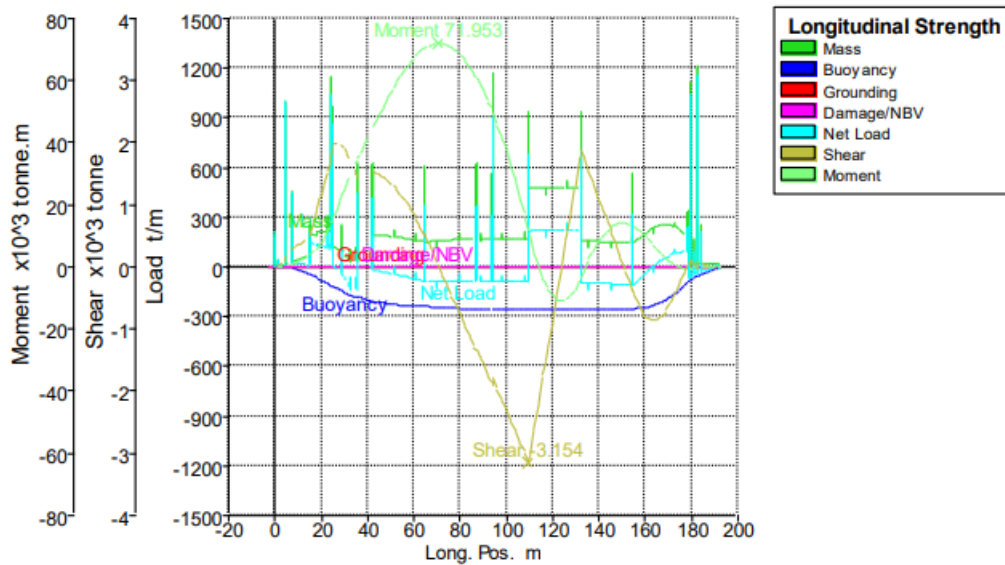
Criterio	Descripción	Ref.	Unidad	Valor	Estado
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0	deg	0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	30	deg	30	
	angle of vanishing stability	90	deg		
	shall not be less than (>=)	3.1513	m.deg	41.7563	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0	deg	0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40	deg	40	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	90	deg		
	shall not be less than (>=)	5.1566	m.deg	76.5652	Pass

267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	30 deg		30	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40 deg		40	
	first downflooding angle	n/a deg			
	angle of vanishing stability	90 deg			
	shall not be less than ($\geq$)	1.7189 m.deg		34.8089	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
	in the range from the greater				
	spec. heel angle	30 deg		30	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	90 deg			
	angle of max. GZ	45.5 deg		45.5	
	shall not be less than ($\geq$)	0.2 m		3.952	Pass
	Intermediate values				
	angle at which this GZ occurs		deg	45.5	

Curva de estabilidad.



Curva de esfuerzo longitudinal.



2.6 Estabilidad después de averías.

A continuación, se presentan los tipos de averías considerados para el análisis de la estabilidad.

Tipos de averías.

A. Averías en el costado.

Extensión longitudinal:

$I_x = 1/3 * L^2/3$, o bien 14.5 m, si el valor resulta menor.

Por lo que se considera el valor de 14.5 para el proyecto 12.

Extensión transversal.

$I_y = B/5$, o bien 11.5 m, si el valor resulta menor.

Por lo que se considera el valor de 11.5 m para el proyecto 12.

Extensión Vertical.

$I_z = \text{sin límite}$.

B. Averías en el fondo a 0.3L de la perpendicular de proa del buque.

Extensión longitudinal:

$I_x = L/10$

$I_x = 18.7 \text{ m}$

Extensión Transversal:

$I_y = B/6$, o bien 10m, si este valor es menor.

$I_y = 10$ m para el proyecto 12.

Extensión Vertical:

$I_z = B/15$, o bien 6m, si este valor es menor.

$I_z = 6$ m.

C. Averías en el fondo en cualquier otra parte del buque.

Extensión longitudinal:

$x = L/10$; o bien 5m, si este valor es menor.

$I_x = 18.7$ m

Extensión Transversal:

$I_y = B/6$, o bien 10m, si este valor es menor.

$I_y = 10$ m para el proyecto 12.

Extensión Vertical:

$I_z = B/15$, o bien 6m, si este valor es menor.

$I_z = 6$ m.

Tabla resumen de dimensiones máximas de averías.

Avería	Longitudinal	Transversal	Vertical
En el costado	10.94	11.5	Sin límite
En el fondo a 0.3L desde proa.	18.7	10	6 m
En el fondo en cualquier zona	18.7	10	6 m

Condiciones de avería en el costado.

Son las producidas por el abordaje o varada que provoca daños en la estructura del forro en los costados, se asume que el daño atraviesa un mamparo transversal, con lo que la condición de avería afecta dos tanques en lo longitudinal, incluyendo los de lastre y de costado.

Condiciones de avería en el fondo.

Son las producidas por la varada o encallamiento que provocan daños en la estructura del fondo del buque, se asume que el daño atraviesa un mamparo transversal, con lo que la condición de avería afecta dos tanques en lo longitudinal, incluyendo los tanques de lastre y carga en el sentido vertical.

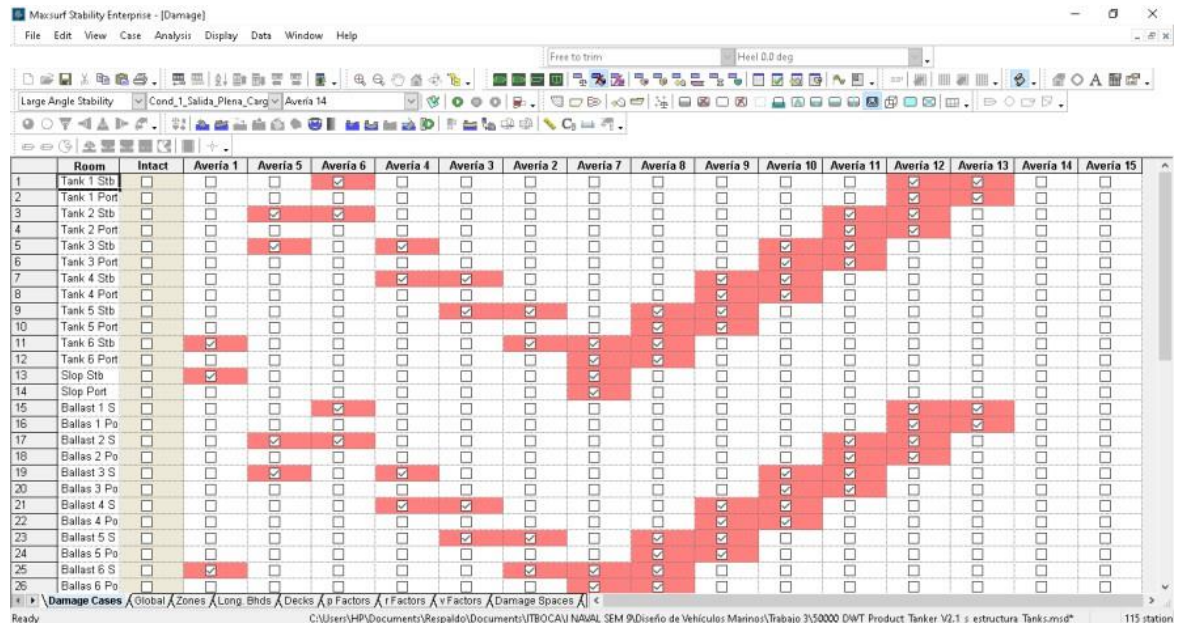
Condiciones de avería en proa y popa.

Son las producidas por la colisión directa en los extremos del buque, se asume que el daño atraviesa un mamparo transversal, incluyendo los tanques y espacios de piques de proa o popa y sus compartimentos aledaños en la cámara de máquinas.

A continuación, se resumen las 15 averías estimadas y los compartimentos afectados en cada una.

Avería	lx	ly	lz	Compartimentos											
Costado	1	10.94	11.5	N/A	Slop Er	Ballast 7 Er	Wing 7 Er	Cargo 6 Er	Ballast 6 Er	Wing 6 Er					
	2	10.94	11.5	N/A	Cargo 6 Er	Ballast 6 Er	Wing 6 Er	Cargo 5 Er	Ballast 5 Er	Wing 5 Er					
	3	10.94	11.5	N/A	Cargo 5 Er	Ballast 5 Er	Wing 5 Er	Cargo 4 Er	Ballast 4 Er	Wing 4 Er					
	4	10.94	11.5	N/A	Cargo 4 Er	Ballast 4 Er	Wing 4 Er	Cargo 3 Er	Ballast 3 Er	Wing 3 Er					
	5	10.94	11.5	N/A	Cargo 3 Er	Ballast 3 Er	Wing 3 Er	Cargo 2 Er	Ballast 2 Er	Wing 2 Er					
	6	10.94	11.5	N/A	Cargo 2 Er	Ballast 2 Er	Wing 2 Er	Cargo 1 Er	Ballast 1 Er	Wing 1 Er					
Fondo	7	18.7	10	6	Slop Er	Slop Br	Ballast 7 Br	Cargo 6 Er	Cargo 6 Br	Ballast 6 Er	Ballast 6 Br				
	8	18.7	10	6	Cargo 6 Er	Cargo 6 Br	Ballast 6 Er	Ballast 6 Br	Cargo 5 Er	Cargo 5 Br	Ballast 5 Er	Ballast 5 Br			
	9	18.7	10	6	Cargo 5 Er	Cargo 5 Br	Ballast 5 Er	Ballast 5 Br	Cargo 4 Er	Cargo 4 Br	Ballast 4 Er	Ballast 4 Br			
	10	18.7	10	6	Cargo 4 Er	Cargo 4 Br	Ballast 4 Er	Ballast 4 Br	Cargo 3 Er	Cargo 3 Br	Ballast 3 Er	Ballast 3 Br			
	11	18.7	10	6	Cargo 3 Er	Cargo 3 Br	Ballast 3 Er	Ballast 3 Br	Cargo 2 Er	Cargo 2 Br	Ballast 2 Er	Ballast 2 Br			
	12	18.7	10	6	Cargo 2 Er	Cargo 2 Br	Ballast 2 Er	Ballast 2 Br	Cargo 1 Er	Cargo 1 Br	Ballast 1 Er	Ballast 1 Br			
Colisión proa y	13	18.7	10	6	Pique Pr	Cargo 1 Er	Cargo 2 Br	Ballast 1 Er	Ballast 1 Br	Wing 1 Er	Wing 1 Br				
	14	18.7	10	6	Pique Pp	Maquinas	Fuel Er	Ballast 1 Br	Diesel Er	Lube Er	Water Er				
	15	18.7	10	6	Pique Pp	Fuel Er	Fuel Br	Maquinas	Diesel Er	Diesel Br	Lube Er	Lube Br	Water Er	Water Br	

En el apartado de “Damage Case” del software Stability Maxsurf, se cargaron las 15 averías para proceder a evaluar en cada condición de carga. En la siguiente imagen se muestra la ventana del programa con las 15 averías cargadas previo a su evaluación en cada situación de carga.



2.6.1 A plena carga – condición de salida.

Tabla de resultados evaluación de las 15 averías para la condición 1.

Avería	Δ (t)	T popa (m)	T proa (m)	T med (m)	Asiento (°)	Escora (°)	GM (m)	GZ max (m)	Rango GZ+ (°)	E. Din 20° (m-grado)	Estatus Marpol
1	47538	12.155	9.996	11.076	0.6616	7.9	2.167	1.452	40	9.101	Pass
2	44031	11.628	10.276	10.952	0.414	6.9	2.019	1.476	40	9.101	Pass
3	43729	11.347	10.449	10.898	0.275	6	1.983	1.534	40.9	8.8433	Pass
4	43725	11.196	10.586	10.891	0.1868	6	1.97	1.4936	40.9	8.6297	Pass
5	43731	11.101	10.551	10.826	0.1686	4.2	1.881	1.457	40.9	7.6319	Pass
6	44943	10.516	11.615	11.066	-0.3369	8.9	2.085	1.164	40.9	8.0592	Pass
7	44335	11.933	10.018	10.976	0.5868	0	2.469	2.015	39.1	9.3186	Pass
8	37305	10.554	10.375	10.464	0.0549	0	2.626	2.189	39.1	9.9099	Pass
9	36703	10.821	10.137	10.479	0.2094	0	2.606	2.163	39.1	9.8395	Pass
10	36702	11.052	9.849	10.451	0.3686	0	2.636	2.181	39.1	9.9491	Pass
11	36703	11.383	9.284	10.333	0.643	0	2.645	2.197	39.1	9.9749	Pass
12	39134	11.708	8.913	10.31	0.8564	0	2.767	2.32	40	10.4048	Pass
13	46159	10.058	12.398	11.228	-0.7168	0	1.908	1.598	39.1	7.3844	Pass
14	50137	13.298	9.347	11.323	1.2104	-0.5	2.038	1.664	39.1	7.3456	Pass
15	49527	10.566	10.621	10.594	-0.0168	0	2.027	1.916	40.9	7.8376	Pass

2.6.2 A plena carga – condición de llegada.

Tabla de resultados evaluación de las 15 averías para la condición 2.

Avería	Δ (t)	T popa (m)	T proa (m)	T med (m)	Asiento (°)	Escora (°)	GM (m)	GZ max (m)	Rango GZ+ (°)	E. Din 20° (m-grado)	Estatus Marpol
1	47421	11.752	10.267	11.01	0.4552	4.6	2.051	1.592	40	8.6618	Pass
2	44865	11.987	10.303	11.145	0.5161	7.3	2.134	1.444	40	9.4792	Pass
3	44563	11.671	10.5	11.085	0.3588	6.3	2.091	1.508	40.9	9.211	Pass
4	44559	11.494	10.651	11.073	0.2583	6.1	2.071	1.477	40.9	8.9568	Pass
5	44565	11.382	10.628	11.005	0.231	4.4	1.981	1.445	40.9	7.9806	Pass

6	45778	10.838	11.611	11.225	-0.2367	8.2	2.133	1.162	40.9	8.2148	Pass
7	43258	10.839	10.53	10.685	0.0947	0	2.462	2.102	40	9.3213	Pass
8	38140	11.008	10.376	10.692	0.1935	0	2.73	2.204	39.1	10.2527	Pass
9	37537	11.185	10.196	10.69	0.3028	0	2.705	2.174	39.1	10.1651	Pass
10	37534	11.356	9.946	10.651	0.4318	0	2.73	2.185	39.1	10.2527	Pass
11	37537	11.651	9.407	10.529	0.6875	0	2.733	2.198	39.1	10.2592	Pass
12	39968	11.956	9.033	10.494	0.8957	0	2.844	2.313	40	10.6563	Pass
13	46993	10.353	12.45	11.402	-0.6425	0	1.992	1.596	39.1	7.6695	Pass
14	51511	14.266	9.033	11.65	1.6031	1.2	2.116	1.538	39.1	8.569	Pass
15	51434	12.002	10.048	11.025	0.5988	0	2.08	1.813	40	7.9203	Pass

2.6.3 En lastre – condición de salida.

Tabla de resultados evaluación de las 15 averías para la condición 3

Avería	$\Delta(t)$	T popa (m)	T proa (m)	T med (m)	Asiento (°)	Escora (°)	GM (m)	GZ max (m)	Rango GZ+(°)	E. Din 20° (m-grado)	Estatus Marpol
1	28058	9.322	4.598	6.96	1.4474	-1.2	3.664	2.865	41.8	97.6354	Pass
2	27276	9.99	4.618	7.304	1.6455	3.4	3.39	2.701	42.7	89.6244	Pass
3	27428	9.493	5.078	7.286	1.3525	4.3	3.296	2.728	42.7	89.6345	Pass
4	27392	8.893	5.41	7.151	1.0671	2.2	3.107	2.745	42.7	90.3225	Pass
5	27511	8.483	5.676	7.08	0.86	1.4	3.038	2.591	42.7	85.2644	Pass
6	27051	9.047	4.123	6.585	1.5085	-8	3.821	2.873	40.9	98.3266	Pass
7	28763	11.624	3.932	7.778	2.3555	-0.9	4.322	2.987	40	102.8311	Pass
8	27733	12.592	4.381	8.487	2.5143	-1	4.343	2.982	39.1	102.8122	Pass
9	27524	10.861	5.686	8.273	1.5852	-1.3	3.76	2.865	40.9	97.0992	Pass
10	27504	9.329	6.891	8.11	0.7468	-1.3	3.475	2.841	41.8	95.0427	Pass
11	27586	7.822	8.427	8.125	-0.1855	-1.4	3.26	2.756	40.9	92.0932	Pass
12	28451	6.411	9.645	8.028	-0.9908	0	3.521	2.879	40.9	96.467	Pass
13	26074	9.628	3.105	6.366	1.998	0	4.434	2.75	40.9	96.3044	Pass
14	29464	9.91	4.234	7.072	1.7383	-2.5	3.993	2.855	40.9	98.5118	Pass
15	28848	7.626	5.335	6.481	0.7019	-1	4.313	2.844	42.7	100.4871	Pass

2.6.4 En lastre – condición de llegada.

Tabla de resultados evaluación de las 15 averías para la condición 4.

Avería	$\Delta(t)$	T popa (m)	T proa (m)	T med (m)	Asiento (°)	Escora (°)	GM (m)	GZ max (m)	Rango GZ+(°)	E. Din 20° (m-grado)	Estatus Marpol
1	26985	8.162	5.185	6.673	0.9123	-1.8	3.859	2.897	42.7	3.862197	Pass
2	26203	8.937	5.163	7.05	1.1561	3.3	3.484	2.836	42.7	6.78871	Pass
3	26356	8.485	5.634	7.06	0.8733	4.4	3.408	2.819	42.7	7.753164	Pass
4	26320	7.855	6.069	6.962	0.5473	3.2	3.273	2.783	42.7	6.761094	Pass
5	26439	7.32	6.56	6.94	0.2329	3.5	3.245	2.555	42.7	6.517869	Pass
6	25978	7.785	5.136	6.46	0.8117	-6	3.843	2.757	41.8	0.399992	Pass

7	27690	10.711	4.406	7.559	1.9311	-1	4.433	3.078	40	5.424158	Pass
8	26662	11.816	4.823	8.319	2.1418	-1	4.438	3.103	40	5.385428	Pass
9	26452	9.978	6.223	8.101	1.1502	-1.4	3.855	2.968	40.9	4.556296	Pass
10	26431	8.336	7.59	7.963	1.3022	-1.3	3.641	2.924	41.8	4.252199	Pass
11	26514	6.587	9.526	8.056	-0.9006	-1.4	3.492	2.812	40.9	4.005299	Pass
12	27378	4.764	11.254	8.009	-1.9877	0	3.852	2.972	40.9	5.592676	Pass
13	25001	8.443	3.937	6.19	1.3803	0	4.621	2.799	41.8	6.720252	Pass
14	28925	10.491	3.996	7.244	1.9895	-0.8	4.004	2.821	40.9	4.918835	Pass
15	28846	7.637	5.327	6.482	0.7076	-1	4.314	2.842	41.8	5.265297	Pass

2.6.5 Condiciones de lastre IMO.

Tabla de resultados evaluación de las 15 averías para la condición 5.

Avería	Δ (t)	T popa (m)	T proa (m)	T med (m)	Asiento (°)	Escora (°)	GM (m)	GZ max (m)	Rango GZ+(°)	E. Din 20° (m-grado)	Estatus Marpol
1	30255	9.857	5.278	7.567	1.4028	7.8	6.294	4.107	48.2	24.5451	Pass
2	30252	10.859	5.59	8.225	1.6141	14	6.761	3.585	49.1	27.1479	Pass
3	30255	9.412	6.866	8.139	0.7799	14.3	6.563	3.638	50	26.8969	Pass
4	30256	7.966	8.19	8.078	-0.0685	14.5	6.399	3.545	50.9	26.1297	Pass
5	30255	6.378	9.773	8.076	-1.04	15.3	6.333	3.312	51.8	25.0606	Pass
6	30252	4.737	11.241	7.989	-1.9919	14.5	6.166	3.097	50.9	22.7061	Pass
7	30255	11.434	4.854	8.144	2.0154	0	6.67	4.76	45.5	24.1092	Pass
8	30255	12.974	5.461	9.217	2.3007	0	6.564	4.59	44.5	23.6466	Pass
9	30255	10.748	7.39	9.069	1.0286	0	5.841	4.429	45.5	21.2066	Pass
10	30256	8.467	9.487	8.977	-0.3122	0	5.583	4.338	45.5	20.2779	Pass
11	30255	5.776	12.594	9.185	-2.0881	0	5.621	4.221	46.4	20.34	Pass
12	30255	3.297	14.533	8.915	-3.4384	0	6.232	4.477	46.4	22.5081	Pass
13	30257	4.89	10.389	7.64	-1.6844	0	5.626	4.326	46.4	20.4111	Pass
14	30255	10.287	4.685	7.486	1.716	0.3	6.267	4.518	46.4	22.6555	Pass
15	30255	7.541	5.953	6.747	0.4866	0	6.492	4.569	47.3	23.5433	Pass

2.6.6 En lastre – condición de salida con mal tiempo.

Tabla de resultados evaluación de las 15 averías para la condición 6.

Avería	Δ (t)	T popa (m)	T proa (m)	T med (m)	Asiento (°)	Escora (°)	GM (m)	GZ max (m)	Rango GZ+(°)	E. Din 20° (m-grado)	Estatus Marpol
1	28133	7.89	5.894	6.892	0.6116	-0.8	6.174	4.782	47.3	23.894616	Pass
2	27310	8.579	5.879	7.229	0.8271	2.1	5.654	4.524	47.3	21.1113	Pass
3	27470	8.214	6.315	7.264	0.5817	3.2	5.492	4.415	47.3	21.133	Pass
4	27431	7.624	6.783	7.204	0.2577	3	5.412	4.343	47.3	20.5276	Pass
5	27557	7.061	7.341	7.201	-0.0861	3.3	5.41	4.118	48.2	19.8063	Pass
6	26636	7.64	5.718	6.679	0.589	-3.5	6.18	4.549	46.4	27.519781	Pass
7	28875	10.447	5.115	7.781	1.6331	0	6.415	4.566	44.5	23.3229	Pass
8	27791	11.611	5.507	8.559	1.8696	0	6.09	4.307	43.6	22.1055	Pass
9	27570	9.797	6.932	8.365	0.8779	0	5.446	4.105	44.5	19.9477	Pass
10	27548	8.134	8.384	8.259	-0.0769	0	5.257	4.034	44.5	19.2542	Pass
11	27637	6.269	10.536	8.402	-1.307	0	5.22	3.955	44.5	19.0279	Pass

12	28110	4.609	11.846	8.227	-2.2163	0	5.859	4.359	44.5	21.2425	Pass
13	25608	8.396	4.284	6.34	1.2597	0	7.218	4.786	48.2	26.1807	Pass
14	30255	10.287	4.685	7.486	1.716	0.3	6.267	4.518	46.4	22.6555	Pass
15	30255	7.541	5.953	6.747	0.4866	0	6.492	4.569	47.3	23.5433	Pass

2.6.7 En lastre – condición de llegada con mal tiempo.

Tabla de resultados evaluación de las 15 averías para la condición 7.

Avería	Δ (t)	T popa (m)	T proa (m)	T med (m)	Asiento (°)	Escora (°)	GM (m)	GZ max (m)	Rango	E. Din 20° (m-grado)	Estatus
1	37058	10.132	7.783	8.958	0.7195	9.2	4.879	3.353	46.4	20.1253	Pass
2	37057	11.255	8.16	9.708	0.9479	16.4	5.651	2.725	48.2	23.6211	Pass
3	37056	9.724	9.63	9.677	0.029	17	5.626	2.717	49.1	23.7292	Pass
4	37056	8.081	11.277	9.679	-0.9793	17.8	5.603	2.572	50.9	22.561	Pass
5	37056	6.115	13.37	9.743	-2.2219	19.2	5.705	2.29	51.8	20.6388	Pass
6	37055	3.785	15.664	9.724	-3.6346	19.4	5.62	2.136	52.7	19.6775	Pass
7	37055	11.766	7.356	9.561	1.351	0	5.132	4.003	43.6	18.637	Pass
8	37055	13.52	8.045	10.782	1.6769	0	5.253	3.718	43.6	19.0041	Pass
9	37056	11.229	10.253	10.741	0.2991	0	4.772	3.53	44.5	17.3093	Pass
10	37055	8.702	12.825	10.764	-1.2629	0	4.658	3.42	45.5	16.9629	Pass
11	37054	5.519	16.661	11.09	-3.4098	0	4.948	3.243	45.5	17.6142	Pass
12	37053	2.473	19.051	10.762	-5.0662	0	5.568	3.16	46.4	18.6187	Pass
13	37054	3.841	14.83	9.336	-3.363	0	4.445	3.474	46.4	16.1764	Pass
14	37055	10.543	7.151	8.847	1.0391	0.3	4.645	3.831	44.5	16.9399	Pass
15	37057	7.598	8.511	8.054	-0.2797	0	4.808	3.948	45.5	17.5376	Pass

2.7 Fuentes de información.

ALVARIÑO, R. C. (1997). *EL PROYECTO BÁSICO DEL BUQUE MERCANTE*. MADRID: FONDO EDITORIAL DE INGENIERIA NAVAL.

Benitez, A. (Septiembre de 2020). Lineamiento de instrumentación de generación del diseño del proceso de diseño V1.0. México.

Bhattacharyya, R. (1972). *Dynamic of Marine Vehicles*. New York: Jhon Wiley and Sons.

Cudina, P. (2008). *Design Procedure and Matematical Models in the concept design of Tankers and Bulk Carriers*. BRODOGRADNJA.

DNV. (2013). *Part 3 Ch 1 Hull structural Design Ships with length 100 meters and above*. Norway: Det Norske Veritas.

IACS. (2021). *Common Structural Rules for Tankers*. IACS.

IMO. (2028). *SOLAS 2018 Consolidated Edition*.

Ivanov, L. D. (2007). *An approximate analytical method for calculation of the still water bending moments*. JME.

Kristensen, H. O. (2012). *Determination of Regression Formulas for Main Dimensions of Tankers and Bulk Carriers*. Denmark: DTU.

Kupras, L. K. (1978). *PRELIMINARY SHIP DESIGN WITH INTERACTIVE GRAPHICAL AIDS*. TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT.

KUPRAS, L. K. (1983). *Computer methods in preliminary ship design*. Delft University Press.

Lamb, T. (2004). *Ship Design and Construction Vol. 1&2*. Jersey City: SNAME.

Lewis, E. V. (1988). *PNA Vol I Stability & Strength*. Jersey City: SNAME.

M, W. D. (1998). *Practical Ship Design Vol I*. London: Elsevier.

Munro-Smith, R. (1973). *Ships and Naval Architecture*. London: Marine Media Management Limited.

Papanikolaou, A. (2014). *Ship Design Methodologies for Preliminary Design*. New York: Springer.

Prabu, C. S. (2020). *STUDY ON THE LIGHTSHIP CHARACTERISTICS OF MERCHANT SHIPS*.
Brodogradnja: CrossMark.

Ramón, J. A. (s.f.). *Proyecto 1731 Petrolero de crudo de 150000 TPM*.