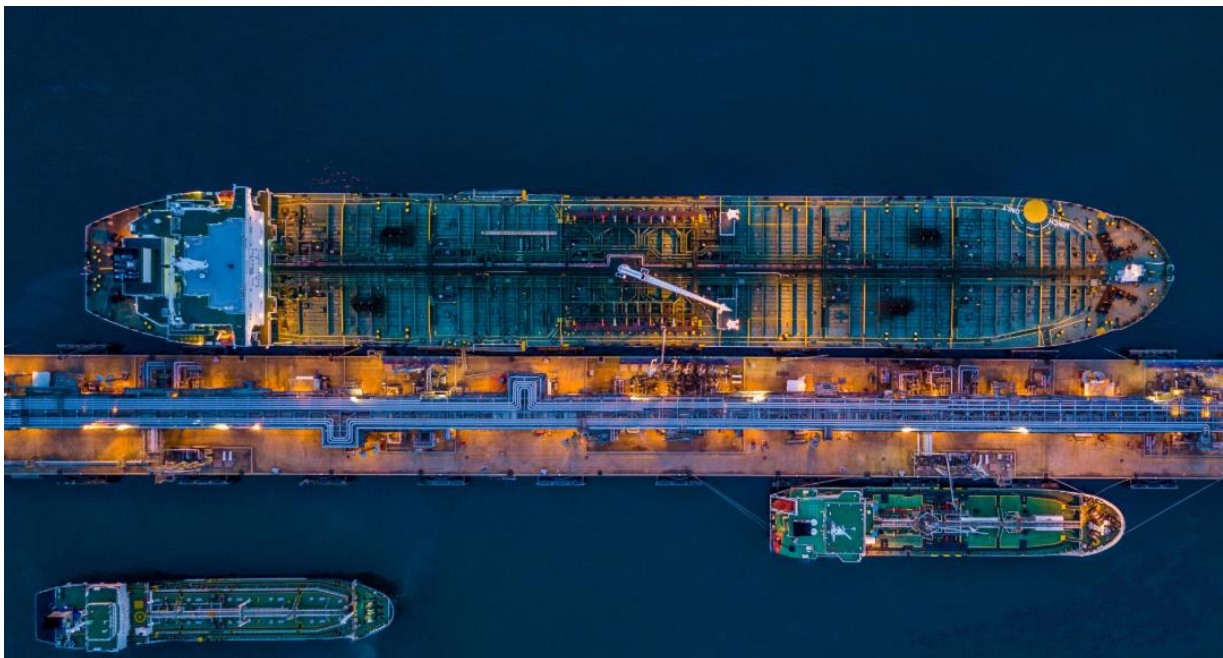


TITULACIÓN INTEGRAL EN INGENIERÍA NAVAL

DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60000 TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO, DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.



ASESOR:

I.N., L.A.E. ANTONIO RUBÉN BENÍTEZ GASCA

ESTUDIANTE:

SARAH ARCE J.

PROGRAMA EDUCATIVO EN INGENIERÍA NAVAL
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
ESPECIFICACIÓN DE PROYECTO

ASESOR: ANTONIO R. BENÍTEZ GASCA	PROYECTO NO.: IN-05
PLAN DE ESTUDIOS	INAV-2010-230
TITULACIÓN INTEGRAL	DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60000 TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO, DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.

TIPO DE EMBARCACIÓN	Embarcación tipo tanker de petróleo crudo doble casco
NORMATIVA Y REGULACIONES	Sociedad de Clasificación ABS, regulaciones USA. Cumplimiento de normativa aplicable vigente en reglas, regulaciones y convenios para su diseño, construcción y operación.
PESO MUERTO	60,000 toneladas.
PROPULSIÓN Y VELOCIDAD	Planta de propulsión diésel marino MAN 2T baja velocidad directamente acoplada a hélice de paso fijo, velocidad promedio de diseño de 14.5 nudos (90% MCR, 15% margen de mar).
AUTONOMÍA Y CAPACIDAD	Capacidad de carga de 75000 m ³ .
HABILITACIÓN	26 tripulantes en cabinas individuales con baño propio, más una cabina doble de reserva con baño privado.
OTROS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS	Capacidad máxima de descarga en 24 horas
REQUERIMIENTOS ECONÓMICOS DEL PROYECTO	TREMA después de impuestos del 12%, tasa de impuesto del 40% anual, valor de salvamento del 5% del precio de adquisición considerando dólares corrientes USA.
LÍNEA DE NEGOCIO Y RUTA COMERCIAL	Transporte de petróleo crudo desde Dos Bocas hasta la refinería de Exxon Mobil en Bayton, Houston Texas.

CONTEXTO DEL PROYECTO Se parte de la suposición de que una empresa naviera está en el negocio del transporte del petróleo y que tiene una flota de embarcaciones operando en el Golfo de México entre puertos de México y de Estados Unidos. La naviera va a reemplazar uno de sus crude oil tanker más antiguos mediante el modo de adquisición de compra directa de un tanker de nueva construcción para un periodo proyectado de vida económica de 20 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. El reemplazo va a operar entre el puerto de Dos Bocas, en Tabasco, transportando crudo tipo Maya, hacia la terminal de la refinería de Exxon Mobil de Baytown, en Houston, Texas. 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 impuesto del 40% anual y, un valor de salvamento de 5% del precio de adquisición, considerando dólares corrientes (USA).

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....1-1

1.1 DEFINICIÓN DEL TIPO DE EMBARCACIÓN	1-2
1.2 CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE EMBARCACIÓN	1-2
1.3 RUTA COMERCIAL	1-3
1.4 PUERTOS	1-3
1.5 CARGA A TRANSPORTAR	1-5
1.6 CONFIGURACIÓN GENERAL DE LA EMBARCACIÓN	1-6
1.7. CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA Y ESTRUCTURAL DE LA EMBARCACIÓN	1-8
1.8 REGLAS Y REGULACIONES	1-10
1.9 EVALUACIÓN DEL MERCADO	1-11
1.10 REFERENCIAS	1-18

CAPÍTULO 2 DISEÑO PARAMÉTRICO DEL DIMENSIONAMIENTO.....2-1

2.1 INTRODUCCIÓN	2-2
2.2 BASE DE DATOS DE EMBARCACIONES SIMILARES	2-2
2.3 PRIMERA ESTIMACIÓN DE LAS DIMENSIONES	2-3
2.4 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS	2-4
2.5 MEDIDAS DE MÉRITO Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ÓPTIMA	2-10
2.6 VIABILIDAD TÉCNICA DEL COEFICIENTE DE BLOCK, FRANCOBORDO Y ESTABILIDAD INICIAL	2-29
2.7 REFERENCIAS	2-31

CAPÍTULO 3 LÍNEAS DE FORMA DEL CASCO3-1

3.1 INTRODUCCIÓN	3-2
3.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE LAS FORMAS DEL CASCO.....	3-3
3.3 OBTENCIÓN DE LAS FORMAS DEFINITIVAS	3-15
3.4 DIMENSIONES Y COEFICIENTES DE FORMA REQUERIDOS.....	3-20
3.5 DIBUJOS DE LÍNEAS DE FORMA DEL CASCO Y CURVAS $A/A_{MÁX}$ Y $B/B_{MÁX}$	3-20
3.6 REFERENCIAS	3-22

CAPÍTULO 4 DISPOSICIÓN GENERAL.....4-1

4.1 INTRODUCCIÓN	4-2
4.2 DIMENSIONES PRINCIPALES	4-4

4.3 COMPARTIMENTACIÓN.....	4-5
4.4 CÁMARA DE MAQUINAS.....	4-9
4.5 HABILITACIÓN	4-11
4.6 OTROS ESPACIOS	4-13
4.7 TRIPULACIÓN	4-14
4.8 PLANOS.....	4-16
4.9 REFERENCIAS.....	4-17

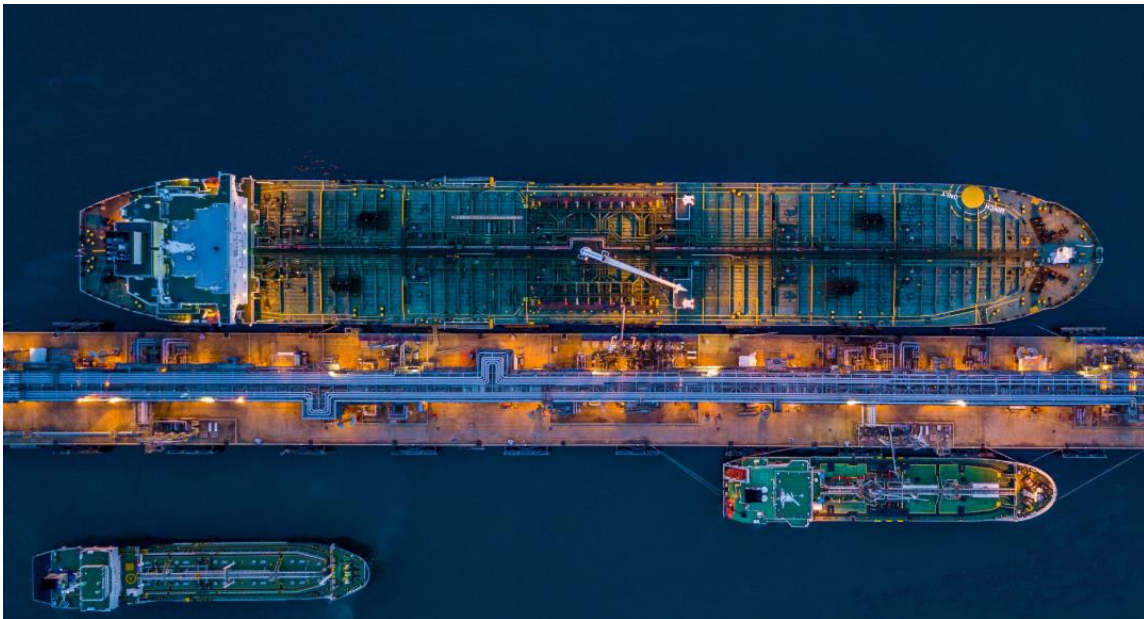
CAPÍTULO 5 CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL5-1

5.1 INTRODUCCIÓN	5-2
5.2 TABLA DE CARACTERÍSTICAS HIDROSTÁTICAS.....	5-2
5.3 CURVAS DE BONJEAN	5-7
5.4 CURVAS CRUZADAS DE ESTABILIDAD (CARENAS INCLINADAS)	5-8
5.5 TANQUES.....	5-13
5.6 FRANCOBORDO	5-18
5.7 ARQUEO	5-20
5.8 PLANOS DE TANQUES	5-23
5.9 REFERENCIAS.....	5-24



TITULACIÓN INTEGRAL EN INGENIERÍA NAVAL
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60000 TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO, DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.



CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

PROYECTO No.:
ASESOR:
ESTUDIANTE:

IN-05
ANTONIO RUBÉN BENÍTEZ GASCA
SARAH ARCE J.



1.1 DEFINICIÓN DEL TIPO DE EMBARCACIÓN

Un buque tipo crude oil tanker lo define Lamb como una embarcación construida o adaptada para transportar principalmente petróleo, también se consideran otros tanqueros cuando estos están transportando petróleo. Los petroleros requieren en la actualidad, debido a regulaciones de MARPOL, que cuenten con un doble fondo y doble casco, lo cual será una consideración en el diseño de esta embarcación.

1.2 CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE EMBARCACIÓN

Los petroleros abarcan un amplio rango de tamaños por lo cual es útil clasificarlos en grupos según su peso muerto y dimensiones de casco. A continuación se presenta una tabla con las características principales de los tanqueros, dicha información es extraída de la referencia [1].

TIPO DE TANQUERO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
Coastal Tanker	Hasta 16,500 DWT Rutas cortas
General purpose tanker	16,500 DWT – 25,000 DWT Rutas medianamente cortas
Handy Size Tanker	25,000 DWT – 30,000 DWT Su tamaño les permite entrar a puertos de menores dimensiones
Panamax	55,000 DWT – 80,000 DWT Su nombre se debe a que están diseñados a navegar por el Canal de Panamá
Aframax	75,000S DWT – 120,000 DWT Su nombre viene del acrónimo <i>Avarege Freight Rate Assesment</i>
Suezmax	120,000 DWT – 200,000 DWT Su nombre se debe a que están diseñados a navegas por el Canal de Suez.
VLCC	200,000 DWT – 320,000 DWT Generalmente trabajan en terminales de mar adentro
ULCC	Desde 320,000 DWT Su navegación se encuentra restringida principalmente por sus grandes calados

Tabla 1-1 Clasificación del tipo de embarcación. ^[1]



1.3 RUTA COMERCIAL

El tanquero navegará una ruta de 827 millas náuticas entre los puertos de Dos Bocas y Houston. Partirá de Dos Bocas a plena carga con los tanques de combustible llenos y llegará a Houston con la mitad de combustible. En Houston se descarga el crudo y se toma lastre para regresar a Dos Bocas. Contará con 6 días y medio de autonomía a una velocidad de 14.5 nudos.

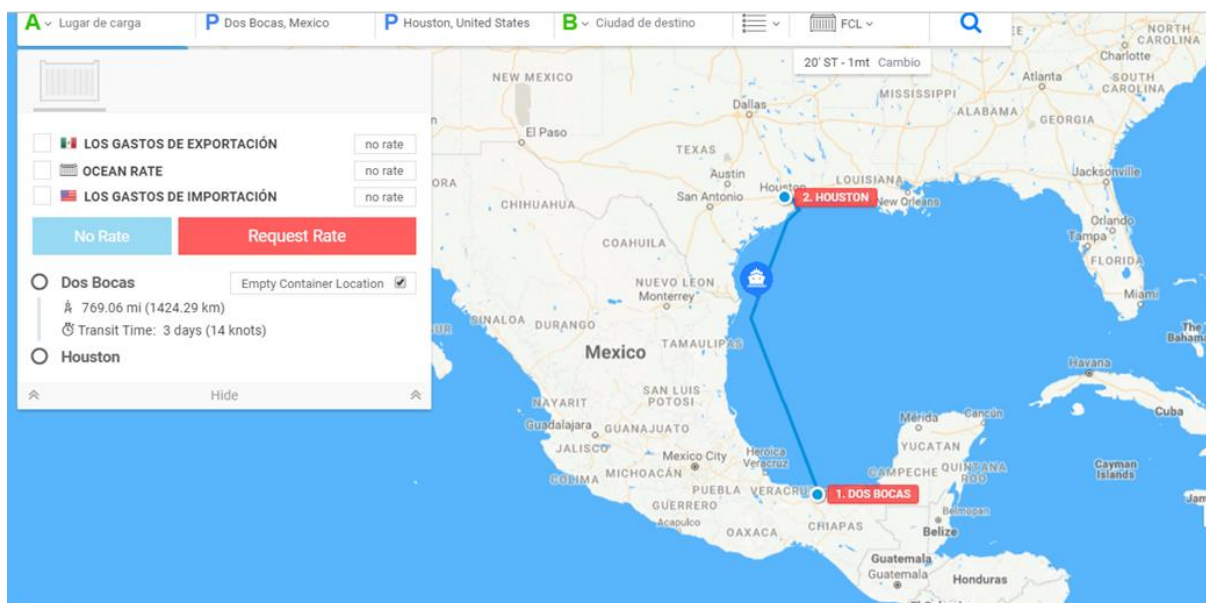


Fig. 1-1 Ruta marítima. [2]

1.4 PUERTOS

DOS BOCAS es un puerto petrolero, industrial, comercial e internacional, localizado en el estado de Tabasco. Uno de los aspectos más importantes en movimientos de carga comercial e industrial en el Puerto de Dos Bocas, lo constituye la ruta regular Houston-Dos Bocas, facilitando el manejo de distintos tipos de carga en un buque multipropósito con una frecuencia establecida. A continuación se presenta una tabla con las características principales del puerto de Dos Bocas, Tabasco.

Áreas de Navegación	Canal de Acceso Profundidad: 36 ft.
	Longitud: 2,100 m.
	Ancho de plantilla: 100 m.
	Dársena de Ciaboga: 380 m.
	Profundidad: 36 ft.



Capacidad de recepción	Calado: 32 ft.
	Longitud: 300 m.
	Posiciones de atraque: 4
	Capacidad del muelle: 4 ton/m ²
	Eslora máxima buques: 230 m.
	Eslora máxima cruceros: 300 m.
	Muelle comercial: 250 m. en construcción.
Terminales Especializadas	Terminal de Usos Múltiples.
	Terminal de Abastecimiento de petróleo y sus derivados.
	Terminal de Fabricación y Mantenimiento de Embarcaciones.
	Terminal de Fabricación y Mantenimiento de Plataformas.
	Terminal Comercial y Turística.
	Instalación de Asfalto.
	Instalación de Suministro de Combustible.
	Planta de Fluidos de perforación.
	Bodega Laboratorio de químicos.
	Planta de Nitrógeno
Áreas de Patios	Área pavimentada: 30,000 m ² .
	Área en Desarrollo: 110,000 m ² .
	Parque Industrial: 700,000 m ² .
Manejo de carga	Contenerizada Seca y Refrigerada.
	Carga General.
	Tubería de Perforación.
	Piezas Sobredimensionadas.

Tabla 1-2 Especificaciones del puerto de Dos Bocas, Tabasco. ^[4]

De acuerdo con la página oficial de ExxonMobil, hoy en día, ExxonMobil Baytown es uno de los complejos de refinación y petroquímicos más grandes integrados y más avanzados tecnológicamente en el mundo.

El complejo está ubicado en aproximadamente 13.76 km² (3.400 acres) a lo largo del Houston Ship Channel. La Refinería tiene la capacidad de procesar hasta 584,000 barriles de petróleo crudo por día.



La mayoría del petróleo crudo para la Refinería es suministrado por buques tanque del Golfo Pérsico, África, América del Sur y México, que complementan el crudo de tuberías de Texas y Louisiana. La capacidad bruta es actualmente de 573,000 barriles por día, lo que la convierte en la refinería más grande de los Estados Unidos. [5]

1.5 CARGA A TRANSPORTAR

El petróleo se refiere a los recursos naturales no renovables. Está formado principalmente por hidrocarburos, que son compuestos de hidrógeno y carbono, en su mayoría parafinas, naftenos y aromáticos. Junto con cantidades variables de derivados saturados homólogos del metano (CH_4). El petróleo líquido puede presentarse asociado a capas de gas natural, en yacimientos que han estado enterrados durante millones de años, cubiertos por los estratos superiores de la corteza terrestre. Son hidrocarburos pesados, los cuales son compuestos orgánicos, que se obtienen de la extracción de la perforación de pozos.

La industria petrolera clasifica el petróleo crudo según su lugar de origen y también con base a su densidad o gravedad API (ligero, medio, pesado, extra pesado); los refinadores también lo clasifican como “crudo dulce”, que significa que contiene relativamente poco azufre, o “ácido”, que contiene mayores cantidades de azufre y, por lo tanto, se necesitarán más operaciones de refinamiento para cumplir las especificaciones actuales de los productos refinados.

Crudo liviano o ligero: tiene gravedades API mayores a 31.1 °API

Crudo medio o mediano: tiene gravedades API entre 22.3 y 31.1 °API.

Crudo pesado: tiene gravedades API entre 10 y 22.3 °API.

Crudo extra pesado: gravedades API menores a 10 °API

Petróleos Mexicanos maneja 4 diferentes tipos de crudo, aquí se muestran sus características principales:

Tipo de Crudo	Características
Altamira	Gravedad °API: 15.0-16.5 Viscosidad (SSU 100°F) 257.6-381.6 Agua (100% Vol) 1 Azufre (% peso) 5.5-6.0 PVR (libras/pulg ²) 3 Punto de escurrimiento (°F) 32 Sal (Lbs/1000Bls) 100



Istmo	Gravedad °API: 32.0-33.0 Viscosidad (SSU 100°F) 60.00 Agua (100% Vol) 0.5 Azufre (% peso) 1.8 PVR (libras/pulg ²) 6 Punto de escurrimiento (°F) -35 Sal (Lbs/1000Bls) 50
Maya	Gravedad °API: 21.0-22.0 Viscosidad (SSU 100°F) 320.00 Agua (100% Vol) 0.5 Azufre (% peso) 3.4 PVR (libras/pulg ²) 6 Punto de escurrimiento (°F) -25 Sal (Lbs/1000Bls) 50
Olmeca	Gravedad °API: 38.0-39.0 Viscosidad (SSU 100°F) 38.00 Agua (100% Vol) 0.5 Azufre (% peso) 0.73-0.95 PVR (libras/pulg ²) 6.2 Punto de escurrimiento (°F) -55 Sal (Lbs/1000Bls) 50

Tabla 1-3 Tipos de crudo y sus características. ^[11]

1.6 CONFIGURACIÓN GENERAL DE LA EMBARCACIÓN

Con base a la información manifestada en el capítulo 29 de Lamb [12], el funcionamiento óptimo de un petrolero depende de una serie de sistemas trabajando en conjunto de manera harmónica. Esto significa que en el caso de falla de alguno de estos sistemas puede deteriorar gravemente la efectividad de todo conjunto, es decir el buque.

Los sistemas relacionados con el manejo de carga incluyen tanques de carga, tuberías de carga, medidores de niveles de tanques, calefactores de tanques, sistemas de limpieza de tanques, gas inerte y ventilación de los tanques de carga. Los tanques de carga se sitúan en la eslora de carga y deberán de estar protegidos en toda su longitud y anchura por tanques de lastre o espacios que no sean de carga, en pocas palabras, deberán tener un doble casco, dicho espacio se extiende desde el mamparo de colisión en proa hasta los tanques de decantación. La regulación establece lo antes mencionado, ya que el doble casco provee de protección a dichos tanques en caso de varada o colisión previendo posibles derrames.



Para embarcaciones con un arreglo convencional de tuberías de carga un cuarto de bombas se sitúa entre los tanques y el cuarto de máquinas con un acceso a la cubierta principal. Debido a las tendencias a minimizar el número de operadores se ha optado cada vez más por la automatización de sistemas de carga y de lastre. Esto permite que los tanqueros modernos estén normalmente configurados con sistemas de operación y monitoreo remotos. El cuarto de control de carga debe de contar con una línea visual directa con la zona de servicio de carga por lo cual este normalmente se encuentra en la popa de la superestructura ya sea una o dos cubiertas arriba de la cubierta principal.

En el cuarto de bombas se encuentra las bombas de carga y lastre, así como las bombas de achique, de lavado de crudo y el calentador de crudo. Este cuarto presenta diversos riesgos y por lo tanto se deben tomar precauciones para mitigar los riesgos asociados con el manejo de sustancias inflamables. Adyacente al cuarto de bombas se encuentran los tanques de decantación.

El petróleo se carga a través de un sistema de brazos de carga y mangueras en la zona de servicio de carga mediante gravedad a los tanques de carga. Para la descarga se utilizan las bombas de carga que llevan el petróleo hasta el colector en la zona de servicio de carga. [12]

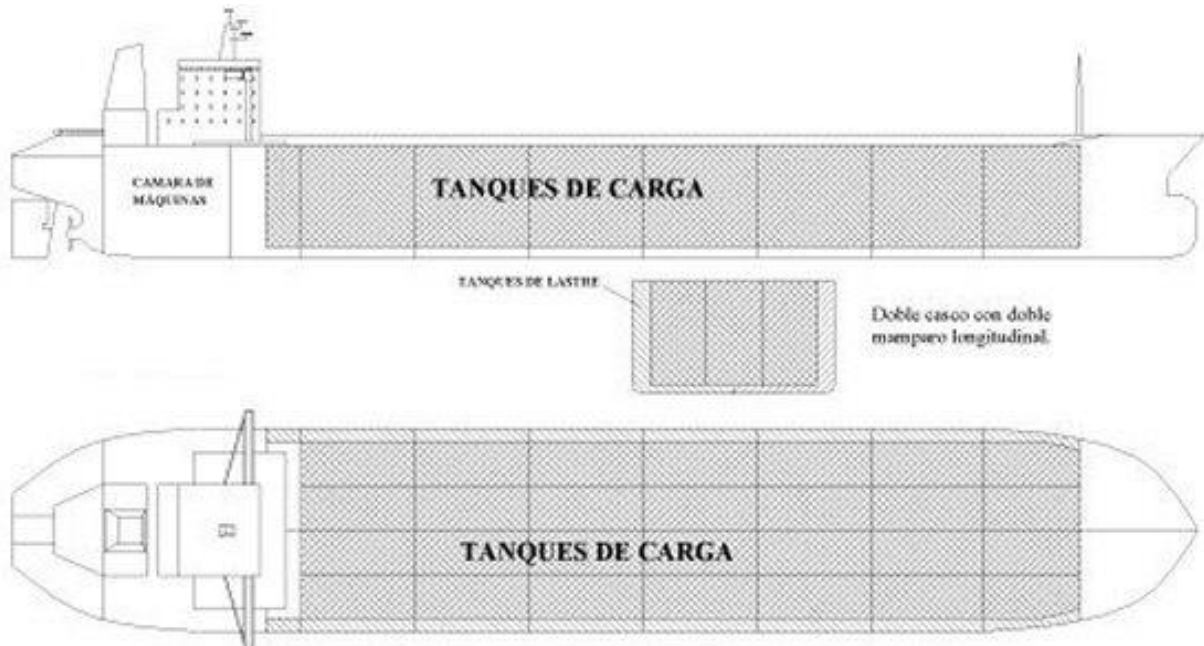


Fig. 1-2 Configuración típica de un petrolero con doble casco, doble fondo y dos mamparos longitudinales en el espacio de carga. [6]



1.7. CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA Y ESTRUCTURAL DE LA EMBARCACIÓN

Todos los petroleros cuentan con características similares sin importar su tamaño. Su distribución general es aproximadamente la misma. Cuentan con una cubierta principal continua la cual, dependiendo de que las necesidades del armador así lo ameriten, es adicionada con un castillo de proa.

La distribución típica de la zona de carga de un buque petrolero tipo Panamax frecuentemente, por razones de estabilidad, divide los tanques de carga con un mamparo longitudinal. Hoy en día, todos los tanqueros nuevos que se producen tienen doble casco como lo indican los lineamientos de la OMI. El espacio que queda debido al doble casco se utiliza normalmente como tanques de lastre que corren a lo largo de la eslora de carga. La superficie de dichos tanques deberá ir recubierta de un esquema de pintura de protección “ad hoc”. La principal idea bajo esta medida es, si el esquema de protección falla, la corrosión puede provocar fisuras en la estructura. Y en caso de que llegase a ser así, la superficie interfaz de los tanques de carga y doble fondo, producirían escapes de gases de los hidrocarburos a espacios confinados, en los que, con suficiente aire podrían generar una atmósfera explosiva. La capacidad adicional de lastre separado que haya que prever para reducir los esfuerzos flectores longitudinales en la viga-buque, controlar el asiento, etc., podría distribuirse por cualquier lugar del buque.

La eslora de carga se divide en 6 tanques de carga a babor y 6 más a estribor. Adicionalmente se incorporan 2 tanques de decantación (slop) a popa de los de carga. Sobre la eslora de carga, cerca o sobre la sección media del buque se encuentra la zona de servicio de carga. También a popa de los tanques de carga se encuentra la cámara de bombas. El cuarto de máquinas se instala en popa debido a que de esta manera se reduce la distancia entre la hélice y la máquina propulsora.

La superestructura se divide en dos partes de tal manera que se separen las partes generadoras de calor, ruido y vibraciones de las partes habitacionales. A popa se instalan los guarda-calores y chimenea mientras que en proa se ubican los alojamientos y el puente que suele extenderse sobre los costados de la superestructura para facilitar la visibilidad durante maniobras de atraque. ^[7]

La información antes expresada se extrajo de Alvareño [7], como así mismo la Fig. 1-3.



DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60,000 TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO, DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.

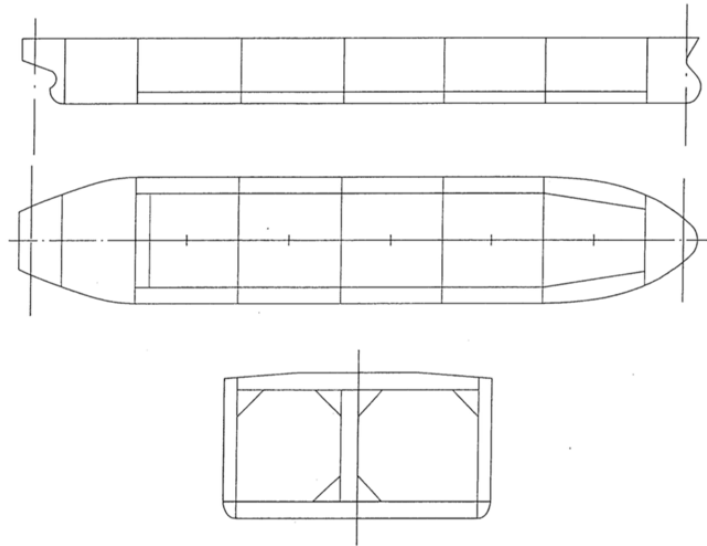


Fig. 1-3 Disposición general de un petrolero con doble casco y un mamparo longitudinal central. [7]

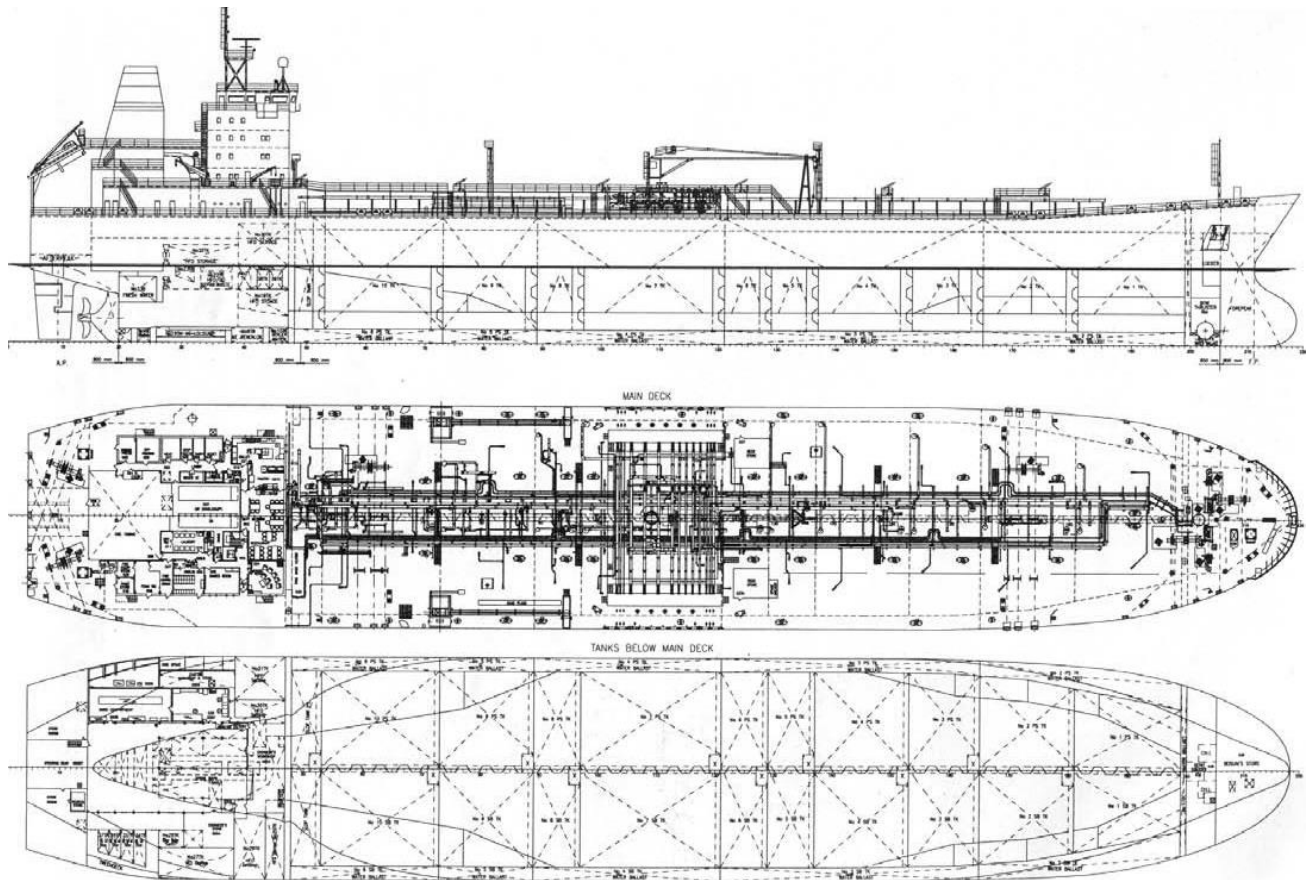


Fig. 1-4 Disposición general del M/T HELIX. [3]



1.8 REGLAS Y REGULACIONES

Para poder entender un poco acerca de las regulaciones y reglas implementadas, la página oficial de la IMO se remonta a describir el cómo y el por qué se tomaron determinadas decisiones, debe subrayarse que existen distintos segmentos a los que hace alusión, por ejemplo al Comité de Protección del Medio Marino (MEPC, por sus siglas en inglés), dichas fuentes de información se manifiestan al final de sus respectivos párrafos, enlistadas en las referencias como [13] y [14], dicho lo anterior, se procede a dar una breve introducción de cómo surgió la implementación ya mencionada.

Durante el siglo XX la contaminación del mar por hidrocarburos fue una evidencia oportuna de que los derrames de petróleo no eran infrecuentes, con el mayor derrame de petróleo marino en la historia, el Exxon Valdez llevó a uno de los cambios más importantes que se realizarían en el Anexo I de la Convención desde la adopción del Protocolo de 1978.

Los Estados Unidos introdujeron su Ley de contaminación por hidrocarburos de 1990 (OPA 90), por lo que es obligatorio que todos los petroleros que visiten los puertos de Estados Unidos tengan doble casco, EE.UU. también acudió a la OMI, pidiendo esta vez que los cascos dobles se conviertan en un requisito obligatorio de MARPOL.

Como en ocasiones anteriores, hubo una cierta resistencia por parte de la industria petrolera para que los dobles cascos se hicieran obligatorios, debido, principalmente al costo de reacondicionamiento de los petroleros existentes.

Al mismo tiempo, varios de los Estados miembros de la OMI dijeron que otros diseños deberían aceptarse como equivalentes y que también deberían contemplarse medidas para los buques existentes.

En 1991, la OMI llevó a cabo un importante estudio sobre los resultados comparativos de los diseños de los buques tanque de cubierta de doble y media altura, con fondos de la industria petrolera. En enero de 1992, llegó a la conclusión de que los dos diseños podrían considerarse equivalentes, aunque cada uno ofrece un rendimiento de flujo de salida mejor o peor en ciertas condiciones.

Eventualmente, el Comité de protección del medio marino (MEPC) acordó hacer dobles cascos obligatorios o diseños alternativos "siempre que tales métodos asegurasen el mismo nivel de protección contra la contaminación en caso de una colisión o varada". Estos métodos de diseño deben ser aprobados por el MEPC. ^[13]



El Comité de protección del medio marino (MEPC) aborda cuestiones ambientales dentro del ámbito de competencias de la OMI, especialmente aquellas recogidas dentro del Convenio MARPOL. Es decir, se ocupa del control y prevención de la contaminación causada por los buques, incluidos los hidrocarburos, los productos químicos transportados a granel, las aguas sucias, la basura y las emisiones procedentes de los buques, como la contaminación atmosférica y las emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, también se ocupa de otros asuntos como la gestión del agua de lastre, los sistemas anti-incrustantes, el reciclaje de buques, la preparación y lucha contra la contaminación y la identificación de zonas especiales y de zonas marinas especialmente sensibles.^[14]

Dada la breve introducción al organismo regulador de embarcaciones para el transporte de productos petroquímicos, el presente proyecto está basado en las siguientes normas y regulaciones que corresponden al tipo de embarcación ya antes mencionado:

1. Organización Marítima Internacional. (2002). Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas.
2. Organización Marítima Internacional. (1974). Convenio Internacional para la seguridad de la vida humana en el mar. Londres.
3. International Association of Classification Societies. (2012). Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers.
4. Steel Vessels Rules publicado por American Bureau of Shipping, ABS, (2016).
5. Reglamento para el Arqueo de Embarcaciones Mercantes (1988).
6. Convenio internacional sobre líneas de carga, 1966 y Protocolo de 1988, enmendado en 2003.
7. US Coast Guard.
8. Oil Pollution Act of 1990.

1.9 EVALUACIÓN DEL MERCADO

El análisis de esta sección se hizo con base en las siguientes fuentes: [8, 9, 10, 13, 14, 15 y 16], la información proporcionada es en un estudio del año 2018, salvo la referencia 15, dicha fuente es un trabajo de fin de grado que lleva por nombre “Análisis económico-financiero sector petrolero”. No obstante, solo es un pronóstico del mercado, sin más preámbulo se procede a la evaluación del mercado.

Debido a que el proyecto está enfocado en una embarcación tipo tanker, la evaluación de mercado se realizará con base a ese requerimiento.



Generalmente el petróleo se consume en países no productores, por lo que dichos países dependen de la importación de este, y por tanto, están principalmente sometidos a las variaciones de los precios que establezcan los otros mercados internacionales que resultan bastante inestables e imprevisibles.

Existen factores económicos que influyen en la variación de los precios del petróleo, esto sucede cuando se presenta un desajuste entre la oferta y la demanda, pudiendo presentarse en cada uno de los siguientes tres casos:

1. Subida del precio: la cantidad de crudo ofertada es insuficiente, es decir, la demanda de mercado es excesiva.
2. Bajada del precio: la oferta de crudo es superior a la demanda, por ello, el precio debe bajar.
3. Precio constante: se mantiene el precio del crudo debido a que la oferta y la demanda de crudo coinciden.

El precio del petróleo también varía por factores políticos, a pesar de que sea una variable económica. Las decisiones políticas, conflictos bélicos, conflictos sociales y sistemas financieros globales, son unas de las razones que impactan directamente las subidas o bajadas en su valía.

Al final, no es más que: *“un juego de intereses y de capacidad de influencia entre quienes se benefician y quienes se perjudican con su evolución”* (Mañé, 2015). Pues Las autoridades gubernamentales reciben altas recaudaciones por el impuesto tan fuerte que grava al petróleo. Por lo tanto no tienen incentivos económicos para reducir el consumo ni para invertir en energías renovables. ^[16]

Los precios del petróleo afectan de manera directa a los precios de las compañías petroleras. A su vez, dicho importe incide sobre el crecimiento de un país, la balanza de pagos, a grandes oscilaciones en los ciclos económicos, cambios en los precios internos. La correlación entre estos es negativa debido a que aumentos en el precio del petróleo hacen decrecer la economía del país.

Gran parte de productores de petróleo son países miembros de la OPEP (*Organización de Países Exportadores de Petróleo*). Por otra parte EEUU es un país independiente que produce y al mismo tiempo es el mayor consumidor. Otros productores de países independientes son Noruega, México, Reino Unido, Rusia. La OPEP influye notablemente en la producción de petróleo, decide si incrementarla o disminuirla. Controla alrededor del 43% de la producción mundial de petróleo, es decir casi la mitad de la misma. En cuanto a las reservas de petróleo controla casi la mayoría de ellas, aproximadamente un 80% de las reservas mundiales.



La OPEP es el resultado de una red de alianzas, a la que se denomina red de Monopolio Petrolero Internacional (MPI). Tratándose de una industria petrolera con integración vertical.

Esto es debido a que interviene en todas las fases necesarias del proceso de producción de crudo, desde la extracción de este en los yacimientos y refinerías, hasta el comercio del mismo.

A finales del mes de noviembre del 2016 la OPEP acordó reducir la producción en 1.2 millones de barriles/día a partir del mes enero de 2017. Los países reducirían su producción en torno a un 5%, a excepción de Irán que podía incrementar su producción debido a que requería recuperar sus niveles de producción y conseguir nuevos mercados. Sin embargo, dicho acuerdo no quedó limitado a los pertenecientes de la OPEP y logró otro acuerdo con países que no pertenecen a tal organización y fue después del 10 de diciembre del mismo año que se produjo un nuevo acuerdo con 11 países que no son integrantes, liderados por Rusia, donde se estableció que reducirían su producción en alrededor de 560 mil barriles/día, entre los países que firmaron tal acuerdo se encuentra México.

Cabe destacar que este acuerdo ha traído buenos resultados al precio de venta por barril para distintos países, ya que el suministro no perteneciente a la OPEP aumentó 2.6 mb/d, liderado por los EEUU. La producción fuera de la OPEP crecerá en 2 y 1.8 mb/d en 2018 y 2019 respectivamente.

El suministro de crudo de la OPEP subió a un máximo de nueve meses de 32.63 mb/d en agosto. Un repunte en Libia, cerca de la producción iraquí récord y los mayores volúmenes de Nigeria y Arabia Saudita superaron una reducción sustancial en Irán y una nueva caída en Venezuela.

Con base en las estimaciones de la IEA (International Energy Agency) de producción de agosto, los países de la OPEP tienen una capacidad de producción adicional de aproximadamente 2.7 mb/d, el 60% de los cuales se encuentra en Arabia Saudita. Pero el punto no es solo una cuestión del volumen, pues el doble déficit de suministro representado por Irán y Venezuela podría presentar un gran desafío para los productores para defenderse de los fuertes aumentos de precios y llenar la brecha, no solo en términos del número de barriles, sino también en términos de calidad del petróleo, se espera que las corridas récord de las refinerías generen un stock de crudo de 0.5 mb / d en el 4T18.

Las estimaciones globales de crecimiento de la demanda de petróleo para 2018 y 2019 se mantienen en 1.4 y 1.5 mb/d respectivamente. La demanda en China e India combinadas crecerán a 910 kb/d en 2018, pero el ritmo se ralentiza a 640 kb/d en 2019. Debe subrayarse que China aumentó sus importaciones en un 10% (volumen) en 2017, y gran parte de ellas fueron importaciones de largo

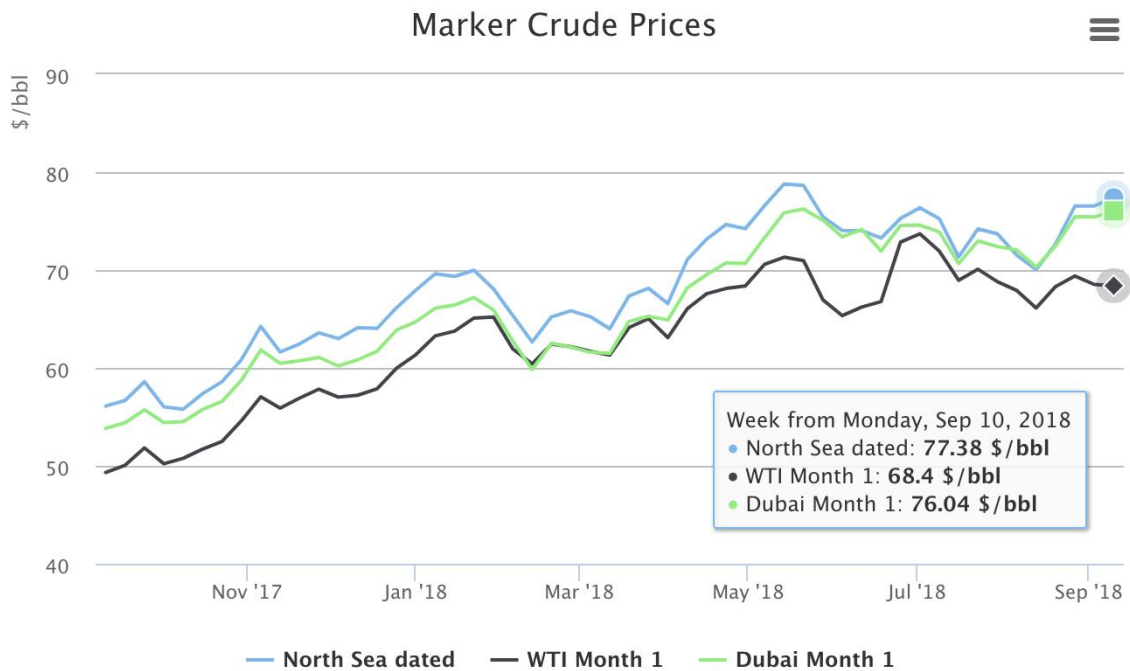


DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60,000 TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO, DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.

recorrido. Sin embargo, este impulso a la demanda no fue suficiente para que el mercado en general mejorara.

El refinado de Estados Unidos está en auge, con tiradas que casi alcanzan los 18 mb/d en agosto, mientras que la actividad latinoamericana continúa cayendo. Aun así, en 2018, se ven señales de una demanda más débil en algunos mercados, la demanda de gasolina está estancada en los EEUU. A medida que aumentan los precios, la demanda europea en el período mayo-julio estuvo constantemente por debajo de los niveles de hace un año y la demanda en Japón es lenta. Con forme se avance en el 2019, existe el riesgo para algunas economías emergentes, en parte esto se debe a la depreciación de la moneda frente al dólar de los Estados Unidos que aumenta el costo de la energía importada. Además, existe un riesgo de crecimiento debido a una escalada de disputas comerciales.

Oil Market Report



Marker Crude Prices

Fig. 1-5 Precios del crudo. ^[10]



Como puede apreciarse en la Fig. 1-5 en el mar del norte el precio del crudo está por encima de los demás y es por esta razón que BIMCO se sorprendió, ya que al analizar la demanda del transporte de buques-tanque notó que los fletes alcanzan su punto máximo durante los meses más fríos en el hemisferio norte (de noviembre a enero). El exceso de capacidad, la debilidad de la "demanda comercial" y la debilidad de la producción de la OPEP han deprimido las condiciones que generalmente impulsan los viajes largos.

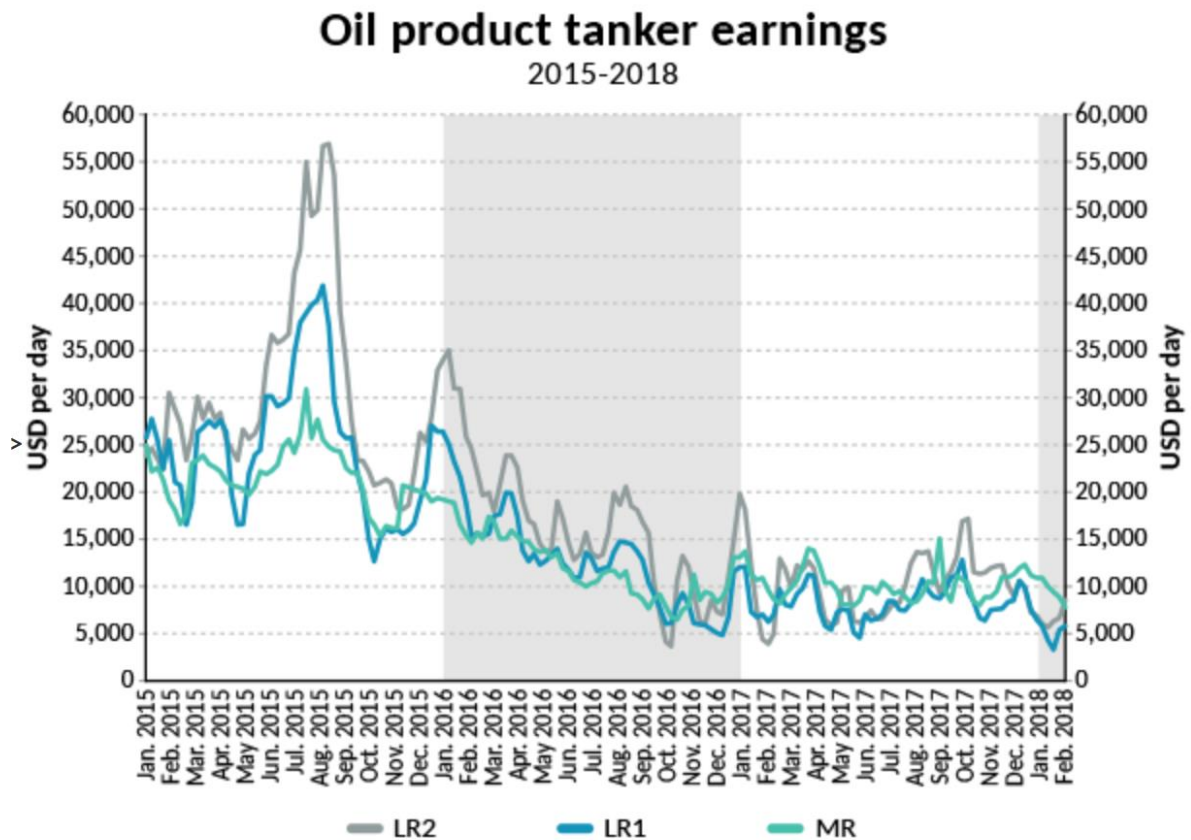


Fig. 1-6 Ganancias del producto petrolero. [8]

De acuerdo con la IEA (International Energy Agency) de EE. UU., las existencias se han acumulado hasta un equivalente de 2.9 millones de bpd desde mediados de 2014, cuando los precios del crudo comenzaron a disminuir rápidamente. Para 2018 y 2019, IEA pronostica una modesta acumulación de inventarios (stocks).

Los niveles de stock a menudo se miden por "días de suministro", dando una indicación de que las existencias acumuladas equivalentes a + 1m bpd tal vez sean un punto objetivo a tener en cuenta.



La reducción de las existencias se mide como un "flujo", es decir, la diferencia entre la producción de petróleo y el consumo de petróleo en millones de barriles por día (m bpd) y no como un valor absoluto en un millón de toneladas. El acuerdo para reducir la producción de petróleo se extenderá hasta finales de 2018 con un pronóstico en donde la demanda mundial de petróleo crecerá en 1.3 millones de bpd del mismo año, potencialmente rompiendo la barrera de 100m bpd durante el cuarto trimestre de 2018.

Un máximo de cuatro años para la demolición no fue suficiente para evitar el estancamiento del mercado de carga, ya que la flota de petroleros creció un 5.1% y la flota de petroleros creció un 4.2% en 2017. Para 2018, BIMCO espera la cantidad de capacidad dejando que la flota para demolición baje un poco.

Esto se debe a un menor nivel de entregas de nueva construcción y a expectativas de un crecimiento de la demanda ligeramente mejorado en la segunda mitad de 2018. Se espera que la flota petrolera de productos petrolíferos, crezca un 2.5%. Las estimaciones de crecimiento de la flota son bastante sensibles a los pronósticos de demolición, que a su vez son muy sensibles a la evolución de la tasa de flete.

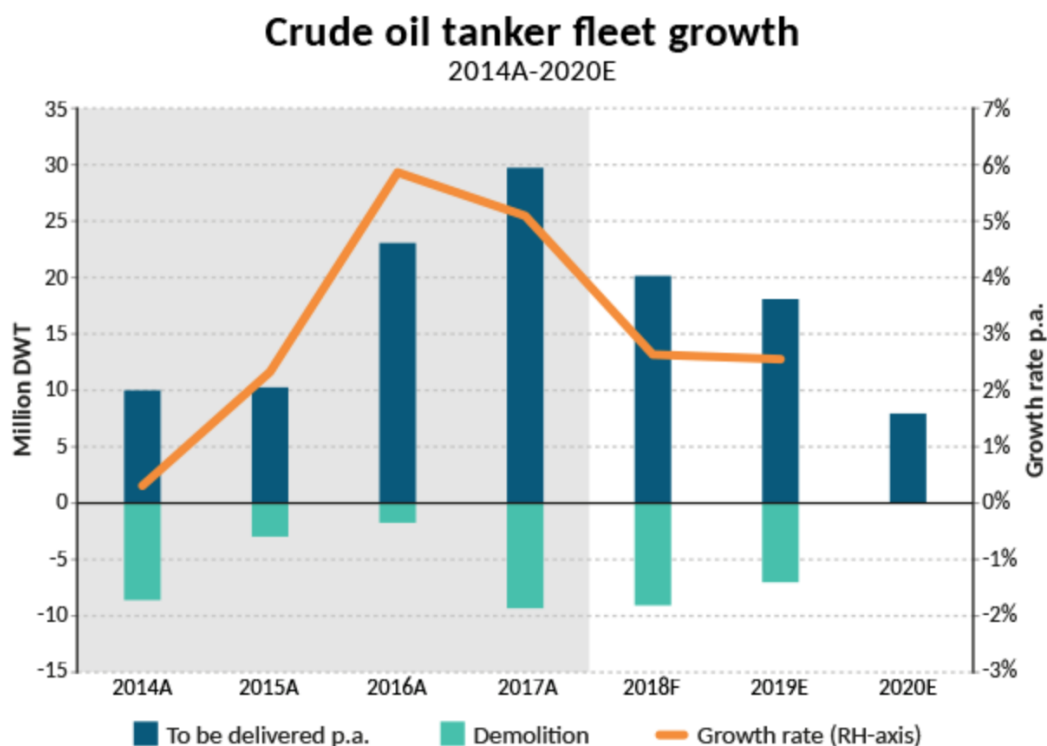


Fig. 1-7 Crecimiento de la flota de petroleros crudos. [8]



La Fig. 1-7 Denota las estimaciones de la flota de petroleros por ser entregados, en demolición y su tasa de crecimiento. Para las entregas en 2018, el sector VLCC (con 734 barcos a finales de 2017) verá lanzar unas 30 unidades. En el mismo año ya se han demolido 0.5 millones de TPM de buque-tanque y 1.1 millones de TPM de VLCC. En términos de nuevos pedidos de buques tanque, 2018 tiene un comienzo lento.

Uno de los factores de volatilidad a tener en cuenta en el mercado de petroleros es la cantidad de capacidad que se utiliza para el almacenamiento flotante. Actualmente se utilizan menos de 20 VLCC para el almacenamiento flotante. Esto se debe a la situación del mercado petrolero (el precio futuro del petróleo está por debajo del precio spot) que no alienta a nadie a almacenar petróleo, en el mar o en tierra, hasta que el precio futuro del petróleo esté por encima del precio spot.

El impacto de la política se puede ver de muchas formas, como:

- ✚ La reanudación de las exportaciones de petróleo crudo de los EEUU a principios de 2016 y Aumento rápido de la capacidad de refinación en Medio Oriente.
- ✚ Las políticas de la propia industria. El límite máximo de azufre en el combustible marino 2020 es un gran problema en términos de la incertidumbre sobre la disponibilidad y el cumplimiento del combustible.

De manera rápida el análisis de mercado visto desde un punto optimista, se puede reducir a los siguientes puntos:

- ✚ Incremento a corto plazo en las reservas locales.
- ✚ El combustible marino de procedencia fósil se seguirá produciendo remotamente, por lo tanto, requerirá transportarlo de la zona de producción a la zona de distribución.
- ✚ Limitación de la emisión de azufre en el 2020.
- ✚ Recientemente se han anunciado nuevos yacimientos tanto de aceite como de gas natural en el Golfo de México. Siendo así un excelente momento para nuestro país y que debe aprovechar para poder exportar el crudo nacional.

Dicho todo lo anterior y haciendo el pertinente análisis se concluye que el proyecto es viable económicamente.



1.10 REFERENCIAS

- [1]. Gadea, Guillermo., R. Los buques tanque y su clasificación., [En línea]., 2017., Ubicación: <http://biblioteca.iapg.org.ar/ArchivosAdjuntos/Petrotecnia/2004-2/LosBuques.pdf>
- [2]. SEA ROUTE & DISTANCE. (s.f.)., «www.ports.com»., [En línea]., 2018., Ubicación: <http://ports.com/sea-route/>
- [3]. Lamb. (2004). Ship Design and Construction. Society of Naval Architects and Marine Engineers. (Chapter 11). SNAME.
- [4]. DOS BOCAS., «www.puertodosbocas.com»., [En línea]., 2018., Ubicación: https://www.puertodosbocas.com.mx/docs/pdf/PDF_Puerto/PH_DOSBOCAS2011.pdf
- [5]. EXXONMOBIL., «www.corporate.exxonmobil.com»., [En línea]., 2018., Ubicación: <https://corporate.exxonmobil.com/en/company/worldwide-operations/locations/united-states/baytown-area-operations/about>
- [6]. REVISTA NAVAL., «www.revistanaval.com»., [En línea]., 2018., Ubicación: <http://www.revistanaval.com/>
- [7]. Alvariño, R., Azpiroz, J., y Meizoso, M. (1997). El proyecto básico del buque mercante, Madrid: Fondo Editorial de Ingeniería Naval.
- [8]. BIMCO., «www.bimco.org»., [En línea]., 2018., Ubicación: https://www.bimco.org/news/market_analysis/2018/20180219_tankersmoo_2018_01
- [9]. Rubio, P., Miriam., (2015-2016)., Análisis económico-financiero sector petrolero., [En línea]., 2018., Ubicación: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/3754/1/RUBIO%20PE%C3%91ALVER%20MIRIAM.pdf>
- [10]. IEA., «www.iea.org»., [En línea]., 2018., Ubicación: <https://www.iea.org/oilmarketreport/omrpublic/>
- [11]. PEMEX., «www.pemex.com»., [En línea]., 2018., Ubicación: <http://www.pemex.com/comercializacion/productos/Paginas/alfabetica.aspx>



DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60,000 TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO, DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.

[12]. Lamb. (2004). Ship Design and Construction. Society of Naval Architects and Marine Engineers. (Chapter 29). SNAME.

[13]. INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO)., «www.imo.org», [En línea]., 2018., Ubicación:

<http://www.imo.org/en/ourwork/environment/pollutionprevention/oilpollution/pages/background.aspx>

[14]. INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO)., «www.imo.org», [En línea]., 2018., Ubicación:

<http://www.imo.org/en/mediacentre/meetingsummaries/mepc/pages/default.aspx>

[15]. Análisis económico-financiero sector petrolero., « http://dspace.umh.es/», [En línea]., 2018., Ubicación:

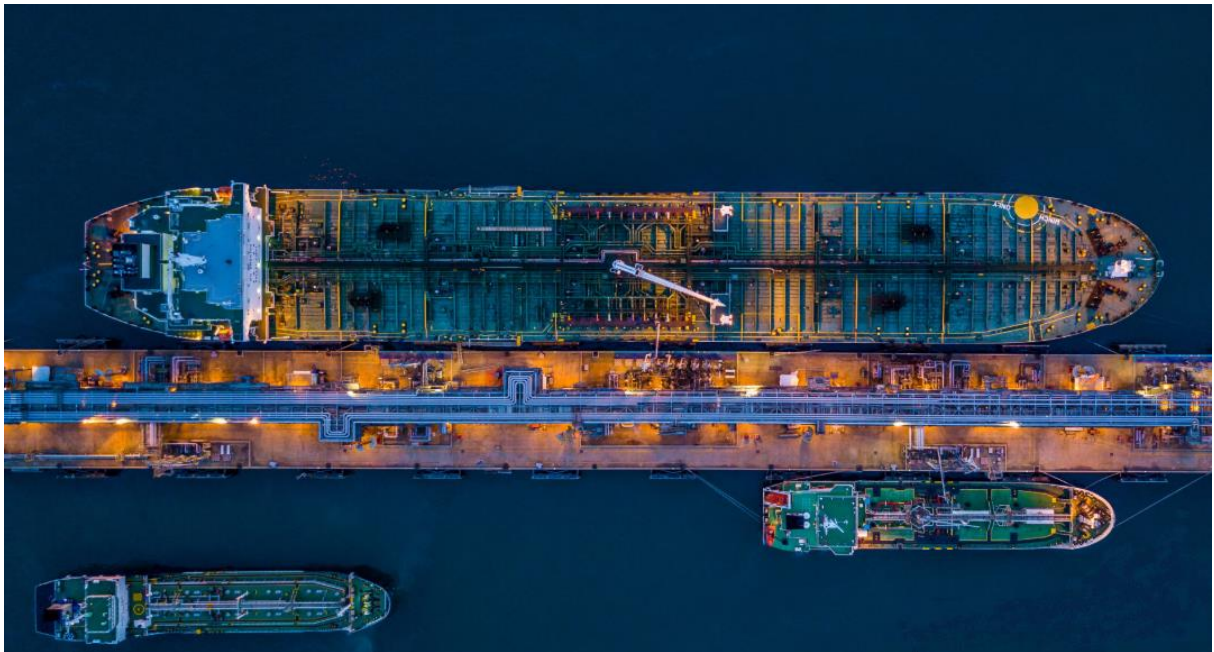
<http://dspace.umh.es/bitstream/11000/3754/1/RUBIO%20PE%C3%91ALVER%20MIRIAM.pdf>

[16]. Alternativas Económicas., «https://alternativaseconomicas.coop», [En línea]., 2018., Ubicación:

<https://alternativaseconomicas.coop/articulo/analisis/el-otro-lado-del-precio-del-crudo>



DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60000
TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO,
DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.



CAPÍTULO 2 DISEÑO PARAMÉTRICO DEL DIMENSIONAMIENTO

PROYECTO No.:
ASESOR:
ESTUDIANTE:

IN-05
ANTONIO RUBÉN BENÍTEZ GASCA
SARAH ARCE J.



2.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo principal es seleccionar una alternativa que satisfaga los siguientes requerimientos y cumpla con las restricciones de peso muerto, volumen de carga, estabilidad inicial, y el índice de emisiones de CO₂ en relación a la máquina de propulsión principal. Para esto se deben generar varias alternativas de diseño, el criterio de decisión entre alternativas es el RFR, el cual es la función objetivo, las cuatro restricciones principales, llamadas criterios físicos (principales), son los requerimientos principales de la misión del vehículo marino. Sobresalen dos fuentes de información, la [1] y [2], entre otras consultadas.

METODOLOGÍA PARA PROBLEMAS DE DISEÑO	ANÁLISIS/ INGENIERÍA DE SISTEMAS
Método de optimización	Diseño paramétrico
Estrategia de dimensionamiento	Diseño basado en un conjunto de variables.

Tabla 2-1 Filosofía de diseño del equipo de diseñadores. [5]

FUNCIÓN/OBJETIVO	RESTRICCIONES PRINCIPALES
Minimizar la tasa de flete requerido (RFR)	1.-Peso muerto 2.- Volumen de carga 3.- Estabilidad inicial 4.- Índice de emisiones de CO ₂

Tabla 2-2 Criterios de selección del equipo de diseñadores. [5]

2.2 BASE DE DATOS DE EMBARCACIONES SIMILARES

La base de datos que se presenta a continuación se realizó mediante una búsqueda de embarcaciones similares para una estimación inicial, no son definitivas, ya que pueden variar con libertad conforme avance el estudio de diseño de formas, para así satisfacer los requisitos establecidos. Dicha tabla contiene las dimensiones principales y capacidad de carga de cada embarcación, la consideración principal fue el peso muerto de la embarcación a diseñar, ya que es uno de los requerimientos ya establecidos y es de 60,000 toneladas DWT, con base a este dato se seleccionaron 10 embarcaciones que oscilarán en ese tonelaje para poder hacer las respectivas regresiones.



NOMBRE	TIPO	No. IMO	LOA (m)	B (m)	T (m)	DWT (ton)	V (kt)
NOBLE	Crude Oil Tanker	9358280	333	58	11.5	307284	14.4
VICTORY I	Crude Oil Tanker	9203277	332	58	21	298911	6.3
SIGNAL PUMA	Crude Oil Tanker	9293002	243	42	12.5	105034	5.3
BW Austria	LPG Tanker	9370537	226	37	11.3	54707	14.7
STYLE	Oil Products Tanker	9380570	184	27	7.1	37923	9.1
OVERSEAS HOUSTON	Oil Products Tanker	9351062	182	32	10.9	46814	13.4
ADFINES SEA	Oil Products Tanker	9580962	162	23	7.5	19118	14.2
NAVIG8 SKY	Oil Products Tanker	9731731	160	25	10.3	25193	11.1
CORAL ALICIA	LPG Tanker	9601754	115	17	5.6	6750	14.1
SARAH WONSILD	Chemical Tanker	9010943	90	14	4.8 m	2702	10.7

Tabla 2-3 Base de datos de embarcaciones similares. ^[12]

NOTA: Esta tabla tiene como propósito dar una referencia en relación a la embarcación del proyecto. Las tendencias de los tanqueros muestran que el coeficiente de block oscila entre 0.80 y 0.85.

2.3 PRIMERA ESTIMACIÓN DE LAS DIMENSIONES

Para una embarcación de este tipo los parámetros que definirán las dimensiones de las alternativas a generar serán el C_B , el C_{DW} , las relaciones L/B y B/D , estos datos se establecen con base a las fuentes de información [1] y [2], sin embargo, si aún no se generan alternativas, se ampliarán los valores de los rangos, esta modificación se hace basándose en la fuente [3]. Se han establecido los siguientes intervalos en las distintas relaciones y coeficientes adimensionales.

C_B	C_{DW}	L/B	B/D
0.80	0.78	5.2	1.8
0.81	0.785	5.3	1.85
0.82	0.79	5.4	1.9
0.83	0.795	5.5	1.95
0.84	0.8	5.6	2
0.85	0.805	5.7	2.05
	0.81	5.8	2.1
	0.815	5.9	
	0.82	6	

Tabla 2-4 $6 \times 9 \times 9 \times 7 = 3402$ combinaciones.
Fuente de información: Elaboración propia.



Para los valores del coeficiente de block el incremento entre valores es de 0.01 en donde el valor mínimo establecido es 0.80 y 0.83 como el máximo. Para el coeficiente de peso muerto el incremento entre valores es de 0.005 siendo 0.78 como el mínimo y 0.82 como el máximo establecido. Para la relación L/B el incremento es de 0.1, tomando como punto de partida 5.2 como mínimo y como máximo 6.0. Para la relación B/D, el intervalo de variación es de 0.005, donde los valores mínimo y máximo son 1.8 y 2.1, respectivamente.

Aplicando la siguiente formulación y aplicando los valores antes dados se obtendrán diferentes esloras para cada posible alternativa.

$$L = \left[\frac{\left(\frac{D_{w_{Design}}}{C_{Dw}} \right) \left(\frac{L}{B} \right)}{\rho(1+s) T C_B} \right]^{1/2}$$

La restricción del calado está delimitada por el puerto de Baytown, debido a que el calado de las terminales de la refinería Exxon Mobil es de 12 metros, en este proyecto el calado se restringirá a 11 metros, pues se harán los cálculos con el calado de diseño. Debido a que ya se tiene un punto de partida, se procede a la generación de alternativas, se seleccionará aquella que satisfaga los criterios de factibilidad establecidos.

2.4 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS

Las formulaciones y parámetros que se presentan a continuación son establecidos en el libro de Alvariño, otros tantos, son conceptos, que han sido plasmados en los diagramas de flujo diseñados por el profesor Benítez, asesor del proyecto. Por lo tanto, haciendo los respectivos cálculos, se obtendrán de manera progresiva resultados que servirán para la generación de las alternativas.

Como ya se mencionó previamente, los parámetros que establecerán las dimensiones de las alternativas serán:

-  C_B
-  C_{Dw}
-  L/B
-  B/D

Mientras más amplio sean los valores de rango de los parámetros, más alternativas posibles se generarán. El incremento de los valores será establecido por el criterio de los diseñadores.



Una vez establecidos los parámetros y el incremento de cada uno de estos los valores se insertarán en una hoja de cálculo para empezar a generar las alternativas.

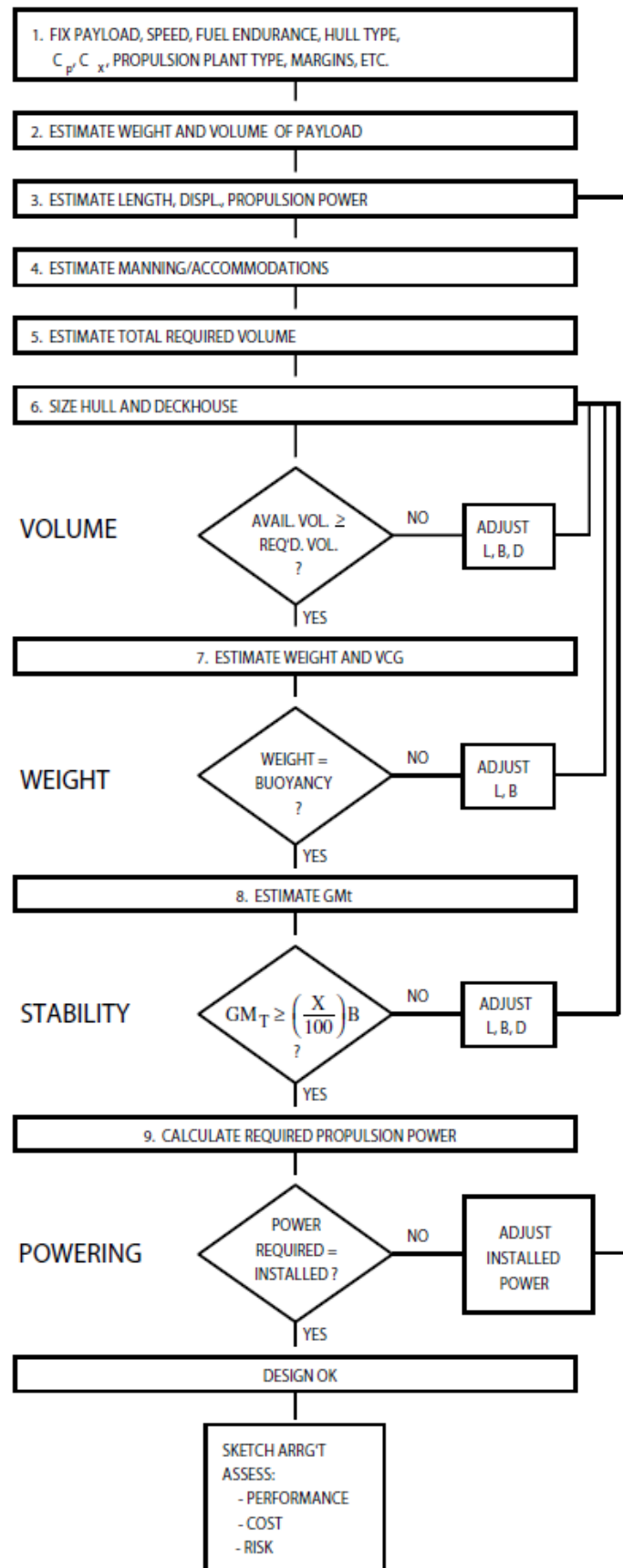
El desarrollo de un estudio de factibilidad de buques es el primer paso en el proceso del diseño. Para esto es esencial el cumplir cuatro criterios físicos principales, dichos criterios son:

- ✚ Volumen: el volumen interno disponible debe ser igual o superior al volumen total requerido.
- ✚ Peso: el peso debe ser igual a la flotabilidad.
- ✚ Estabilidad: debe haber una estabilidad satisfactoria.
- ✚ Potencia: la potencia de propulsión instalada debe ser capaz de propulsar el barco a la velocidad máxima requerida.

La Fig. 2-1 que se presenta a continuación lleva por nombre: Proceso de estudio de factibilidad. Y, puede ubicarlo en la referencia [13].



DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60,000 TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO, DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.





Es importante tener en cuenta que la secuencia de pasos que se muestra en la figura 2-1 no es inmodificable. A menudo se adapta una secuencia diferente a un problema de diseño en particular. Algunos diseños se prestan a la definición muy temprana de algunas características de la configuración externa. Cuando este es el caso, puede afectar los pasos en el procedimiento, independientemente de la secuencia utilizada, se debe llegar a la misma solución.

Al principio, cuatro requisitos principales de rendimiento deben ser conocidos o asumidos:

1. Peso muerto de la carga
2. Volumen de carga
3. Estabilidad inicial
4. Índice de emisiones de CO₂

El peso de la carga útil (peso muerto de la carga) y el volumen se estiman. En el término de pesos no se incluyen los combustibles en servicio, el agua dulce, las provisiones y otros consumibles. Sin embargo, para propósitos de dimensionamiento de embarcaciones, probablemente es mejor tener una visión más amplia y definir la carga útil para cualquier sistema y espacio incorporado que apoye directamente la misión del buque, además de la carga variable en sí misma. La estimación del peso y volumen de la carga útil es relativamente sencilla para los buques comerciales, como los petroleros, graneleros o portacontenedores, donde toda la carga útil es una carga.

Ahora bien, como ya se definieron los cuatro criterios que deben ser alcanzados en el proceso inicial de diseño. Con los valores de L/B ya establecidos, se procede a despejar la manga (B) para cada eslora obtenida en el punto anterior. El total de alternativas que se van a obtener son 3402, las alternativas han sido numeradas para facilitar el procedimiento posterior y, todas las alternativas generadas se presentarán de acuerdo al avance del presente documento.

Con esta información y los cuatro criterios que deben cumplirse en el proceso inicial de diseño se podrá delimitar el rango de selección y se tomará la decisión sobre que alternativa es la más conveniente para las especificaciones del buque proyecto.

El siguiente dato a obtener va a ser el desplazamiento, se calcula dividiendo el peso muerto entre el C_{DW} .



ALTERNATIVA	C_B	C_{DW}	L/B	B/D	Δ , tm	LPP, m	B, m	D, m
130	0.840	0.79	5.2	1.95	67503.2	192.0	36.9	18.9
131	0.840	0.79	5.2	2	67503.2	192.0	36.9	18.5
132	0.840	0.79	5.2	2.05	67503.2	192.0	36.9	18.0
133	0.840	0.79	5.2	2.1	67503.2	192.0	36.9	17.6
134	0.840	0.79	5.3	1.8	67503.2	193.9	36.6	20.3
135	0.840	0.79	5.3	1.85	67503.2	193.9	36.6	19.8
136	0.840	0.79	5.3	1.9	67503.2	193.9	36.6	19.3
137	0.840	0.79	5.3	1.95	67503.2	193.9	36.6	18.8
138	0.840	0.79	5.3	2	67503.2	193.9	36.6	18.3
139	0.840	0.79	5.3	2.05	67503.2	193.9	36.6	17.8
140	0.840	0.79	5.3	2.1	67503.2	193.9	36.6	17.4
141	0.840	0.79	5.4	1.8	67503.2	195.7	36.2	20.1

Tabla 2-5 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.

Una vez establecidas las dimensiones y parámetros de formas de cada alternativa se pasará a estimar las características de operación de cada una de ellas. Las características que se analizarán por considerarse las más importantes en esta etapa, son las siguientes:

- ✚ Potencia propulsora necesaria para navegar a la velocidad de diseño especificada al calado de proyecto (14.5 nudos)
- ✚ Peso en rosca
- ✚ Altura del centro de gravedad del peso en rosca
- ✚ Capacidad de carga
- ✚ Estabilidad inicial

a) PESO

En este punto, el peso y el volumen ya han sido evaluados, teniendo en cuenta que el desplazamiento debe ser igual a la flotabilidad, $W = F_B$, se verifica si el peso superó la restricción de navegación o si el valor del francobordo es bajo, en cualquiera de los casos se puede incrementar L y/o B, pero afectaría directamente el volumen y el peso disponibles. Con el peso muerto calculado y el peso muerto requerido se encontrará por diferencia el porcentaje de error obtenido para cada alternativa. Cada criterio tiene un rango de valores idóneos que sirven como filtro.

b) VOLUMEN

Se estima el volumen interno total requerido. Inicialmente, esta es una cifra bruta que refleja el volumen de la carga útil (carga), más el volumen del casco, volumen de agua de potable, volumen



de lastre, volumen de operación, volumen de peso en rosca, volumen sin carga, entre otros. También se podrá obtener el coeficiente del plano de agua.

c) ESTABILIDAD

La altura metacéntrica transversal, GM_T , se estima para verificar la estabilidad inicial intacta. Tenga en cuenta que la estabilidad inicial en ángulos de gran tamaño y la estabilidad de daños se evalúan en un punto posterior en el diseño cuando el detalle de diseño requerido está disponible. En el proceso del cálculo del GM se obtendrán datos como el KG del combustible, KG del agua potable, KG de operación, KG de carga, KG del peso muerto, KG de la maquinaria, KG del equipamiento, KG del acero, momento de inercia transversal, BM, KB y por diferencia GM.

GM_T/B se calcula y compara con un criterio predeterminado de aceptabilidad, que generalmente oscila entre el 3 y el 10%, según el tipo de barco y la misión que lleva a cabo. Si se excede el criterio, el resultado podría ser aceptado, al menos temporalmente.

Si el criterio no se cumple, se deben tomar medidas correctivas. El KG puede reducirse disminuyendo el tamaño del puntal (D), de la caseta de cubierta o reduciendo los pesos dentro del barco. En esta etapa temprana, reducir el KG mediante la reducción de pesos no es realmente factible, ya que los pesos individuales aún no se han localizado dentro del casco. La reducción del tamaño de la caseta de la cubierta produce pequeñas ganancias y la reducción de D puede no ser factible debido a los requisitos de francobordo o las dimensiones de grandes volúmenes de objetos.

d) CRITERIO DE POTENCIA (EEDI)

Se estima la potencia requerida para propulsar la embarcación a la velocidad máxima deseada. La resistencia del casco desnudo se estima utilizando una de las técnicas establecidas; por ejemplo, una serie estándar, un análisis de regresión o resultados de prueba de un casco similar. Se estima el coeficiente de propulsión general y se tienen en cuenta las pérdidas del casco y de aguas abiertas. Si la potencia instalada es igual o algo mayor que la potencia requerida, se ha logrado una solución provisional. Si la potencia instalada excede en gran medida el requisito, debe reducirse. Si no cumple con el requisito, debe aumentarse. En cualquier caso, la planta de propulsión asumida debe modificarse y el proceso debe repetirse.

Para realizar una estimación preliminar de la potencia propulsora, a la velocidad de servicio (14.5 nudos con motor al 90% y 15% de margen de mar), se ha utilizado el método de L. K. KUPRAS, donde se parte del concepto de velocidad límite V_B , que es aquella velocidad por encima de la cual



el coeficiente de resistencia total no varía mucho, es función del coeficiente de bloque y de la eslora entre perpendiculares.

2.5 MEDIDAS DE MÉRITO Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ÓPTIMA

La principal fuente de información de esta sección es la [5], ya que en esta se basa la disposición para calcular los criterios físicos y económicos.

Con la información que se generará se van a establecer una serie de criterios físicos para seleccionar de entre todas las alternativas generadas, aquella que cumpla de mejor forma con todos los requerimientos del proyecto. Para ello, se analizarán 4 parámetros:

✚ ϵ DW :

$$\epsilon(\nabla_{\text{carga, útil}})\% = \frac{\nabla_{\text{carga, útil}} - \nabla_{\text{carga, requerido}}}{\nabla_{\text{carga, requerido}}} * 100$$

✚ $\epsilon \nabla_{\text{carga útil}}$:

$$\epsilon (DW)\% = (DW_{\text{CAL}} - DW_{\text{ASIG}})(100/DW_{\text{ASIG}})$$

✚ GM/B: Se dividirá el valor de la altura metacéntrica obtenida para cada alternativa por su respectiva manga para obtener una relación que en el caso de los petroleros debe estar preferiblemente entre 0.060 y 0.092. Cuanto mayor sea el valor de este cociente menor es el periodo de recuperación del buque lo que disminuye la confortabilidad. Se trata de elegir posibilidades que se alejen lo menos posible del valor máximo del intervalo reseñado.

✚ ϵ EIV : $(EIV - EIV_{\text{base}}) / EIV_{\text{base}} * 100$

a) CRITERIO DE SELECCIÓN 1: PESO MUERTO

El peso en rosca está condicionado por muchos factores que no es posible conocer en la primera fase del proyecto, por lo tanto, todas las expresiones se han obtenido de la referencia [1]. Para la estimación del peso en rosca, se seccionará en tres rubros:

✚ **Peso de la estructura de acero:** El peso total del acero en petroleros con doble fondo y doble casco, incluyendo superestructuras y casetas, con extensión estándar de acero de alta resistencia y un coeficiente de bloque, se puede estimar por la siguiente fórmula:

$$W_{\text{ST}} = 0.0658(L^{1.7})(B^{0.102})(D^{0.886})$$



✚ **Peso del equipo y la habilitación:** Se calculará utilizando la siguiente fórmula:

$$W_0 = 0.045 (L^{1.3})(B^{0.8})(D^{0.3})$$

✚ **Peso de la maquinaria:** El peso de la maquinaria será constante para todas las alternativas y se obtiene con la siguiente formulación:

$$W_M = \left(\frac{BHP}{0.7457} \right) \left[\frac{895 - 0.0025 \left(\frac{BHP}{0.7457} \right)}{10000} \right]$$

Ahora, se podrá calcular el peso en rosca de cada alternativa, la formulación será la suma de los tres rubros y quedará expresada de la siguiente forma:

$$L_s = W_{ST} + W_0 + W_M$$

ALTERNATIVA	W _{ST} , tm	W ₀ , tm	W _M , tm	L _s , tm
130	9807.92	1814.33	1205.09	13212.17
131	9590.37	1800.61	1205.09	12973.94
132	9382.83	1787.32	1205.09	12746.49
133	9184.63	1774.44	1205.09	12529.08
134	10600.38	1861.97	1191.91	14063.89
135	10346.15	1846.73	1191.91	13786.33
136	10104.55	1832.01	1191.91	13522.33
137	9874.66	1817.79	1191.91	13270.89
138	9655.62	1804.04	1191.91	13031.12
139	9446.67	1790.72	1191.91	12802.19
140	9247.12	1777.83	1191.91	12583.36
141	10671.15	1865.46	1179.38	14127.46

Tabla 2-6 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.

Ahora que se han obtenido los distintos valores de L_s, se podrá calcular el desplazamiento del buque, y será la suma del peso muerto requerido en la especificación, 60,000 toneladas al L_s de cada alternativa.

$$DW_{\text{calculado}} = \Delta - LW$$



ALTERNATIVA	DW, tm	ϵ (DW), %
130	54291.02	0.02
131	54529.25	0.02
132	54756.70	0.03
133	54974.11	0.03
134	53439.31	0.00
135	53716.86	0.01
136	53980.86	0.01
137	54232.30	0.02
138	54472.08	0.02
139	54701.01	0.03
140	54919.83	0.03
141	53375.73	0.00

Tabla 2-7 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.

Criterio físico 1: Peso, va desde el cálculo del desplazamiento hasta el parámetro ϵ DW, sin embargo, dentro de los cálculos que se deben realizar está el determinar el MCR. Y como ya se mencionó previamente, se ha utilizado el método de L. K. KUPRAS para estimar los B_{HP} y obtener el MCR (régimen continuo máximo).

$$MCR = PB(1 + M_D) = PB(1.03)$$

ALTERNATIVA	QPC	DHPB	DHP	BHP	PB, KW	MCR, KW
130	0.86	6481.28	10292.90	10449.65	7792.30	8026.07
131	0.86	6481.28	10292.90	10449.65	7792.30	8026.07
132	0.86	6481.28	10292.90	10449.65	7792.30	8026.07
133	0.86	6481.28	10292.90	10449.65	7792.30	8026.07
134	0.86	6563.27	10175.60	10330.56	7703.50	7934.60
135	0.86	6563.27	10175.60	10330.56	7703.50	7934.60
136	0.86	6563.27	10175.60	10330.56	7703.50	7934.60
137	0.86	6563.27	10175.60	10330.56	7703.50	7934.60
138	0.86	6563.27	10175.60	10330.56	7703.50	7934.60
139	0.86	6563.27	10175.60	10330.56	7703.50	7934.60
140	0.86	6563.27	10175.60	10330.56	7703.50	7934.60
141	0.86	6644.89	10064.16	10217.42	7619.13	7847.71

Tabla 2-8 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.



b) CRITERIO DE SELECCIÓN 2: VOLUMEN DE CARGA

Este criterio será con respecto al volumen de carga disponible, que con base a la fuente de información [2], se obtienen las siguientes formulaciones:

-  Volumen sumergido del casco
-  Volumen sin carga
-  Volumen de operación
-  Volumen de tankage
-  Volumen disponible

ALTERNATIVA	$\nabla_{\text{casco}}, \text{m}^3$	$\nabla_{\text{LS}}, \text{m}^3$	$\nabla_{\text{lastre}}, \text{m}^3$	$\nabla_{\text{tankage}}, \text{m}^3$	$\nabla_{\text{Operación}}, \text{m}^3$	$\nabla_{\text{casco s/ carga}}, \text{m}^3$
130	116498.2199	12889.92	30000	318.70	30318.70	43208.62
131	113477.8916	12657.51	30000	318.70	30318.70	42976.21
132	110604.8963	12435.60	30000	318.70	30318.70	42754.30
133	107868.7104	12223.50	30000	318.70	30318.70	42542.20
134	125325.3758	13720.87	30000	315.74	30315.74	44036.61
135	121821.5842	13450.08	30000	315.74	30315.74	43765.82
136	118502.2027	13192.52	30000	315.74	30315.74	43508.26
137	115353.0459	12947.21	30000	315.74	30315.74	43262.96
138	112361.3469	12713.28	30000	315.74	30315.74	43029.03
139	109515.5845	12489.94	30000	315.74	30315.74	42805.68
140	106805.3345	12276.45	30000	315.74	30315.74	42592.19
141	124119.3934	13782.89	30000	312.94	30312.94	44095.83

Tabla 2-9 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.

Se procede a calcular el error porcentual:

$$\varepsilon(\nabla_{\text{carga, útil}})\% = \frac{\nabla_{\text{carga, útil}} - \nabla_{\text{carga, requerido}}}{\nabla_{\text{carga, requerido}}} * 100$$



ALTERNATIVA	∇carga, disp m ³	∇carga, útil m ³	ε (∇carga), %
130	73289.60	69625.12	-7%
131	70501.69	66976.60	-11%
132	67850.59	64458.06	-14%
133	65326.51	62060.19	-17%
134	81288.77	77224.33	3%
135	78055.76	74152.97	-1%
136	74993.94	71244.24	-5%
137	72090.09	68485.58	-9%
138	69332.32	65865.70	-12%
139	66709.90	63374.41	-16%
140	64213.14	61002.48	-19%
141	80023.57	76022.39	1%

Tabla 2-10 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.

c) CRITERIO DE SELECCIÓN 3: ESTABILIDAD INICIAL

En este criterio se requiere determinar con exactitud la posición del centro de gravedad, por lo que es necesario realizar un cálculo detallado de pesos y momentos de los distintos grupos en que se subdivide el peso muerto.

✚ KG del peso en rosca:

$$KG_{LS} = \frac{(KG_{ST} * W_{ST}) + (KG_O * W_O) + (KG_M * W_m)}{W_{ST} + W_O + W_m}$$

✚ KG del peso muerto:

$$KG_{DW} = \frac{(KG_{CARGA} * DW_{CARGA}) + (KG_{OPER} * DW_{OPER})}{DW_{CARGA} + DW_{OPER}}$$

✚ KG de la carga:

$$KG_{CARGA} = \frac{D - h_{df}}{2}$$

✚ KG de operación:

$$KG_{OPER} = \frac{(KG_{HFO} * W_{HFO}) + (KG_{DO} * W_{DO}) + (KG_{FW} * W_{FW}) + (KG_{LO} * W_{LO})}{W_{HFO} + W_{DO} + W_{FW} + W_{LO}}$$



Las expresiones anteriores se han obtenido de la referencia [1]. El propósito de todas las formulaciones recién expresadas es encontrar el KG de la embarcación, para poder calcularlo se efectúa una suma de momentos del peso en rosca y del peso muerto entre el desplazamiento, como ya se han obtenido los KG que afectarán directamente el KG de la embarcación se procederá a calcularlo:

$$KG = \frac{(KG_{LS} * LS) + (KG_{DW} * DW)}{(LS + DW) + 3\% \text{MARGEN}}$$

ALTERNATIVA	KG _{4HFO} , m	KG _{5DO} , m	KG _{6FW} , m	KG _{7LO} , m	KG _{oper} , m
130	14.77	2.65	1.89	6.6285	11.5620
131	14.40	2.59	1.85	6.4628	11.2730
132	14.05	2.52	1.80	6.3051	10.9980
133	13.72	2.46	1.76	6.1550	10.7362
134	15.85	2.85	2.03	7.1128	12.3869
135	15.42	2.77	1.98	6.9205	12.0521
136	15.02	2.70	1.93	6.7384	11.7349
137	14.63	2.63	1.88	6.5656	11.4340
138	14.27	2.56	1.83	6.4015	11.1482
139	13.92	2.50	1.78	6.2454	10.8763
140	13.59	2.44	1.74	6.0967	10.6173
141	15.70	2.82	2.01	7.0466	12.2525

Tabla 2-11 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.



ALTERNATIVA	DW _{apér} , t	DW _{carga} , t	DW _{apér} / DW _{carga} , %	KG _{DW} , m	KG, m
130	451.80	53839.22	0.839%	10.71	11.04
131	451.80	54077.45	0.835%	10.47	10.79
132	451.80	54304.90	0.832%	10.24	10.56
133	451.80	54522.31	0.829%	10.03	10.34
134	447.64	52991.67	0.845%	11.39	11.74
135	447.64	53269.22	0.840%	11.11	11.46
136	447.64	53533.22	0.836%	10.85	11.19
137	447.64	53784.66	0.832%	10.61	10.93
138	447.64	54024.44	0.829%	10.37	10.69
139	447.64	54253.37	0.825%	10.15	10.46
140	447.64	54472.19	0.822%	9.93	10.24
141	443.68	52932.05	0.838%	11.28	11.63

Tabla 2-12 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.

La estabilidad inicial del buque se define por el valor de la altura metacéntrica “GM”, expresada como:

$$GM = KB + BM_T - 1.03KG$$

En la formulación anterior se denotan tres tipos de distancias verticales, KB, BM y KG, el propósito de determinar los valores de cada una de ellas es encontrar el valor de la distancia entre el centro de gravedad y el metacentro, en conclusión el GM.

✚ KB: Distancia entre la quilla y el centro de flotación.

$$KB = (0.78 - 0.285 \text{ CVP}) T$$

✚ BM: Es la relación entre el momento de inercia transversal y el volumen sumergido.

$$(BM_T = IT) / \nabla_{SUM}$$

Como último paso a realizar dentro del criterio físico 3, se aplicará un filtro con el siguiente criterio de selección: $0.060 < GM_T/B < 0.092$



ALTERNATIVA	KB, m	BM, m	KG / D	GM, m	GM / B
130	5.65	9.984	0.58	4.27	NO
131	5.65	9.984	0.58	4.52	NO
132	5.65	9.984	0.59	4.76	NO
133	5.65	9.984	0.59	4.99	NO
134	5.65	9.796	0.58	3.36	0.092
135	5.65	9.796	0.58	3.65	NO
136	5.65	9.796	0.58	3.93	NO
137	5.65	9.796	0.58	4.19	NO
138	5.65	9.796	0.58	4.44	NO
139	5.65	9.796	0.59	4.68	NO
140	5.65	9.796	0.59	4.90	NO
141	5.65	9.614	0.58	3.29	0.091

Tabla 2-13 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.

d) CRITERIO DE SELECCIÓN 4: EEDI (ÍNDICE DE EMISIONES DE CO₂)

Las normativas que actualmente rigen el diseño de las embarcaciones han hecho un enfoque primordial en que el desarrollo sea sustentable, donde se busca regular la alternativa que se va a diseñar y así, esta emita la menor cantidad de gases contaminantes al medio ambiente, es por eso que es necesario realizar el cálculo: Índice De Diseño De Eficiencia De Energía, Energy Efficiency Design Index por sus siglas en inglés EEDI, el objetivo de dicho índice es estimar la cantidad de gramos de CO₂ por carga transportada (g de CO₂ por tonelada-milla). [6]

Es necesario comparar el valor del índice promedio (Average Index Value) con un valor llamado línea base; Para determinar la línea base existe una ecuación que la IMO proporciona, para buques petroleros la formulación es la siguiente:

$$Tanker = 1218.8 * (DWT)^{-0.488}$$

A este valor se le denominará EIV_{base}, para que la alternativa sea aceptada el valor del índice promedio (Average Index Value) debe ser menor que el valor de la línea de referencia (línea base) para buques petroleros. El índice promedio dependerá de la potencia de la máquina principal y auxiliar, de su tonelaje de peso muerto y velocidad de navegación.



ALTERNATIVA	EIV base	EIV calculado	ε (EIV), %
130	5.9619	4.5282	-0.240
131	5.9492	4.5084	-0.242
132	5.9371	4.4897	-0.244
133	5.9256	4.4719	-0.245
134	6.0081	4.5479	-0.243
135	5.9929	4.5244	-0.245
136	5.9786	4.5023	-0.247
137	5.9651	4.4814	-0.249
138	5.9522	4.4617	-0.250
139	5.9401	4.4430	-0.252
140	5.9285	4.4253	-0.254
141	6.0116	4.5035	-0.251

Tabla 2-14 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.

Límites de los criterios de selección; A pesar de que no todas las alternativas cumplen con el primer criterio físico, todas deberán ser evaluadas por el segundo criterio, el de volumen. El tercer criterio físico a analizar es medido como ya se mencionó previamente, por la relación GM/B, generalmente dicho rango va de 0.06 – 0.092 para embarcaciones petroleras, sin embargo en este proyecto tuvieron que ampliarse los límites debido a que ninguna alternativa cabía dentro de los límites establecidos, este rango ha sido adoptado a través de la experiencia y modificado (como es el caso) de ser necesario. Por último pero no menos importante, es el criterio de emisiones de CO₂, como ya se explicó previamente, la línea base generada es el máximo que puede alcanzar el índice promedio de cada alternativa. De todas las alternativas que se generaron si hay algunas que cumplan con 3 o menos criterios de diseño no podrán ser elegidas como viables, aunque su medida de mérito llegase a ser muy atractiva. Cada criterio tiene un límite de cumplimiento de la alternativa, los cuales son:

✚ Rango porcentual de error con respecto al tonelaje de peso muerto requerido por el proyecto:

$$\varepsilon_{DW} < 0.01$$

✚ Volumen de carga especificado en el proyecto:

$$\varepsilon_{\forall \text{carga útil}} > 0$$



✚ Rango de la relación GM/B:

$$0.059 < GM/B < 0.093$$

✚ El valor del índice promedio (Average Index Value) debe ser menor que la línea base:

$$\varepsilon \text{ EIV} < 0$$

De todas las alternativas que pasaron los criterios, se seleccionará aquella que también satisfaga las medidas de mérito económico, por ello el concepto a emplear como medida será el RFR. Dicho criterio evalúa el costo anual promedio, el cual requiere una suposición en la tasa de interés y no en los ingresos. Por ende al final del análisis del RFR la alternativa que satisfaga todos los criterios y que tenga menor RFR será la que se seleccionará.

e) TASA DE FLETE REQUERIDO (RFR)

Los diagramas que se presentarán a continuación son obtenidos de la referencia [5] para poder entender de forma desglosada el proceso del diseño. Los diagramas que se presentarán son:

- ✚ Diagrama de influencia de medida de mérito RFR.
- ✚ Diagrama de influencia del costo anual de operación por viajes.
- ✚ Diagrama de influencia de costo anual de operación diaria.
- ✚ Diagrama de influencia del costo de adquisición de embarcación de nueva construcción (factura de astillero).

Como ya se estableció la tasa de flete requerido más baja será uno de los criterios a establecer en la selección de las posibles alternativas de todas las generadas.

Para decidir cuál es la mejor opción de entre todas, se considerarán los gastos anuales y la cantidad de toneladas a transportar en un determinado tiempo bajo una misma ruta.

En el proceso del cálculo del criterio económico existen cierto número de variables que serán aplicadas a cada una de las alternativas, posteriormente con la información generada se podrá determinar el RFR, las variables son:

- ✚ Costo de adquisición
- ✚ Costo anual operación diaria
- ✚ Costo anual operación viajes
- ✚ Capacidad de carga
- ✚ Tiempo de viaje redondo



DIAGRAMA DE INFLUENCIA DE MEDIDA DE MÉRITO RFR

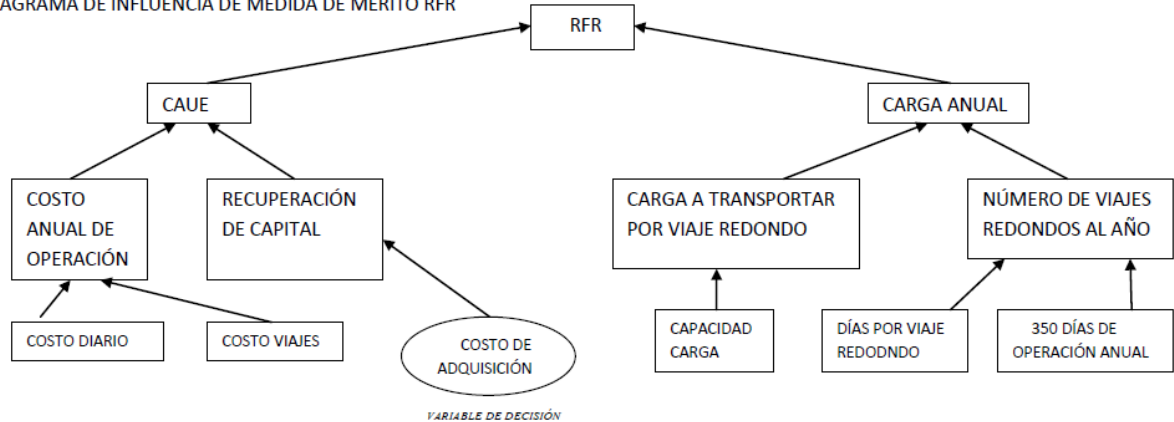


Fig. 2-2 Diagrama de influencia de medida de mérito RFR. [5]

Como logra apreciarse en el diagrama anterior, el RFR es totalmente dependiente de dos factores, el CAUE y la carga anual.

Debido a que en esta fase del proyecto se desconocen los ingresos, se empleará el *Costo Anual Uniforme Equivalente o (CAUE)*, los conceptos que lo componen son:

- ✚ Costos de viaje
- ✚ Costos diarios
- ✚ Recuperación de capital

Para iniciar, en el diagrama que se presenta a continuación se describirá qué conceptos componen el costo anual por viaje.

Se logrará apreciar que de manera general está constituida por los costos de combustibles, lubricantes y pago de derechos, tales como, el acceso, servicios de carga y remolque de la embarcación. O sea, los costos de Heavy fuel oil, Diésel oil y Puertos. Cabe señalar, que después de hacer los cálculos pertinentes para cada sección se representarán en cantidades anuales, es por eso que los diagramas y fórmulas figurarán con denotaciones *anuales*.



Costos de viaje:

$$\begin{array}{r}
 \text{heavy fuel oil} \\
 + \\
 \text{diesel oil} \\
 \hline
 \text{Bunkers} \\
 + \\
 \text{puertos (40\% bunkers)} \\
 \hline
 \text{costos de viaje}
 \end{array}$$

Fig. 2-3 Costos de viaje. [5]

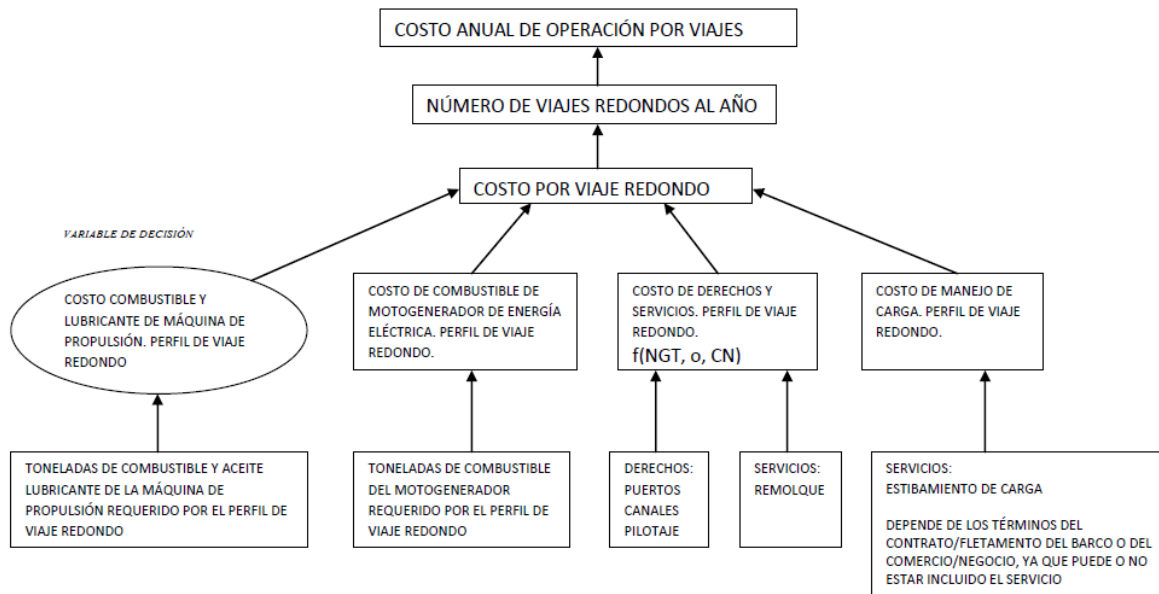


Fig. 2-4 Diagrama de influencia del costo anual de operación por viajes. [5]

El siguiente concepto a analizar es el de costo anual diario, los subconjuntos que componen dicho concepto son los costos de tripulación, de seguros (para la embarcación), de mantenimiento y reparación, almacenes y suministros, y costos indirectos tales como el personal en oficinas.



DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60,000 TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO, DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.

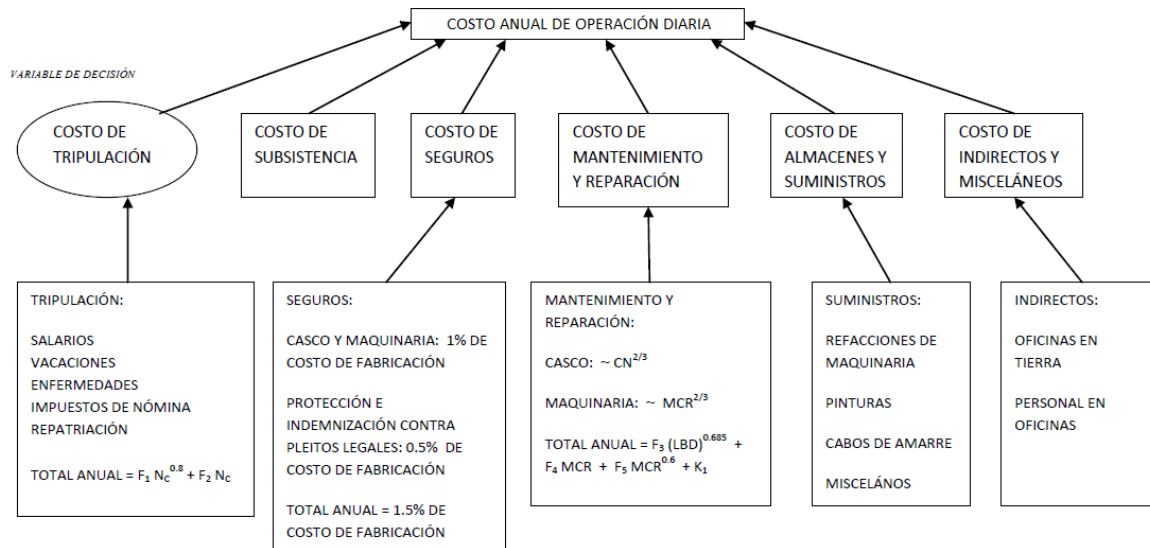


Fig. 2-5 Diagrama de influencia del costo anual de operación diaria. [5]

Y el último concepto a definir es el de recuperación de capital, aritméticamente hablando la recuperación de capital es una diferencia entre la inversión de capital y el valor de salvamento, al igual que en los dos conceptos anteriores el cálculo de ambas partidas se deberá realizar de forma anual. En pocas palabras es el costo uniforme equivalente anual de capital invertido.

Para poder estimar la *R.C.* se necesita calcular primero la inversión de capital (costo total del proyecto), la cual depende del precio de venta más un porcentaje extra que cubre gastos de servicios adicionales del astillero. Tales gastos comprenden gastos relacionados con contratos, garantías de ingeniería y administración, registros, etc. Esta subpartida oscila alrededor del precio base por 7%. Por otro lado, el valor de salvamento o de desecho del activo es lateralmente dependiente del valor obtenido en la inversión de capital, pues determina de manera directa su valor. El valor de salvamento podría definirse como el precio de venta esperado de un activo cuando ya no puede ser utilizado en forma productiva por su propietario. En La especificación del proyecto se menciona que el valor de salvamento es el 5% del precio de adquisición o inversión de capital.

El diagrama que se presentará a continuación representa los factores que componen el precio de venta, o sea, el costo total de fabricación + el margen de ganancia + costos adjuntos, los costos adjuntos son un porcentaje alrededor del 2% del subtotal de las dos primeras sub-partidas que componen al precio base, precio de venta o factura al astillero.

El costo total de fabricación se desglosa en dos rubros importantes, costos directos e indirectos, en la estimación de los costos directos se podrá ubicar el costo de los materiales y la mano de obra,



DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60,000 TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO, DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.

más adelante se presentará de manera desglosada la manera en que están compuestos cada uno de estos términos. El otro rubro, costos indirectos, es un porcentaje de los costos directos.

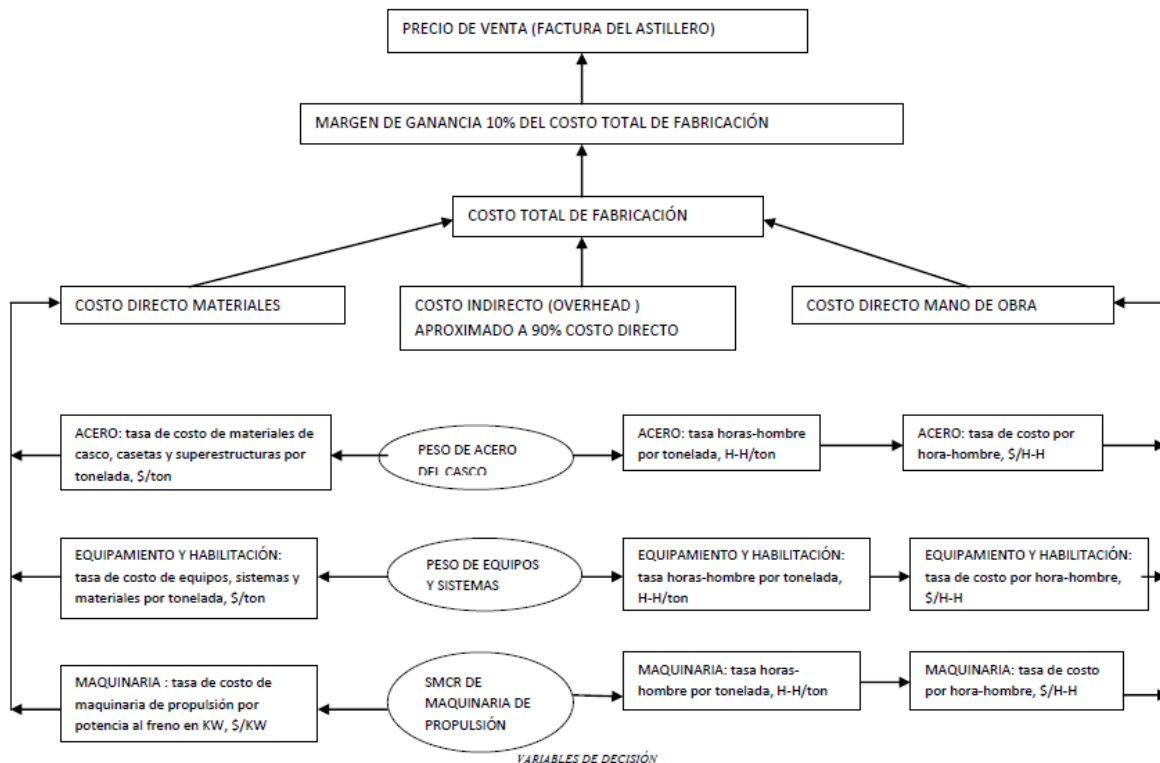


Fig. 2-6 Diagrama de influencia del costo de adquisición de embarcación de nueva construcción (factura de astillero). [5]

Debido a que ya se detallaron los tres conceptos que conforman el CAUE ahora se relatará de manera resumida el concepto de carga anual, ya que no se debe olvidar que el *RFR* es la relación del CAUE/C (carga anual transportada).

Sin embargo, para determinar la cantidad de carga anual a transportar solo hay que multiplicar datos que se obtuvieron desde que se realizó el análisis del criterio tres: estabilidad. Tales datos son: el peso muerto de la carga y el número de viajes de forma anual.

Para dar por concluida la parte teórica se proseguirá a hacer los cálculos necesarios y en el orden que se fue planteando la información previa. De la fuente de información [5] se obtienen los siguientes datos y formulaciones.

Los costos anuales de operación son:

$$\text{Costos operación} = \text{Costos de viaje} + \text{Costos diarios}$$



Para calcular los costos de viaje se utiliza la siguiente formulación:

1. Costos de viaje = bunkers + puertos

El precio por tonelada de combustible heavy fuel oil es de \$325.00 (septiembre/2017) y el precio por tonelada de combustible diésel oil es de \$540.00 (septiembre/2017), estos datos fueron obtenidos de la fuente de información [11]. El número de viajes al año se estima alrededor de 38.

ALTERNATIVA	Estimación costo anual de Heavy Fuel Oil Presente (b = 0) \$USD	Serie Uniforme Anual Equivalente de Heavy fuel oil \$USD	Estimación costo anual de Diesel Oil Presente (b = 0) \$USD	Serie Uniforme Anual Equivalente de Diesel oil \$USD
130	\$ 2,693,162.06	\$3,295,192.46	\$497,199.15	\$ 608,343.22
131	\$ 2,693,162.06	\$3,295,192.46	\$497,199.15	\$ 608,343.22
132	\$ 2,693,162.06	\$3,295,192.46	\$497,199.15	\$ 608,343.22
133	\$ 2,693,162.06	\$3,295,192.46	\$497,199.15	\$ 608,343.22
134	\$ 2,662,469.67	\$3,257,639.08	\$491,532.86	\$ 601,410.29
135	\$ 2,662,469.67	\$3,257,639.08	\$491,532.86	\$ 601,410.29
136	\$ 2,662,469.67	\$3,257,639.08	\$491,532.86	\$ 601,410.29
137	\$ 2,662,469.67	\$3,257,639.08	\$491,532.86	\$ 601,410.29
138	\$ 2,662,469.67	\$3,257,639.08	\$491,532.86	\$ 601,410.29
139	\$ 2,662,469.67	\$3,257,639.08	\$491,532.86	\$ 601,410.29
140	\$ 2,662,469.67	\$3,257,639.08	\$491,532.86	\$ 601,410.29
141	\$ 2,633,311.64	\$3,221,963.05	\$486,149.84	\$ 594,823.95

Tabla 2-15 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.

Para calcular los costos diarios se utiliza la siguiente formulación:

2. Costos diarios = subtotal 1 + subtotal 2 + mantenimiento y reparación en astilleros + recuperación de capital

Donde:

Subtotal 1 = Tripulación + Seguros.

Subtotal 2 = Almacenes + Reparación y mantenimiento + Administración



A continuación se presentará una lista de observaciones para realizar un correcto análisis económico, dicho listado se obtiene de la referencia [5].

a) El análisis económico se realiza en dólares corrientes o actuales, antes de impuestos, para una mayor facilidad de cálculo de alternativas de dimensionamiento vía diseño paramétrico.

Por medio de una medida de mérito derivada de una principal, la tasa de flete requerida, RFR, que relaciona el costo anual uniforme equivalente (el costo anual promedio, medida de mérito principal) con la productividad de cada una de las alternativas de diseño, de manera que aquella alternativa de diseño que genere la RFR menor sería la seleccionada.

b) Las partidas o rubros correspondientes a los costos de viaje y costos diarios requieren estimar su correspondiente tasa de escalamiento de precios por año. Las tasas de escalamiento son tasas de inflación específicas para un rubro J correspondiente a los costos de operación y se basan en índices de precios específicos para el segmento J de la economía, a diferencia del índice de precios al consumidor (IPC) que se basa en una canasta básica de bienes y servicios y sirve de base para determinar la tasa de inflación general.

c) Para cada partida o rubro J de los costos de viaje y costos diarios se requiere hacer una estimación anual hoy, es decir, en el momento en que se realiza la estimación, lo cual implica una cantidad anual para $b = 0$ (dólares año cero): $A_b = 0$

d) El modelo que se utiliza para cada partida J es el de gradiente geométrico.

e) El cálculo que se realiza para determinar una serie uniforme A para cada partida J del CAUE, se instrumenta como sigue:

$$A = [(A_b = 0) (P/A, i_{CR} \%, N)] \text{ gradiente geométrico } [(A/P, i_c \%, N)] \text{ serie uniforme}$$

f) El armador o naviera estipula una TREMA' después de impuestos para la inversión de capital del proyecto, así que requiere estimar una TREMA antes de impuestos mediante el factor de recuperación de capital, A/P:

$$(A/P) = ((A/P)' - (t/N)) / (1 - t)$$

Aplicando todos estos criterios se procede a hacer el cálculo del I_{CR} .



RUBRO	E _j	I _{CR}	(P/A, I _{CR} %, 20)
Bunkers	0.035	0.1564	6.0426
Salarios	0.02	0.1734	5.5299
Seguros	0.03	0.1620	5.8644
Otros	0.025	0.1677	5.6936

Tabla 2-16 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.

ALTERNATIVA	Serie Uniforme Anual Equivalente de Costos de Viaje \$USD	Estimación costo anual de Tripulación Presente (b = 0) \$USD	Serie Uniforme Anual Equivalente de Tripulación \$USD	Estimación costo anual de Seguros Presente (b = 0) \$USD	Serie Uniforme Anual Equivalente de Seguros \$USD
130	\$ 5,464,949.96	\$ 1,418,709.56	\$1,588,567.46	\$ 1,272,469.86	\$ 1,511,005.09
131	\$ 5,464,949.96	\$ 1,418,709.56	\$1,588,567.46	\$ 1,259,555.19	\$ 1,495,669.46
132	\$ 5,464,949.96	\$ 1,418,709.56	\$1,588,567.46	\$ 1,247,174.95	\$ 1,480,968.44
133	\$ 5,464,949.96	\$ 1,418,709.56	\$1,588,567.46	\$ 1,235,294.41	\$ 1,466,860.78
134	\$ 5,402,669.12	\$ 1,418,709.56	\$1,588,567.46	\$ 1,316,177.43	\$ 1,562,906.01
135	\$ 5,402,669.12	\$ 1,418,709.56	\$1,588,567.46	\$ 1,301,337.40	\$ 1,545,284.09
136	\$ 5,402,669.12	\$ 1,418,709.56	\$1,588,567.46	\$ 1,287,161.89	\$ 1,528,451.27
137	\$ 5,402,669.12	\$ 1,418,709.56	\$1,588,567.46	\$ 1,273,604.31	\$ 1,512,352.20
138	\$ 5,402,669.12	\$ 1,418,709.56	\$1,588,567.46	\$ 1,260,622.43	\$ 1,496,936.76
139	\$ 5,402,669.12	\$ 1,418,709.56	\$1,588,567.46	\$ 1,248,177.90	\$ 1,482,159.39
140	\$ 5,402,669.12	\$ 1,418,709.56	\$1,588,567.46	\$ 1,236,235.78	\$ 1,467,978.63
141	\$ 5,343,501.80	\$ 1,418,709.56	\$1,588,567.46	\$ 1,317,603.22	\$ 1,564,599.07

Tabla 2-17 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.

ALTERNATIVA	Estimación costo anual de Otros rubros Presente (b = 0) \$USD	Serie Uniforme Anual Equivalente de Otros rubros \$USD	Estimación costo anual de Manto. & Rep. Astilleros Presente (b=0) \$USD	Serie Uniforme Anual Equivalente de Manto. & Rep. Astilleros \$USD	Serie Uniforme Anual Equivalente de Costos Diarios sin RC \$USD
130	\$ 1,345,589.71	\$1,551,302.72	\$ 759,897.66	\$ 876,070.39	\$ 5,526,945.65
131	\$ 1,339,132.38	\$1,543,858.19	\$ 748,942.02	\$ 863,439.86	\$ 5,491,534.96
132	\$ 1,332,942.26	\$1,536,721.73	\$ 738,434.45	\$ 851,325.90	\$ 5,457,583.52
133	\$ 1,327,001.98	\$1,529,873.31	\$ 728,346.35	\$ 839,695.53	\$ 5,424,997.07
134	\$ 1,367,443.50	\$1,576,497.49	\$ 790,824.10	\$ 911,724.84	\$ 5,639,695.80
135	\$ 1,360,023.48	\$1,567,943.11	\$ 778,402.91	\$ 897,404.71	\$ 5,599,199.37
136	\$ 1,352,935.73	\$1,559,771.79	\$ 766,530.00	\$ 883,716.68	\$ 5,560,507.19
137	\$ 1,346,156.94	\$1,551,956.66	\$ 755,167.69	\$ 870,617.31	\$ 5,523,493.61
138	\$ 1,339,666.00	\$1,544,473.39	\$ 744,281.74	\$ 858,067.12	\$ 5,488,044.72
139	\$ 1,333,443.73	\$1,537,299.86	\$ 733,841.01	\$ 846,030.21	\$ 5,454,056.92
140	\$ 1,327,472.67	\$1,530,415.95	\$ 723,817.07	\$ 834,473.82	\$ 5,421,435.86
141	\$ 1,368,156.39	\$1,577,319.37	\$ 786,001.88	\$ 906,165.41	\$ 5,636,651.31

Tabla 2-18 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.

3. Recuperación de capital (RC):

$$RC (i\%) = I(A/P, i_c \%, N) - S(A/F, i_c \%, N)$$



Donde:

S = Valor de desecho del activo, 5% de la inversión de capital

I = Inversión de capital (costo total del proyecto)

Al precio base (first cost, factura astillero), lo conforman los siguientes costes:

✚ Subtotal (costo total de fabricación), S.

✚ Margen de ganancia, m:

$$M = 9\% \text{ de subtotal} = 0.09 S$$

✚ Costos adjuntos, A:

$$A = 2\% \text{ de subtotal} = 0.02 S$$

El siguiente paso será calcular el CAUE de la siguiente manera:

$$\text{CAUE} = \text{costos de viaje} + \text{costos diarios} + \text{recuperación de capital}$$

Por último se podrá determinar el RFR:

$$\text{RFR} = \text{CAUE}/C, \$/t$$

ALTERNATIVA	Costo Anual Uniforme Equivalente CAUE \$USD	Carga Anual, t	RFR, \$/t
130	\$ 29,346,134.68	2,035,557.23	\$ 14.42
131	\$ 29,124,441.44	2,044,564.06	\$ 14.24
132	\$ 28,911,916.12	2,053,163.51	\$ 14.08
133	\$ 28,707,963.39	2,061,383.39	\$ 13.93
134	\$ 30,027,046.52	2,003,512.80	\$ 14.99
135	\$ 29,772,496.00	2,014,006.71	\$ 14.78
136	\$ 29,529,334.77	2,023,988.01	\$ 14.59
137	\$ 29,296,765.18	2,033,494.38	\$ 14.41
138	\$ 29,074,064.29	2,042,559.87	\$ 14.23
139	\$ 28,860,575.28	2,051,215.30	\$ 14.07
140	\$ 28,655,699.89	2,059,488.66	\$ 13.91
141	\$ 29,985,400.44	2,001,258.63	\$ 14.98

Tabla 2-19 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.



Llegados a este punto se generaron 3402 alternativas, de las cuales 21 pasaron tanto los criterios de diseño como la medida de mérito, sin embargo, se hizo un detenido estudio de las alternativas y se evaluaron tres aspectos básicos de diseño, el precio base, el costo de combustible y el RFR, en qué consistió la selección, es simple, que cada uno de esos aspectos tuviera el menor impacto económico:

ALTERNATIVA	PRECIO BASE \$USD	C. CONSTRUCCIÓN / CAPACIDAD CARGA, \$USD/m ³	MCR, KW	C. COMBUSTIBLE \$USD	FIV	RFR \$USD/ t
XIX	\$ 87,509,068.88	626.27	8422.37	\$ 3,457,896.40	4.81	\$ 15.07
XX	\$ 87,559,389.96	646.31	8310.56	\$ 3,411,992.50	4.75	\$ 15.05
XXI	\$ 87,615,975.32	666.79	8204.32	\$ 3,368,376.96	4.70	\$ 15.04
XV	\$ 87,654,772.84	610.64	8026.07	\$ 3,295,192.46	4.59	\$ 14.99
XVI	\$ 87,745,161.98	630.50	7934.60	\$ 3,257,639.08	4.55	\$ 14.99
XVII	\$ 87,840,214.55	650.79	7847.71	\$ 3,221,963.05	4.50	\$ 14.98
XVIII	\$ 88,101,712.62	656.25	8203.66	\$ 3,368,103.32	4.67	\$ 15.01
XII	\$ 88,239,595.50	620.70	7935.83	\$ 3,258,145.08	4.52	\$ 14.96
XIII	\$ 88,337,953.18	640.62	7849.57	\$ 3,120,201.77	4.48	\$ 14.96
XIV	\$ 88,440,530.52	660.97	7767.56	\$ 3,189,057.16	4.44	\$ 14.96
IX	\$ 88,771,534.03	626.57	7588.26	\$ 3,115,443.38	4.34	\$ 14.97
X	\$ 88,907,611.23	646.74	7522.15	\$ 3,088,301.43	4.31	\$ 14.98
XI	\$ 89,046,387.15	667.36	7459.33	\$ 3,062,512.12	4.28	\$ 14.99
V	\$ 89,288,202.76	616.87	7592.38	\$ 3,017,969.34	4.32	\$ 14.94
VI	\$ 89,427,512.58	636.67	7526.83	\$ 3,090,224.53	4.29	\$ 14.95
VII	\$ 89,569,459.80	656.90	7464.56	\$ 3,064,657.61	4.26	\$ 14.97
VIII	\$ 89,713,809.72	677.57	7405.36	\$ 3,040,354.90	4.23	\$ 14.98
I	\$ 90,075,660.70	624.01	7358.38	\$ 3,021,066.38	4.21	\$ 15.03
II	\$ 90,247,640.29	644.08	7309.68	\$ 3,001,070.47	4.18	\$ 15.05
III	\$ 90,421,070.37	664.58	7263.53	\$ 2,982,121.32	4.16	\$ 15.07
IV	\$ 90,595,791.36	685.53	7219.77	\$ 2,964,159.04	4.14	\$ 15.10

Tabla 2-20 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.

Como se logra apreciar en la anterior figura todos los costes son similares, no obstante la alternativa que mantuvo dichos costes al mínimo fue la número 141 (XVII) con coeficiente de block 0.84 y las siguientes características.



ALTERNATIVA 141	VALOR
C_B	0.84
C_{WP}	0.90
C_{DW}	0.79
LPP, m	195.69
B, m	36.24
D, m	20.13
T, m	11.00
Δ , tm	67503.19
MCR, kW	7847.71
LW, ton	14127.46
DW, ton	53375.73
CAUE, \$	29,985,400.44
Carga Anual, ton	2,001,258.63
RFR, \$/ton	14.98

Tabla 2-21 Muestra parcial de cálculos.

Fuente de información: Elaboración propia.

2.6 VIABILIDAD TÉCNICA DEL COEFICIENTE DE BLOCK, FRANCOBORDO Y ESTABILIDAD INICIAL

La referencia [1] proporciona los siguientes conceptos, en donde el objetivo de la fase conceptual del proyecto, es la determinación de la viabilidad del proyecto, se parte de datos muy básicos (peso muerto, dimensiones principales, coeficientes de forma, etc.), con base a esto se definirá una combinación de mayor rendimiento económico.

a) COEFICIENTE DE BLOCK

El coeficiente de bloque C_B se verá influenciado por factores análogos a los que se han expuesto sobre L/B respecto al precio del combustible y la situación social del mercado. El C_B mide la totalidad del casco sumergido, la relación entre el volumen del casco y el paralelepípedo que lo circunscribe. En general, es económicamente eficiente diseñar cascos que sean ligeramente más llenos que los que darán como resultado una resistencia mínima por tonelada de desplazamiento.

b) FRANCOBORDO

La diferencia de altura entre la línea de flotación de la construcción y la cubierta continua más alta es parte importante en el diseño, incluso si esta no está hecha de la cubierta de francobordo. El francobordo en la perpendicular de proa es particularmente importante, incluso, las regulaciones se refieren a esto como 'altura mínima de proa'.



El francobordo debe tener un valor mínimo, función del proyecto y características del mismo, establecidos en el convenio internacional de líneas de carga. Con la alternativa seleccionada se procederá a realizar el cálculo de francobordo (FB).

En esta etapa del diseño aún no se estimará dicho cálculo, será en capítulos posteriores donde se obtendrá un valor real.

c) ESTABILIDAD INICIAL

El objetivo de esta sección no es realizar un análisis detallado de la estabilidad, no obstante, se requiere calcular el centro de gravedad de la embarcación en rosca y a plena carga. Como ya se mencionó con anterioridad, la relación GM/B será aceptable en un rango de $0.060 < GM_T/B < 0.092$.

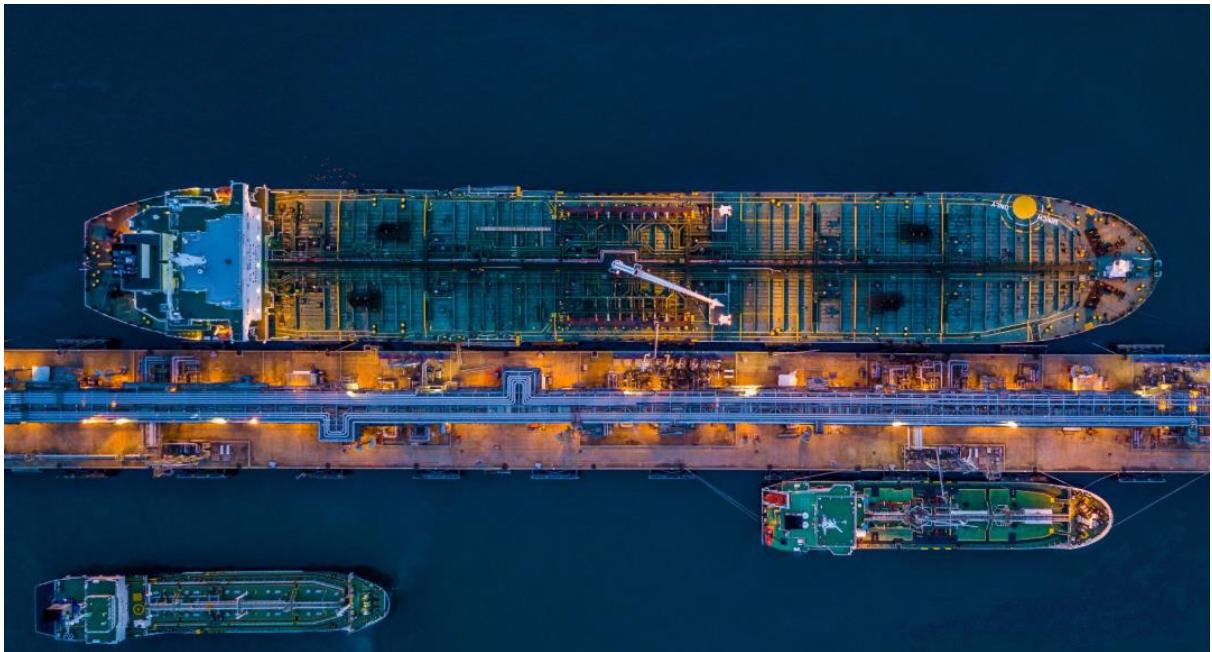


2.7 REFERENCIAS

- [1]. Alvariño, R., Azpiroz, J., y Meizoso, M. (1997). El proyecto básico del buque mercante, Madrid: Fondo Editorial de Ingeniería Naval.
- [2]. Lamb. (2004). Ship Design and Construction. Society of Naval Architects and Marine Engineers. (Chapter 11). SNAME.
- [3]. Molland (2008). Maritime Engineering Reference Book.
- [4]. Sullivan, W., Wicks, E., Luxhoj, J. (2004). Ingeniería Económica de DeGarmo (12a. ed.). México: Pearson.
- [5]. Benítez Gasca, Antonio. (2017). Apuntes de clase. Diseño de Vehículos Marinos NVC 2016. Instituto Tecnológico de Boca del Río. Tecnológico Nacional de México.
- [6]. Faber, J., 't Hoen, M. (2015). Historical trends in ship design efficiency. Delft: CE
- [7]. Organización Marítima Internacional. (2002). Convenio MARPOL 73/78/90.
- [8]. Organización Marítima Internacional. (1974). Convenio Internacional para la seguridad de la vida humana en el mar. Londres.
- [9]. Barras, C. B. (2004). Ship Design and Performance. Gran Bretaña: Elsevier.
- [10]. International Association of Classification Societies. (2012). Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers.
- [11]. SHIP & BUNKER., «<https://shipandbunker.com>», [En línea]., 2017., Ubicación: <https://shipandbunker.com/prices/am/usgac/us-hou-houston#IFO180>
- [12]. BARCOS BASE DE DATOS., «www.vesselfinder.com», [En línea]., 2018., Ubicación: <http://www.vesselfinder.com/es/vessels>
- [13]. Lamb. (2004). Ship Design and Construction. Society of Naval Architects and Marine Engineers. (Chapter 5). SNAME.



DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60000
TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO,
DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.



CAPÍTULO 3 LÍNEAS DE FORMA DEL CASCO

PROYECTO No.:
ASESOR:
ESTUDIANTE:

IN-05
ANTONIO RUBÉN BENÍTEZ GASCA
SARAH ARCE J.



3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se definirán las líneas de formas del buque, se proyectará el plano de líneas y la curva de áreas, se debe subrayar que es un proceso iterativo. Para poder generar una propuesta base de las líneas de forma del casco, es necesario generar las curvas de $A/A_{\text{máx}}$ y $B/B_{\text{máx}}$, con los respectivos datos de entrada se procederá a modelar en software. Las fuentes de información utilizadas son [1], [2] y [3]. Cabe mencionar que una curva define el volumen, y la otra, define el área.

La forma del casco depende de variables y parámetros, entre estos, la capacidad de carga (volumen), la resistencia al avance, dicha resistencia influirá en la selección de la planta propulsora, pues ésta proporcionará la potencia necesaria para propulsar al buque a la velocidad para la cual fue proyectado.

Cabe destacar que la curva de áreas seccionales es la distribución del desplazamiento de la carena a lo largo de la eslora condicionando el comportamiento hidrodinámico del buque. Sin olvidar la curva de semimangas, donde las ordenadas representan los porcentajes que corresponden a las mangas en la línea de flotación.

Como se acaba de mencionar en párrafos anteriores, la forma del casco depende de variables y parámetros, es por ello que el estudio que se realizará debe ser tal en el que cumpla con los requerimientos principales requeridos por el diseño de la embarcación en cuanto a:

✚ Capacidad de carga.: Es el volumen de la carga, el cual es un dato establecido por el armador, siendo así el requisito más restrictivo del proyecto.

✚ Estabilidad.: Se debe cumplir con el GM establecido en la etapa de dimensionamiento preliminar.

✚ Velocidad.: Inicialmente se estableció una velocidad promedio de diseño de 14.5 nudos, de modo que se logre dicha velocidad con la menor resistencia posible.

✚ Maniobrabilidad.: Esta característica del casco define el par de la mecha, el diámetro de giro, el diámetro táctico o de evolución, el avance, la caída o transferencia y los índices de maniobrabilidad de la IMO que ha de cumplir para que se considere que el buque tiene una maniobrabilidad satisfactoria.



3.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE LAS FORMAS DEL CASCO

Obtener las formas de la carena de un buque es un proceso en el que intervienen distintos aspectos, tales como la resistencia y propulsión, estabilidad, trimado, maniobrabilidad, capacidad de los espacios de carga y su estiba más adecuada, etc. Es decir, en este proceso se deben tener en cuenta una serie de aspectos que afectan todas las zonas de la carena, estos factores son decisivos en cuestiones tan importantes como la facilidad y costo de construcción, operatividad, rendimiento, cumplimiento con la especificación, etc.

El análisis que se va a realizar consistirá en el estudio de:

1. Forma de la proa con bulbo
2. Secciones transversales
3. Forma de la popa

Bulbo: La función del bulbo es reducir la resistencia al avance, no se debe olvidar que el bulbo está diseñado para la condición de lastre. Los buques lentos dan lugar a la formación de olas rompientes durante la navegación, el efecto del bulbo en estos buques es de amortiguar la ya mencionada ola.

Secciones transversales: Existen dos tipos de secciones transversales, las que son en forma de “U” y las que son en “V”, las primeras tienen un menor impacto en el costo de construcción, sin embargo tienen tendencia a producir fenómenos de slamming, mientras que las segundas en este aspecto son mejores, aunque su construcción es más cara. Ambas deben tener la misma área debajo de la línea de flotación (es decir, satisfacer la curva de área de sección), la misma profundidad y el mismo ángulo de entrada en cubierta.

En buques de mayor tamaño se utilizan secciones transversales tipo “U”. Uno de los aspectos importantes en la construcción de secciones tipo “U” es que el radio del pantoque no sea muy grande, ya que se busca que el radio de pantoque sea tal que se pueda construir con una sola placa. Pues de esta forma se evita el hacer coincidir las dos curvaturas de placas distintas, además se evita el soldar lo correspondiente a esa zona.

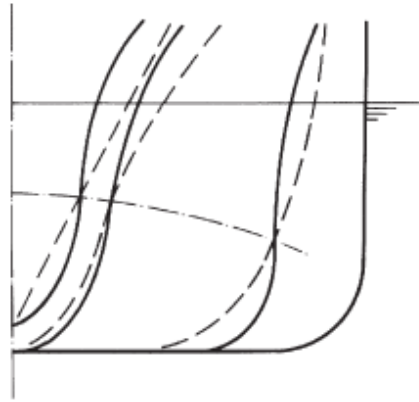


Fig. 3-1 Formas extremas en U y V en la proa de la embarcación. ^[1]

Forma de popa: La forma de la popa es de vital importancia, ya que en esta zona se sitúa el timón con el propulsor, y, dicha forma impactará de manera directa la maniobrabilidad y propulsión de la embarcación. Aparte de que delimita los espacios que se deben disponer para los volúmenes necesarios, tales como el motor principal.

A continuación se exponen unas consideraciones específicas a tomar en cuenta:

Zona de proa

✚ La resistencia por formación de olas depende vigorosamente del cuerpo de entrada y de su transición hacia el cuerpo cilíndrico.

✚ En los buques tipo tanker el coeficiente de bloque es alto es por ello que es importante suavizar el hombro de proa (forward shoulder) de la curva de áreas de las secciones transversales. Esta curva debe ser tanto en esta zona como en la de popa recta o ligeramente convexa.

✚ Las secciones transversales en esta zona deben ser en forma de U con costados verticales en su parte alta y con una transición hacia formas en V en su parte baja.

✚ El bulbo de proa es efectivo para reducir la resistencia por formación de olas, y su tamaño óptimo aumenta con el coeficiente de bloque del cuerpo de proa.

✚ En esta clase de buques se suelen llenar las formas en la proa por su parte inferior, con objeto de aumentar la eficiencia de espacios y mejorar la estabilidad, para compensar el aumento que esto supone en la resistencia se afinan las formas de popa con lo que el rendimiento del casco aumenta.



Zona de popa

✚ La ubicación de la hélice, el espacio disponible debe permitir la instalación del propulsor adecuado con los huelgos especificados por los reglamentos y que evite problemas de vibraciones.

✚ El afinado de las formas de popa no puede ser muy grande debido a que la estela se reduciría sin la compensación correspondiente de la reducción del coeficiente de succión, por tanto, daría lugar a una disminución en el rendimiento del casco y consecuentemente en el coeficiente de propulsión.

✚ Los factores propulsivos dependen básicamente de la forma del cuerpo de salida, por lo que hay que intentar asegurar la provisión de un flujo de agua uniforme tanto al propulsor como al timón, con ello se conseguirá un rendimiento propulsivo elevado así como una correcta maniobrabilidad y estabilidad de rumbo.

✚ El cuerpo de salida debe ser tal, que minimice la separación de la capa límite y por tanto la resistencia al avance del buque. Las secciones transversales en forma de U requieren menor potencia propulsora que las que tienen forma de V.

✚ Las formas de popa deben asegurar un espacio suficiente para la instalación del timón, el equipo de gobierno, amarre de popa, equipo de remolque, etc.

✚ Todo ello sin olvidar el factor económico ya que se deben obtener unas formas que no sean excesivamente costosas y difíciles de construir.

El diseño de la forma del casco es hasta cierto punto un arte. Es importante resaltar el tratamiento de la curva de áreas seccionales, en la que la ordenada representa el área de la sección por debajo de la línea de flotación de diseño en cada punto de la eslora expresado en porcentaje del máximo de este valor a lo largo de la eslora. Si bien la apariencia de las líneas sigue siendo importante, hoy otras consideraciones tienen prioridad. Convencionalmente, las líneas se diseñan 'libremente', es decir, desde cero o distorsionadas desde líneas existentes. La primera etapa en el diseño libre es bosquejar la curva del área seccional. Esta curva nos da idea de la distribución del desplazamiento de la carena a lo largo de la eslora y condiciona el comportamiento hidrodinámico del buque. Hay dos formas de hacer esto:



1. Mostrar el desplazamiento deseado como un trapecio (Fig. 1). La curva de área seccional de la misma área se deriva de esta figura simple.

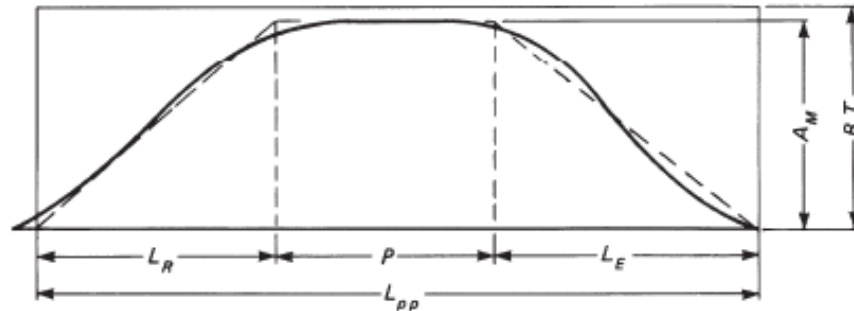


Fig. 3-2 Diseño de la curva de área seccional (usando un trapecio) ^[1]

2. Usando un diagrama auxiliar, dicho diagrama puede ser basado en la curva de área de un buque base.

El método que se empleará para determinar la curva de área seccional, será el primero, el método del trapecio.

Para poder diseñar la curva de área seccional se tomarán como bases la referencia [1] y [4], a continuación se detallará la nomenclatura necesaria para que a partir de ahí se empiece a realizar el boceto la curva de áreas.

La relación entre el área del trapecio y el rectángulo con altura A_M corresponde al coeficiente prismático C_p . C_B es la relación de su área a la del rectángulo con altura BT . La longitud del área del trapecio es L_{pp} . El área de la sección media $A_M = BTC_M$ representada por la altura del trapecio. La curva de área seccional debe mostrar el desplazamiento deseado y el centro de empuje.

El centro longitudinal de empuje (LCB) puede determinarse mediante el cálculo de momento: también se expresa en términos de los diferentes coeficientes de la proa y popa del barco. Las propiedades geométricas del trapecio son:

- ✚ Eslora de entrada (zona de proa)
- ✚ Cuerpo medio paralelo
- ✚ Eslora de salida (zona de popa)



Si los tres componentes básicos del trapecio, entrada, cuerpo medio paralelo y salida, y, los datos principales ∇ , L , B , T y LCB son todos fijos, hay poco espacio para la variación. En la práctica, es solo cuestión de cómo se redondeará el trapecio para que cumpla con el área requerida. La longitud de ola (como una función de la velocidad del agua) se extiende en la proa por el incremento en la velocidad del agua causada por el flujo de desplazamiento. Por otro lado, la fineza de la manga de la embarcación hace que se cubra la distancia entre el punto de estancamiento y que la distancia del hombro (shoulder) sea más larga que la correspondiente a la de la curva de área seccional.

La formación del hombro y una correcta elección de las longitudes de entrada y salida en relación con la mitad del cuerpo paralelo y la posición del centro de flotación influyen fuertemente en los coeficientes de resistencia.

La curva se expresa como una posición, en unidad de longitud, a lo largo de la longitud de la línea de flotación del buque (eje x) frente a un área de sección transversal, en unidades cuadradas de longitud (eje y). Representando la distribución longitudinal del área de la sección transversal debajo de la línea de flotación de diseño a lo largo de la longitud del buque. También se puede hacer no dimensional usando la longitud de la línea de flotación del buque y el área máxima de la sección transversal. La curva generalmente se divide en dos segmentos principales.

C_B , el coeficiente de área de la sección media C_M y la posición longitudinal del centro de empuje determinan la longitud de entrada, el cuerpo medio paralelo y la salida de la curva del área de la sección. Los hombros se vuelven más pronunciados a medida que aumenta el cuerpo medio paralelo.

a) CURVA DE ÁREAS $A/A_{MÁX}$

Dada la introducción a la curva de áreas, se procede a explicar de manera simple pero concisa en qué consiste el proceso de diseño de la curva de áreas.

Para poder determinar el área bajo la curva existen distintas formas de hacerlo, una de ellas es con la ayuda de softwares, sin embargo, en este proyecto todos los cálculos inicialmente fueron hechos en una hoja de cálculo, posteriormente se hará la comprobación mediante las extensiones de Maxsurf, se menciona esto ya que en este capítulo se detallará el proceso que se siguió para poder trazar las curvas $A/A_{MÁX}$ y $B/B_{MÁX}$ en Excel.



Para diseñar la curva se utiliza el método convencional del diseño de líneas: Curva de área seccional, usando el método del trapecio. La curva de áreas se representa en función de la eslora, las áreas de cada sección transversal por debajo del calado indicado. Esta curva es importante pues indica cómo está repartido el desplazamiento a lo largo de la eslora.

La eslora entre perpendiculares se divide en 3 partes: la eslora de salida (L_R), el cuerpo medio paralelo (L_P) y la eslora de entrada (L_E), fuente de información [1].

Para la eslora de salida se emplea la formulación:

$$L_R = \frac{3.2 \sqrt{B * T}}{C_B}$$

Después se procede a calcular la eslora de entrada:

$$L_E = 0.217(V)^2, V \text{ en KN}$$

El cuerpo medio paralelo se obtiene de la siguiente manera:

$$L_P = L_{PP} - L_R - L_E$$

El área de la sección media (A_M) representa la altura del trapecio:

$$A_M = (B) (T) (\bar{C}_M)$$
$$\bar{C}_M = 0.977 + 0.085(C_B - 0.60) \dots [7]$$

Para poder empezar a trazar la curva, lo primero que se debe hacer es determinar las esloras antes citadas, una vez ya obtenidos los resultados esas longitudes serán las que se ingresarán (preferentemente en AutoCad) para poder dibujar el trapecio.

Previamente se calculó el LCB, por lo tanto, el trapecio en AutoCad se debe ajustar hasta que en la tabla de propiedades el volumen y el LCB sean lo más aproximado posible, recordando que al momento de establecer los criterios para poder seleccionar la mejor alternativa se estableció que los ϵ porcentuales estarían en un rango de $\pm 1\%$, por lo que se manejará el mismo criterio porcentual, el volumen no deberá variar más que esto debido a que apenas se está en el diseño conceptual, y el LCB deberá ser el más cercano posible al requerido.



Una vez que el LCB y volumen coincidan, se procede a capturar las ordenadas de cada estación, se debe enfatizar que la embarcación está numerada de la estación 0 – 20, sin embargo, debido a que la embarcación tiene bulbo, se añadieron cuatro estaciones más, yendo en el siguiente orden: A, B, C y D.

Al final de haber calculado las esloras, se enuncia que el área de la sección media (A_M) representa la altura del trapecio, teniendo como unidad m^2 , ahora sí, como ya se tienen las ordenadas de las estaciones, se realizará el producto de $(A/A_{MÁX}) (A_M)$ dando como resultado $= A/2$, este producto se multiplicará por el factor de integración (FI), dando como resultado un producto que se deberá multiplicar por un BRAZO, arrojando como resultado un producto, del cual su suma total de los resultados servirá para determinar el LCB requerido.

A continuación se presenta la tabla en la que se llevó a cabo el cálculo del LCB y del volumen, comprobando así que los datos extraídos de AutoCad fueron correctos y que el % de error es ínfimo.



DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60,000 TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO, DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.

Curva de A/Amax		
LCB	93.23	m
α	9.78	m
BULBO		
$L_{PR}(X) =$	5.09	m
$(X/3) =$	1.70	m
Estación (St)	A/Amax	A/2
0	0	0.00
0.5	0.04	15.90
1	0.16	63.62
1.5	0.3	119.28
2	0.46	182.90
3	0.795	316.09
4	0.96	381.70
5	1	397.60
6	1	397.60
7	1	397.60
8	1	397.60
9	1	397.60
10	1	397.60
11	1	397.60
12	1	397.60
13	1	397.60
14	1	397.60
15	1	397.60
16	1	397.60
17	0.98	389.65
18	0.92	365.79
18.5	0.78	310.13
19	0.52	206.75
19.5	0.29	115.30
20	0.11	43.74
A	0.09	35.78
B	0.07	27.83
C	0.05	19.88
D	0	0.00

Tabla 3-1 Medias áreas de sección transversal.
Fuente de información: Elaboración propia.

VOL = 65537.79 m ³	% de error	0.484
LCB = 93.22 m	% de error	0.002

Tabla 3-2 Medias áreas de sección transversal.
Fuente de información: Elaboración propia.

En la perpendicular de proa se agregará el área correspondiente al bulbo, para poder hacerlo, la información que se requiere saber en cuanto a sus dimensiones son la manga, eslora y puntal y las formulaciones se obtienen de la referencia [2], no obstante, hay datos en esa misma fuente, como los valores de los coeficientes, la imagen de la geometría del bulbo y la fórmula para determinar el área que se extrajeron de las fuentes [8] y [9], respectivamente. A continuación se explicará de manera breve para que se logre explicar en su totalidad la tabla 3-1.



Las dimensiones que se requieren del bulbo son, la manga, eslora y altura, sin embargo, dichos valores se deben despejar de sus respectivas fórmulas para poder obtenerlos:

Coeficiente de Manga : $C_{BB} = \frac{B_B}{B} \rightarrow B_B = C_{BB} * B = 6.16 \text{ m}$

Coeficiente de Eslora : $C_{LPR} = \frac{L_{PR}}{L_{PP}} \rightarrow L_{PR} = C_{LPR} * L_{PP} = 5.09 \text{ m}$

Coeficiente del Puntal : $C_{ZB} = \frac{Z_B}{T_{FP}} \rightarrow Z_B = C_{ZB} * T_{FP} = 4.84 \text{ m}$

Los valores de los coeficientes C_{BB} , C_{LPR} , C_{ZB} en este proyecto son obtenidos de la referencia [8].

	MÍN	MÁX
C_{BB}	0.17	0.2
C_{LPR}	0.018	0.031
C_{ZB}	0.26	0.55

Tabla 3-3 Valores típicos de los coeficientes lineales. [8]

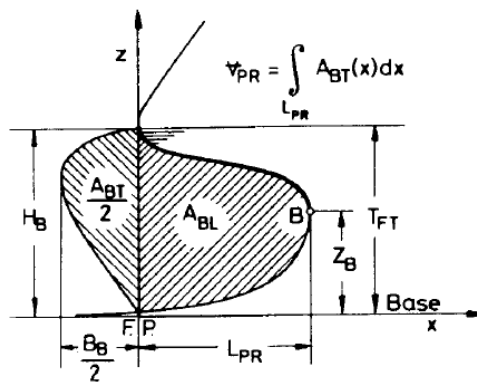


Fig. 3-3 Geometría del bulbo. [8]

Para poder determinar el área del bulbo, se empleará la siguiente formulación, extraída de la referencia [9]:

$$SC20 = 0.785 * Z_B * B_B$$

En donde:

$SC20$ = Área de la sección del bulbo en la P_{PR} (perpendicular de proa) [9], o lo que es equivalente,

S_{Btot} = Superficie total del bulbo [8].

$Z_B = 4.84 \text{ m}$, y

$B_B = 6.16 \text{ m}$



En el pique de popa se agrega una distancia para el espejo de la embarcación, basándose en un buque semejante se obtiene una relación del 2% de la eslora entre perpendiculares, para la alternativa seleccionada se obtiene un valor de 3.92 metros.

Con esto se obtiene la eslora total (LOA): $LOA = L_{PP} + L_{PR} + L_{TRANSOM} = 203.52 \text{ m}$.

Una vez obtenidos todos los productos que se mencionaron previamente, lo único que queda por hacer es determinar el volumen y el LCB para comprobar que hay una varianza dentro del margen establecido. Y en efecto, como se logra apreciar el error porcentual es de 0.48 y 0.002 para el volumen y LCB respectivamente.

La curva de $A/A_{MÁX}$ representa el porcentaje de área de la sección máxima que hay en cada una de las cuadernas situadas en el eje de abscisas, y, el área encerrada por la curva representa el volumen de carena. Se tomará como referencia el cuerpo medio paralelo, al que se denomina L_p .

En la curva de áreas la zona de proa tendrá una concavidad, se apreciará sobretodo en la zona del bulbo. En esta curva de áreas puede verse la longitud de los distintos cuerpos a medida que se aleja del cuerpo medio paralelo, ya sea hacia proa o popa, el valor de la unidad decrece.

Ahora bien, si todavía se quiere corroborar, se analizará la curva de $A/A_{MÁX}$ en el software Maxsurf Modeler, se podrá apreciar que el punto máximo en la curva se mantiene sobre la sección del cuerpo medio paralelo, y que los valores oscilan entre los 370 y 400 m².

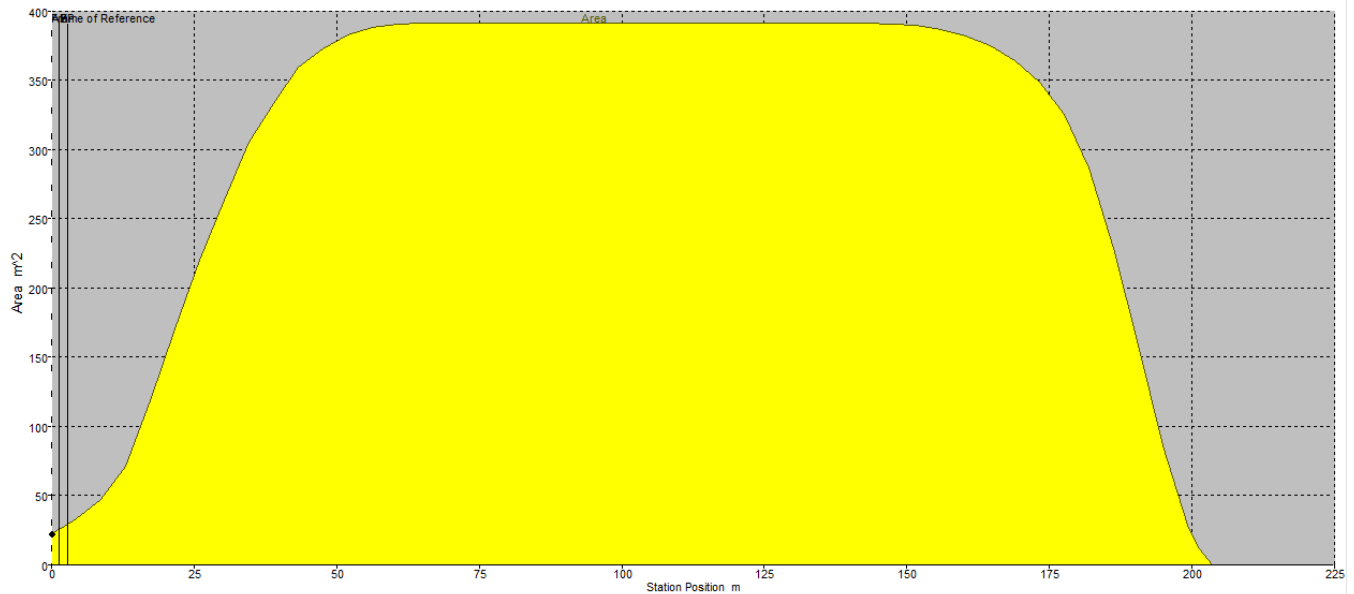


Fig. 3-4 Curva de áreas.

Fuente de información: Elaboración propia (vía el Software Maxsurf Modeler).

b) CURVA DE MANGAS ($B/B_{\text{máx}}$)

La curva de semimangas al igual que la otra curva, representa el porcentaje de la semimanga máxima en cada sección. En el eje de abscisas se presentan los valores absolutos de la semimanga de cada sección por debajo de la flotación, en cada una de las secciones transversales en que se ha dividido longitudinalmente el buque.

Para poder generar esta curva se usarán los mismos criterios que se establecieron en la curva de áreas. Inicialmente se aplica un proceso de prueba y error para obtener la curva $B/B_{\text{máx}}$ definitiva, en donde se "mueve la curva" de tal forma que cumpla con los requisitos previamente establecidos, que el área bajo la curva y la posición longitudinal del centro de flotación sean iguales, o que el margen de error no exceda el $\pm 1\%$.

Cabe aclarar (debido a que se notará en la gráfica) los valores obtenidos son en forma porcentual, o sea, que la unidad es el 100% en las curvas, ya sea la de áreas o la de mangas. Se deberá aplicar un ángulo de entrada (iE) y un ángulo de salida (iR), en los puntos de inicio y terminación de la curva. En la referencia [1] se encuentra una tabla de valores para iE en función de C_P y para iR se establece un límite. Los valores de (iE) e (iR), son 37° y 34° respectivamente.

Para poder determinar A_{WP} , primero se calculó $C_{WP} = C_B / (0.471 + 0.551 C_B) = 0.90$, dicha fórmula es exclusiva de tankers y bulk carriers de acuerdo con la referencia [7].



La embarcación tiene un LCF = 93.7 m. ya con esta información es más que suficiente para poder empezar con el bosquejo de la curva, recordando que el proceso es el mismo que en la curva de áreas, solo que con distinto resultado.

Curva de B/Bmax		
LCF	93.70	m
α	9.78	m
Bmax/2	18.12	m
Awp/2	3189.62	m ²
Estación (St)	B/Bmax	B/2
0	0.1	1.81
0.5	0.26	4.71
1	0.4	7.25
1.5	0.54	9.78
2	0.66	11.96
3	0.84	15.22
4	0.95	17.21
5	1	18.12
6	1	18.12
7	1	18.12
8	1	18.12
9	1	18.12
10	1	18.12
11	1	18.12
12	1	18.12
13	1	18.12
14	1	18.12
15	1	18.12
16	1	18.12
17	0.99	17.94
18	0.98	17.76
18.5	0.96	17.40
19	0.9	16.31
19.5	0.72	13.05
20	0	0.00
A	0	0.00
B	0	0.00
C	0	0.00
D	0	0.00
AREA = 3181.30 m ²		% de error 0.261
LCF = 93.85 m		% de error 0.166

Tabla 3-4 Medias mangas de sección transversal.
Fuente de información: Elaboración propia.



3.3 OBTENCIÓN DE LAS FORMAS DEFINITIVAS

En este punto es importante realizar un análisis de las formas del buque. Para la obtención de formas definitivas se empleó el software AutoCAD, en las especificaciones se establecen una serie de criterios que afectarán directamente las formas del buque:

- ✚ Buque de cubierta corrida
- ✚ Proa y popa de bulbo
- ✚ Codaste abierto

El proceso de obtención de las formas definitivas de un buque es sumamente complejo, así como iterativo, ya que influyen aspectos que no se pueden tomar como secundarios, la resistencia, estabilidad, capacidad de los espacios de carga, entre otros son un claro ejemplo. En palabras más sencillas, la arquitectura naval está basada en la definición de las formas del buque.

Como ya se mencionó previamente, el buque posee un bulbo en proa. En embarcaciones con un número de Froude < 0.25 el bulbo contribuye a la reducción de la resistencia al avance, la fuente de información [4] hace alusión a unos criterios básicos que no se deben pasar por alto, el más relevante, es el ángulo de entrada en la línea de agua al calado de diseño, siendo dependiente del coeficiente prismático, o, del coeficiente de block si se supone fijo el coeficiente de la sección media. En la línea de flotación ocurren los fenómenos hidrodinámicos más importantes ya que se producen cerca de la línea de flotación. La zona de popa debe ser recta o ligeramente convexa con un ángulo de salida recomendado menor de 20° para evitar la separación del flujo. Por otro lado el ángulo de entrada en la flotación " α " es muy importante porque cuanto mayor sea, el buque producirá más perturbación en el agua al avanzar además de producir el fenómeno de las "olas rompientes". La presencia del bulbo incrementa la superficie mojada y la resistencia friccional, sin embargo, en la condición de lastre, la selección idónea del bulbo contribuirá a:

- ✚ Reducir la resistencia por formación de olas, al disminuir el tren de olas generado por el buque, dependiendo del cuerpo de entrada y la transición hacia el cuerpo.
- ✚ Reducir la resistencia por olas rompientes, al conseguir menos olas y más amortiguadas.
- ✚ Reducir la resistencia residual de carácter viscoso al disminuir los torbellinos en proa.



Esto se debe a que el bulbo aumenta la zona del casco inferior y se afinan las zonas superiores, siendo así más estable, también contribuye a disminuir los efectos del *slamming*, moviendo hacia proa los efectos máximos de presión, reduciendo los impactos, mejorando el comportamiento en la mar y manteniendo la velocidad requerida.

Si el balance en la resistencia total al avance de las antes mencionadas consideraciones es negativa, el bulbo es conveniente, y no lo es, si llegase a ser nulo o positivo. Las formas de la popa se deben proyectar para que el flujo de entrada a la hélice sea estable, además se eliminan los problemas relacionados con la cavitación, vibraciones en el casco o en la línea de ejes.

El primer condicionante para la forma de la popa podría ser una hélice de mayor diámetro, logrando una adecuada inmersión en cualquier condición de navegabilidad, incluyendo la más adversa, la cual es la situación de llegada en lastre con 10% de consumos, se considera una inmersión mínima adecuada a un margen de 1/10 del diámetro sobre el punto más alto de dicha hélice. Se recomienda la colocación de un bulbo en popa debido al uniformizar el flujo de entrada a la hélice retrasa el desprendimiento de la capa límite, se deben de tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✚ Parte de las desventajas de un bulbo son: empeoramiento del rendimiento de la carena, aumento en la resistencia

- ✚ Sin embargo, al conseguir una mayor regularidad y uniformidad del flujo a la hélice, las ventajas consisten en la mejora del rendimiento relativo rotativo, aminorando el riesgo de cavitación.

- ✚ El diseño del bulbo en popa es muy sensible a pequeñas variaciones en el semiángulo de salida de las líneas de agua.

La curva de áreas condiciona el comportamiento hidrodinámico del buque, esta se debe de ajustar a la curva de áreas de un buque similar, para poder comparar dichas curvas. En seguida se ajustará la curva de modo que el área que quede encerrada corresponda al coeficiente de block. Se debe tener en cuenta la posición del LCB para hacerlo coincidir con el que ya se estimó. Se buscará que el área de cada estación coincida con su correspondiente curva de áreas, la obra muerta se ha diseñado con verticales en la zona central para maximizar el espacio de carga y evitar zonas que incrementen los costos de construcción.



A continuación se presenta la cartilla que se obtuvo al concluir con el trazo de las curvas ($A/A_{MÁX}$ y $B/B_{MÁX}$), sin embargo, para poder generar la forma del casco, se ha utilizado el software Maxsurf Modeler.

CARTILLA DE TRAZADO						
St.	Waterlines					
	0	2.2	4.4	6.6	8.8	11
0						
0.5	0.000	0.000	0.000	0.000	1.673	4.7112
1	0.000	1.978	1.946	2.474	4.346	7.2482
1.5	0.127	3.670	4.413	5.525	7.612	9.785
2	0.193	6.551	7.788	8.833	10.028	11.9591
3	11.122	13.936	14.600	14.914	15.114	15.2207
4	16.362	17.214	17.214	17.214	17.214	17.214
5	16.566	18.120	18.120	18.120	18.120	18.120
6	16.566	18.120	18.120	18.120	18.120	18.120
7	16.566	18.120	18.120	18.120	18.120	18.120
8	16.566	18.120	18.120	18.120	18.120	18.120
9	16.566	18.120	18.120	18.120	18.120	18.120
10	16.566	18.120	18.120	18.120	18.120	18.120
11	16.566	18.120	18.120	18.120	18.120	18.120
12	16.566	18.120	18.120	18.120	18.120	18.120
13	16.566	18.120	18.120	18.120	18.120	18.120
14	16.566	18.120	18.120	18.120	18.120	18.120
15	16.566	18.120	18.120	18.120	18.120	18.120
16	16.566	18.120	18.120	18.120	18.120	18.120
17	11.432	17.593	17.870	17.939	17.939	17.939
18	9.729	15.764	16.902	17.332	17.609	17.7574
18.5	3.3588	11.9355	13.7957	15.3434	16.5089	17.395
19	2.6854	6.7282	8.2494	9.7513	12.029	16.3079
19.5	0	3.4886	4.2674	4.8531	6.4959	13.0463
20	0	2.5154	3.0969	2.8638	1.4805	0.3069
20.173	0	2.1683	2.7205	2.4741	0.7943	0.2929
20.347	0	1.7072	2.2648	1.9759	0.1104	0
20.433	0	1.2102	1.7505	1.4982	0.0957	0
20.520	0	0	0	0	0	0

Tabla 3-4 Cartilla de trazado para la generación del modelo del casco.

Fuente de información: Elaboración propia.

Para poder elaborar el modelo, primero se tuvo que hacer una serie de requerimientos que solicita el programa, para posteriormente continuar con la cartilla de trazado.

Hay ciertos detalles que se deben mencionar, ya que su importancia lo amerita; Por ejemplo, Si el casco se hace por secciones se corre el riesgo de que los bloques tengan distinta forma y no encajen uno con otro esto debido a que el programa asigna distintos valores de flexibilidad transversal, ahora



DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60,000 TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO, DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.

bien, si se genera completo, se alcanza el valor máximo de flexibilidad sucede esto debido a que las filas de puntos de control se suman, es por ello que se optó por hacer todo el casco junto.

Para poder dibujar el casco desde cero, lo que se debe hacer es:

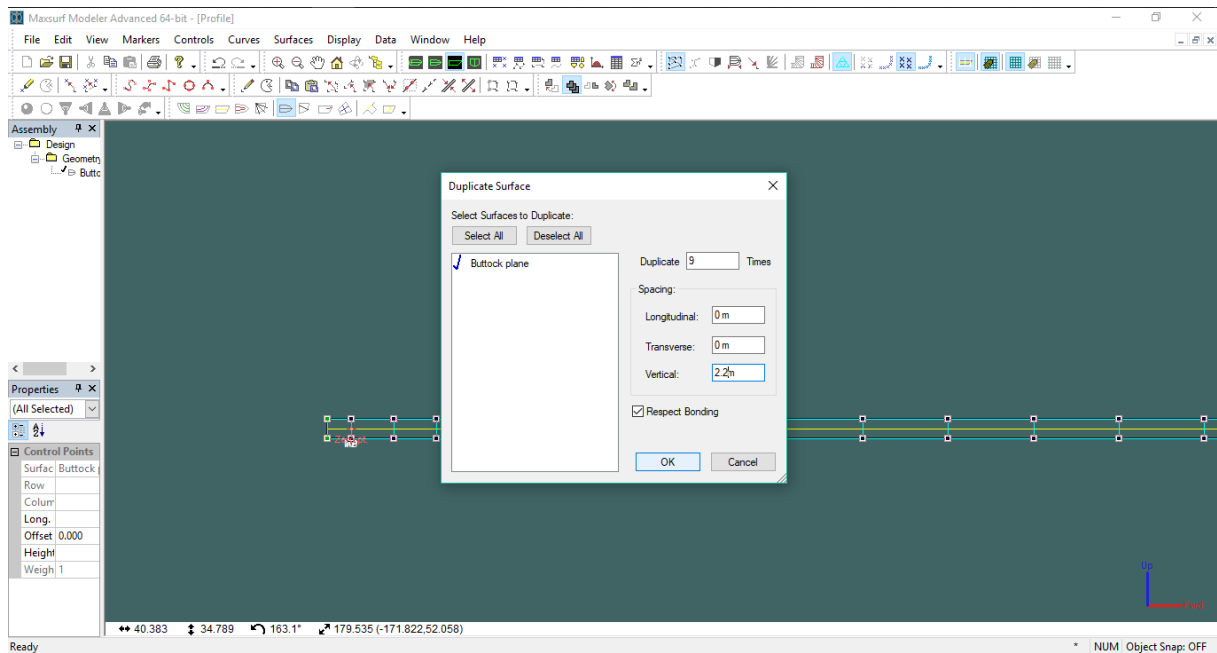


Fig. 3-5 Generar una superficie.

Fuente de información: Elaboración propia (vía el Software Maxsurf Modeler).



DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60,000 TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO, DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.

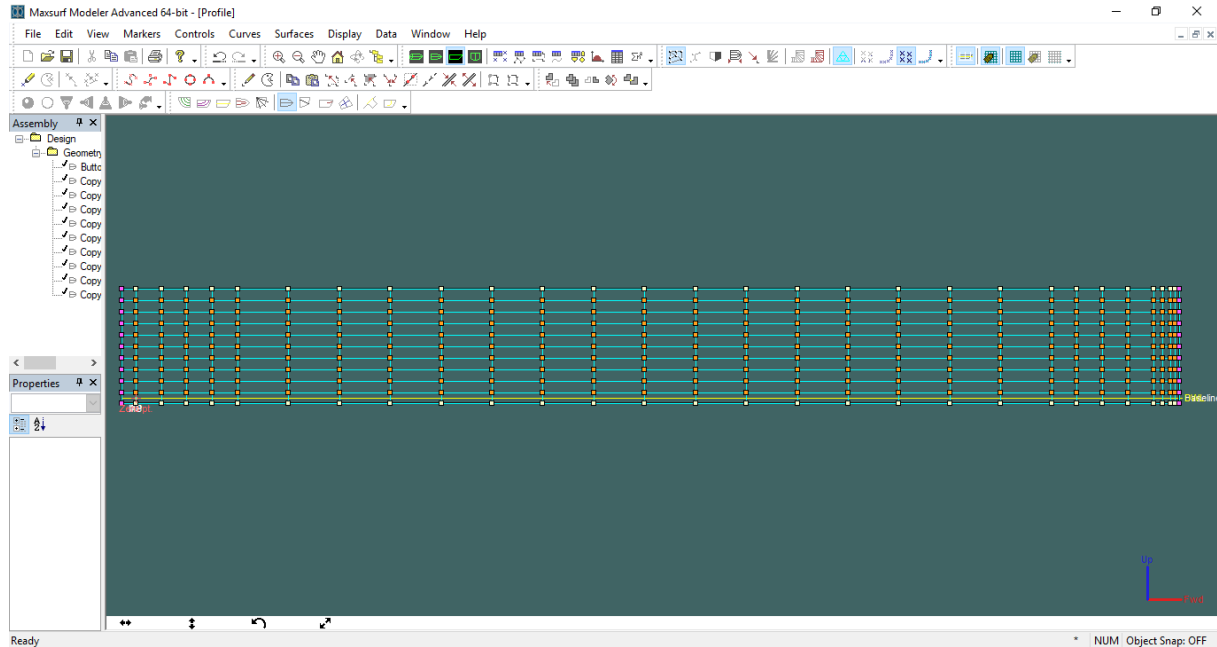


Fig. 3-6 Insertar las estaciones.

Fuente de información: Elaboración propia (vía el Software Maxsurf Modeler).

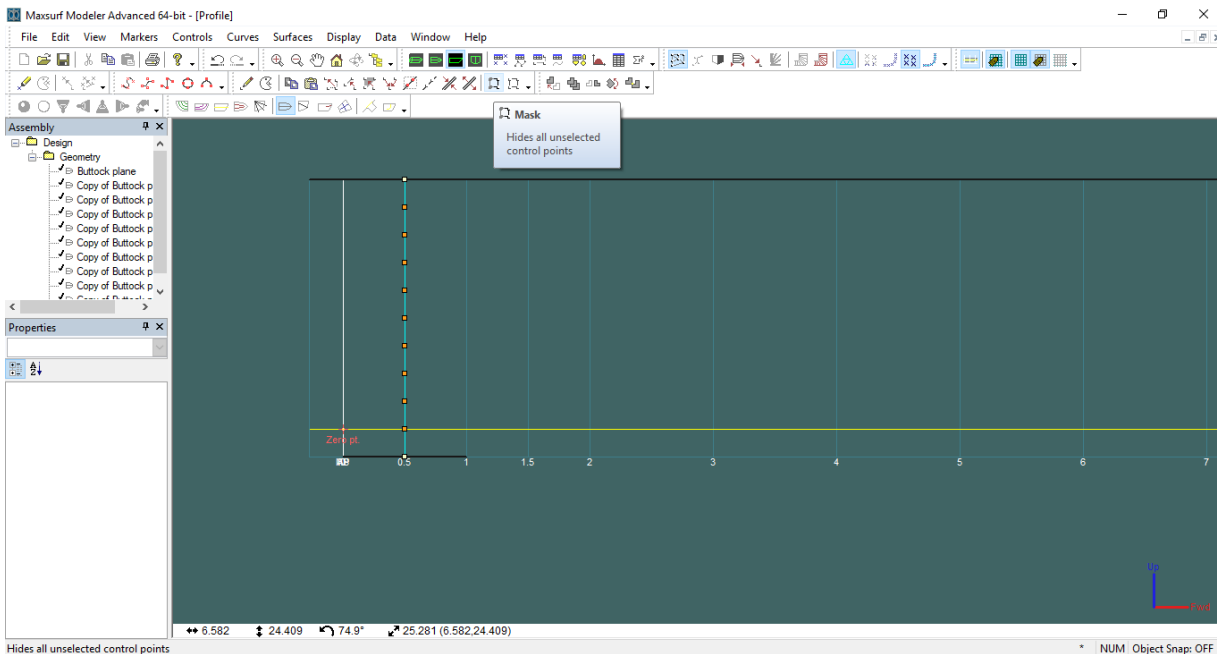


Fig. 3-7 Insertar la cartilla de trazado.

Fuente de información: Elaboración propia (vía el Software Maxsurf Modeler).

Esos fueron los pasos para poder generar la forma del casco mediante el software Maxsurf Modeler.



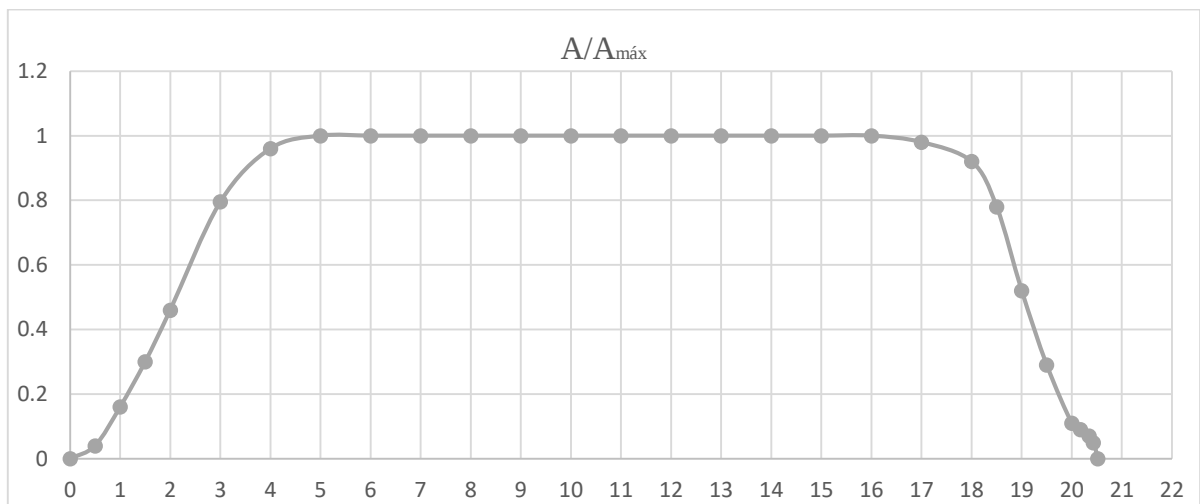
3.4 DIMENSIONES Y COEFICIENTES DE FORMA REQUERIDOS

Las dimensiones principales del buque quedaron de la siguiente manera, estas dimensiones son después de haber realizado las respectivas correcciones a las formas del casco:

$L_{PP} =$	195.69 m
$B =$	36.24 m
$T =$	11 m
$D =$	20.13 m
$C_B =$	0.84
$C_M =$	0.99
$C_P =$	0.84
$LCB =$	93.24 m
$LCF =$	93.7 m
$\Delta =$	66,708.2 ton

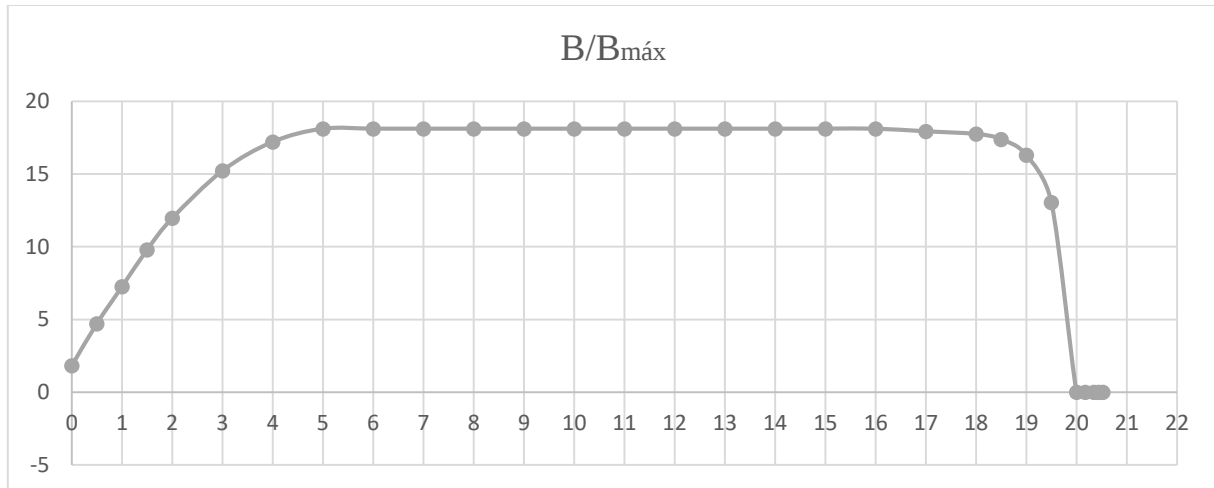
Tabla 3-5 4 Dimensiones principales.
Fuente de información: Elaboración propia.

3.5 DIBUJOS DE LÍNEAS DE FORMA DEL CASCO Y CURVAS $A/A_{MÁX}$ Y $B/B_{MÁX}$



Gráfica 3-1 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.

VOLUMEN	=	65537.7962 m ³
LCB	=	93.23 m



Gráfica 3-2 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.

ÁREA	=	3181.30 m ²
LCF	=	93.86 m

De primera instancia, la forma del casco quedará de la siguiente forma, sin embargo, se deberá afinar a tal punto que se vea estético pero que cumpla con las dimensiones establecidas. Como observación se puede añadir que en la forma de popa se tiene que buscar un perfil más óptimo que no haga que las líneas de corriente se desprendan de manera brusca, ya que eso generará presencia de remolinos.



Plano 3-1 Vista 3D
Fuente de información: Elaboración propia (vía el Software Maxsurf Modeler).

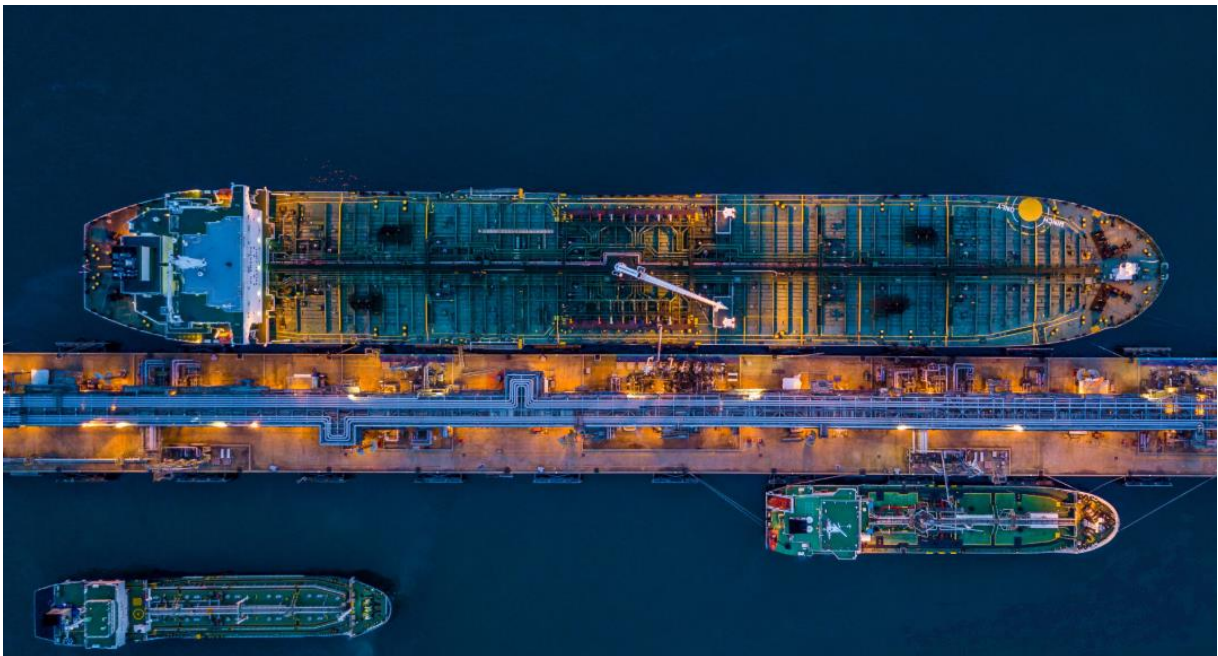


3.6 REFERENCIAS

- [1]. Schneekluth, H., Bertram, V. (1998). Ship Design for Efficiency and Economy (2a ed.). Gran Bretaña: Butterworth Heinemann.
- [2]. Ventura, M. (s.f.) Bulbous Bow Design and Construction. (Slides).
- [3]. Carlier de Lavalle, M. (1985). Análisis Hidrodinámico y Proyecto del Bulbo de Proa, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- [4]. Alvariño, R., Azpiroz, J., y Meizoso, M. (1997). El proyecto básico del buque mercante, Madrid: Fondo Editorial de Ingeniería Naval.
- [5]. Durango Ramón, José Antonio, Petrolero para crudo de 150,000 TPM, Proyecto 1731. Sección de publicaciones E.T.S.I.N.
- [6]. Ventura, M. Hull Form, Instituto Superior Técnico., (s.f.).
- [7]. Lamb. (2004). Ship Design and Construction. Society of Naval Architects and Marine Engineers. (Chapter 11). SNAME.
- [8]. Kracht (1978), Design of Bulbous Bows, SNAME Transactions.
- [9]. Carlier de Lavalle, M. (1985). Análisis Hidrodinámico y Proyecto del Bulbo de Proa. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.



DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60000
TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO,
DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.



CAPÍTULO 4 DISPOSICIÓN GENERAL

PROYECTO No.:
ASESOR:
ESTUDIANTE:

IN-05
ANTONIO RUBÉN BENÍTEZ GASCA
SARAH ARCE J.



4.1 INTRODUCCIÓN

Las referencias que se tomarán para la elaboración de esta sección son [6] y [4]. Como ya se sabe, la disposición general del buque es objeto de regulaciones, tanto por casas clasificadores como por reglamentos y convenios internacionales por lo que los espacios se establecerán de acuerdo a la Sociedad de Clasificación ABS y los convenios internacionales MARPOL, SOLAS y el Convenio Internacional de Líneas de Carga.

El buque se va a dividir longitudinalmente en cuadernas numeradas equidistantemente, iniciando de la cuaderna 0 que coincide con la perpendicular de popa y finalizando con la cuaderna 20 que se encuentra en la perpendicular de proa.

Las distancias longitudinales de los distintos elementos de la estructura se indicaran con respecto a la perpendicular de proa.

La disposición general de los petroleros de crudo sigue una directriz prácticamente constante con independencia de su tamaño. Un esquema básico de la disposición general de esta clase de buque es:

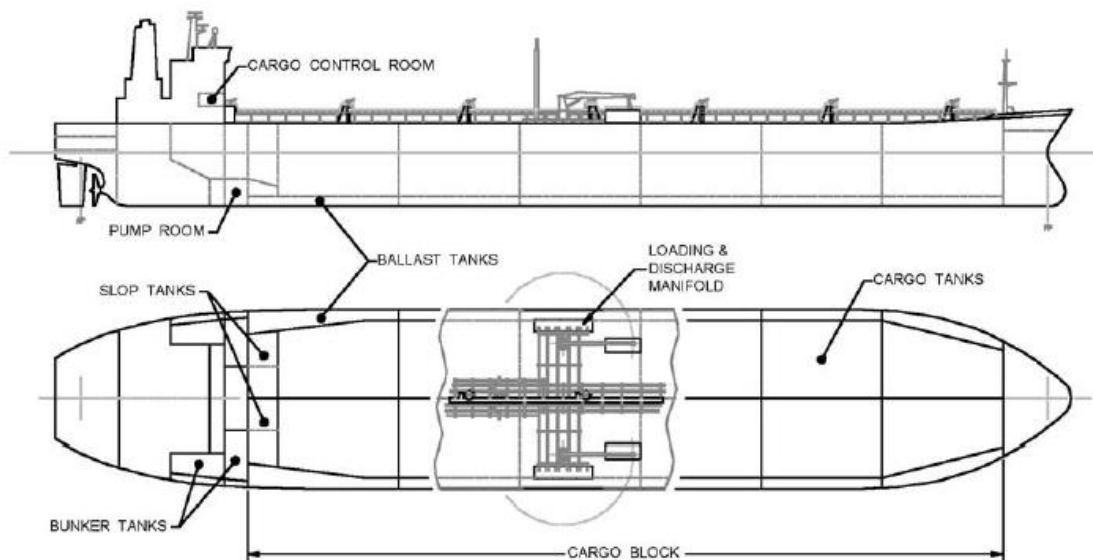


Figura 4-1 Configuración típica de un petrolero. [4]



Para abordar el estudio de la disposición general del buque, éste se va a dividir en cinco zonas, las cuales son:

- ✚ Pique de proa
- ✚ Pique de popa
- ✚ Zona de carga
- ✚ Zona de máquinas
- ✚ Superestructura

La especificación del buque proyecto impone los siguientes aspectos referentes a la disposición general del buque:

- ✚ capacidad de carga de 75 000 m³.
- ✚ 22 tripulantes en cabinas individuales con baño propio, más una cabina doble de reserva con baño privado y 4 camarotes de reserva para alojar a alumnos o un mayor número de tripulantes.
- ✚ Doble casco.
- ✚ El buque tendrá una sola hélice.
- ✚ El buque será de una sola cubierta, con cámara de máquinas, cámara de bombas, todo situado en la popa.
- ✚ Planta de propulsión diésel marino MAN 2T baja velocidad directamente acoplada a hélice de paso fijo.

La disposición general de los petroleros de crudo sigue unas directrices más o menos constantes con independencia de su tamaño. Para la definición de la disposición general del buque se van a seguir las disposiciones de los siguientes reglamentos:

- ✚ Convenio Internacional de líneas de carga 66/88 (2005)
- ✚ Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers (CSR) publicadas por IACS
- ✚ Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas
- ✚ Reglamentos para embarcaciones de acero (Steel Vessels Rules), ABS.



4.2 DIMENSIONES PRINCIPALES

a) DOBLE FONDO

Las funciones en general son:

- ✚ Tener la suficiente resistencia para soportar el empuje del agua, y transmitirla al resto de su estructura interna, para que resista como un todo homogéneo. Su estructura interna está formada por: Quilla vertical con sus refuerzos, longitudinales de fondo y sus contretes, vagras, varengas y tapa del doble fondo.
- ✚ Soportar los esfuerzos longitudinales dando la rigidez necesaria.
- ✚ Contribuye a los esfuerzos transversales.

Con base a la regla 13F, Anexo 1, inciso 3, apartado b, del Convenio para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL 73/78), la altura del doble fondo será $B/15$ o 2 m, la que sea menor.

Regulation 13F

(b) *Double bottom tanks or spaces*

At any cross-section the depth of each double bottom tank or space shall be such that the distance h between the bottom of the cargo tanks and the moulded line of the bottom shell plating measured at right angles to the bottom shell plating as shown in figure 1 is not less than specified below:

$$h = B/15 \text{ (m) or}$$

$$h = 2.0 \text{ m, whichever is the lesser.}$$

The minimum value of $h = 1.0 \text{ m.}$

Annex I

b) DOBLE CASCO

Todos los petroleros deben tener tanques y espacios de doble fondo y doble costado para proteger los tanques de carga, y no deben usarse para transportar carga. La regulación 13F de MARPOL especifica los requisitos de configuración del casco para los petroleros contratados después de julio del 93. Los petroleros que superen los 5000 DWT deben tener un casco doble sobre la extensión completa del bloque de carga, una cubierta intermedia con lados dobles, o una disposición alternativa específicamente aprobada por la OMI como equivalente a los cascos dobles. Los tanques de lastre tendrán una capacidad, tal que:



✚ Permita al buque navegar en condiciones de lastre sin necesidad de introducir agua de lastre en los tanques de carga.

✚ De acuerdo a las reglas en IACS (Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker) el trim en popa no debe ser mayor que 0.015L.

✚ El calado medio en la cuaderna maestra T_M , excluyendo correcciones de arrufo o quebranto, nunca será inferior a:

$$T_M = 2.0 + 0.02L$$

✚ El calado en popa NO debe ser inferior al necesario para garantizar la inmersión total de la hélice.

Se supone que la longitud del espacio o volumen de carga, también conocida como la longitud del bloque de carga, se extiende desde el punto de popa hasta el mamparo de colisión. La anchura del doble casco se encuentra regulada por MARPOL, Anexo 1, Capítulo 4, Parte A, Regulación 19, 3.1, mediante la siguiente formulación:

$$w = 0.5 + \frac{DWT}{20,000}$$

O 2.0 m, cualquiera que sea menor, pero siempre siendo > 1 m.

La profundidad mínima clara del doble fondo se especifica como:

$$h = B/15 \text{ ó } 2.0 \text{ m, cualquiera que sea menor.}$$

Se ha optado por una altura de doble fondo de 2.42 m, ya que desde el punto de vista constructivo, es una altura suficiente para poder realizar trabajos de soldadura, construcción de bloques y montaje de tuberías que estarán albergadas en el doble fondo.

4.3 COMPARTIMENTACIÓN

Para realizar el análisis de la disposición general, el buque se seccionará en cinco zonas principales.

- ✚ Pique de proa
- ✚ Pique de popa
- ✚ Zona de carga



- ✚ Cámara de maquinas
- ✚ Superestructura

De acuerdo con la CSR (Common Structural Rules) habrá unos mamparos estancos obligatorios que nos limitarán las zonas anteriormente mencionadas:

- ✚ Mamparo de colisión de proa
- ✚ Mamparo de colisión de popa
- ✚ Mamparo a proa y popa de la cámara de maquinas

Los mamparos estancos se ubicarán equidistantemente en la zona de carga, cumpliendo con los requisitos de subdivisión, inundación y estabilidad en avería.

a) PIQUE DE PROA

En el buque proyecto esta zona se utilizará para:

- ✚ Crear un compartimento de protección de la zona de carga.
- ✚ Instalar un tanque de lastre (pique de proa) que es de gran utilidad para corregir trimados, si así se requiere.
- ✚ Es la zona donde se sitúan los equipos de fondeo y amarre.
- ✚ Se encuentra delimitado por el mamparo de colisión.

En este punto se debe establecer la eslora máxima y la mínima del mamparo de colisión que delimita la eslora del pique de proa. Para poder obtener dicha distancia se usará el convenio SOLAS, en el capítulo 02 - 1 regla 9ª se especifica la distancia mínima y máxima de dicho mamparo.

$$L_{\min} = 0.05L_{pp} = 0.05 * 195.69 = 9.785 \text{ m}$$

Y

$$L_{\max} = 0.08L_{pp} = 0.08 * 195.69 = 15.656 \text{ m}$$

Se decide colocar el mamparo de colisión a una distancia de 10 m, a popa de la perpendicular de proa.



b) PIQUE DE POPA

El objetivo de esta zona es albergar los elementos propulsivos (hélice y eje), de maniobra (timón), tanques de lastre (pique de popa) y tanques de agua dulce. El mamparo de colisión de popa, también llamado mamparo de prensaestopas cerrará la bocina del eje propulsor.

El mamparo de colisión de popa estará a una distancia igual al 4% de la eslora

$$L_{\text{popa}} = 0.04L_{\text{pp}} = 0.04 * 195.69 = 7.828 \text{ m}$$

c) CÁMARA DE MÁQUINAS

La eslora de la cámara de máquinas se obtiene por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} L_{\text{maq}} &= 0.28 * L_{\text{pp}}^{0.67} + 0.48 * \text{MCO}^{0.35} \\ \text{MCO} &= 10669.18 \text{ HP} \\ L_{\text{maq}} &= 21.94 \text{ m} \end{aligned}$$

La eslora de la cámara de máquinas $L_{\text{MÁQ}}$ es una formulación que proporciona El Proyecto del Básico del Buque Mercante [2] así como la potencia máxima continua del equipo propulsor MCO . A la eslora de la cámara de máquinas se le adicionarán 4 m.

d) ZONA DE CARGA

En la zona de carga es donde la embarcación va a tener situada la carga a transportar. El volumen útil es uno de los parámetros más críticos en el diseño de estos tipos de embarcaciones, puesto que debe transportar el volumen de carga requerido por el armador.

Los parámetros y dimensiones principales están regulados tanto por el convenio MARPOL como por normas de la sociedad de clasificación coincidiendo ambas normativas en los aspectos comunes que regulan.

Esta zona se extiende desde el mamparo de colisión hasta el mamparo de cámara de máquinas, y debe ser provista de doble casco y doble fondo a través de toda la eslora, los cuales serán usados como tanques de lastre tanto la anchura del doble casco como la altura del doble fondo, están regulados por ABS y MARPOL.



Como la eslora mínima del pique de proa es de 9.78 m se decide colocarla a una distancia de 10 m. Por otro lado para definir el pique de popa se tomará el 4% de la eslora entre perpendiculares y da como resultado 7.83 m.

Por lo que se puede concluir que la eslora de carga se puede obtener de una diferencia de $L_{PP} - L_{POPA} - L_{MÁQ} - 4 - L_{MÍN} = 151.866$ m.

Como ya se obtuvo la eslora de carga previamente, se calcula la eslora de los tanques, algo común de estos buques, es que cuentan con 6 tanques de carga de productos en cada banda, basándose en esto, la eslora de carga se dividirá en 6, por lo tanto cada tanque tendrá una eslora de:

$$L_{\text{tanque}} = \frac{L_{\text{carga}}}{6} = \frac{151.866}{6} = 25.311 \text{ m}$$

La configuración longitudinal estará distribuida de la siguiente manera:

CÓDIGO	CONCEPTO	DISTANCIA (m)
AP	Pique de Popa	7.83
CM	Cámara de máq.	29.77
CB	Cámara de bombas	33.77
Er. BA. TK 1	Tq. de lastre 1	59.08
Er. BA. TK 2	Tq. de lastre 2	84.39
Er. BA. TK 3	Tq. de lastre 3	109.70
Er. BA. TK 4	Tq. de lastre 4	135.01
Er. BA. TK 5	Tq. de lastre 5	160.32
Er. BA. TK 6	Tq. de lastre 6	185.63
Br. BA. TK 7	Tq. de lastre 7	185.63
Br. BA. TK 8	Tq. de lastre 8	185.63
Br. BA. TK 9	Tq. de lastre 9	185.63
Br. BA. TK 10	Tq. de lastre 10	185.63
Br. BA. TK 11	Tq. de lastre 11	185.63
Br. BA. TK 12	Tq. de lastre 12	185.63
FP	Pique de Proa	195.63
BULBO		203.46

Tabla 4-1 Distribución de la eslora de carga.
Fuente de información: Elaboración propia.



e) SUPERESTRUCTURAS

La superestructura del buque se ha dispuesto a popa, a la altura de la cámara de máquinas. Más adelante se explicará a detalle la habilitación, sin embargo, se puede comentar brevemente que se han dispuesto de seis cubiertas y un puente de navegación con una altura de entrepuente. Para el diseño y distribución de espacios de la superestructura se ha tomado como referencia la superestructura buques del mismo tipo.

4.4 CÁMARA DE MÁQUINAS

a) CÁMARA DE MÁQUINAS

La cámara de máquinas es el espacio consignado en la embarcación para llevar los sistemas principales de generación de energía para ser utilizada de manera mecánica, eléctrica, vapor y la que sea requerida abordo. Como es habitual en este tipo de buques la cámara de máquinas se ubica en la popa, alguno de los motivos para situarla en dicha ubicación son:

- ✚ Se reduce al mínimo el espacio desaprovechado por la línea de ejes.
- ✚ Espacios suficientes en el buque, consiguiendo así un mejor manejo de la carga y mayor seguridad.
- ✚ Se consiguen condiciones favorables de navegación, i.e.: trimado positivo en la zona de popa.
- ✚ Mayor calado en la zona de popa, consiguiendo mejorar el rendimiento del propulsor. .

También cuenta con doble fondo en el que hay diversos tanques. La longitud necesaria de la cámara de máquinas depende básicamente de la potencia de la máquina propulsora y de la eslora, otras variables podrían ser el tipo de motor, los sistemas auxiliares. Los principales servicios que se van a considerar son:

- ✚ Propulsión
- ✚ Generación eléctrica
- ✚ Vapor
- ✚ Agua de mar
- ✚ Agua dulce
- ✚ Ventilación y extracción
- ✚ Servicio de aire comprimido
- ✚ Lubricación
- ✚ Habilitación



Previamente se estableció una eslora de 22 m, al valor obtenido se le agregaron 4 m para la cámara de bombas. Para el estudio de los tanques de combustible se tendrá que analizar el volumen necesario de combustible para que se cumplan los requerimientos.

b) CÁMARA DE BOMBAS

De acuerdo con la referencia [5] la cámara de bombas se sitúa a proa de la cámara de máquinas, y las características que debe tener son: estanquidad, independencia de la cámara de máquinas, acceso inmediato con la cubierta principal. En dicho espacio se disponen las bombas, eyectores, filtros, válvulas y demás elementos mecánicos necesarios para la manipulación de la carga y del agua de lastre.

Las dimensiones de la cámara de bombas van del techo del doble fondo 2.42 m hasta la cubierta principal 17.72 m, de banda a banda, y, para estimar la eslora, la referencia [2] proporciona una serie de datos de este espacio en función de la eslora entre perpendiculares del buque, la cual que con una interpolación se puede obtener, arrojando como eslora resultante $L_{CB} = 3.43$ m.

LPP (m)	LCB (m)
100	1.5
150	2.75
200	3.5
300	4.5

Tabla 4-2 Eslora de la cámara de bombas en función de L_{PP} .
Fuente de información: [2].

Los tanques de consumo vienen dimensionados por la autonomía del buque, que en este caso viene definida en la especificación del proyecto. Es decir la autonomía es un dato contractual que viene especificado por un valor de 2500 millas náuticas (redondeado) a una velocidad de 14.5 nudos, a plena carga y con un MCR al 90%.

El buque tendrá 4 tanques de almacén de combustible pesado, dos estarán situados a popa del mamparo de proa de cámara de máquinas y los otros dos estarán en la zona de la popa. Al volumen de los tanques se les quitará el 2% por los gases.

El tanque diario de combustible se dimensiona para que el motor funcione durante 24 hrs al régimen requerido para cumplir la velocidad y autonomía necesarias.



El tanque de sedimentación se diseñará de igual forma pero con un margen del 10% para tomar en consideración las impurezas que contiene el Fuel Oil. Se disponen dos tanques simétricos.

Se han dispuesto dos tanques de almacén para combustible ligero, dichos tanques al igual que los anteriores son simétricos.

En capítulos posteriores, con exactitud en el CAPÍTULO 7: CÁMARA DE MÁQUINAS se describen con mayor detalle las especificaciones de cada uno de los tanques antes mencionados.

4.5 HABILITACIÓN

Esta zona se sitúa sobre la cubierta principal, justo a popa de la zona de carga y sobre la cámara de máquinas.

Como no se dispone de un buque base, se ha tomado como referencia principal la fuente [5], siendo así que se han habilitado seis cubiertas y un puente de navegación con una altura de entrepuente de 2.8 m para dejar un margen de 30 cm entre ellos y tener espacio para las conducciones necesarias.

- ✚ Cubierta principal (Pañoles, víveres, talleres, gimnasio, hospital y cuartos de servicios)
- ✚ Cubierta A (Oficinas, comedor y salones)
- ✚ Cubierta B (Camarotes de tripulación)
- ✚ Cubierta C (Camarotes de oficiales)
- ✚ Cubierta D (Puente de navegación)
- ✚ Sobrepunte

SOBREPUNTE: En esta cubierta se han instalado las distintas antenas de comunicaciones, radares y el palo de luces del buque.

PUENTE DE NAVEGACIÓN: El puente de navegación tiene forma octogonal, cuenta con ventanas al exterior en todo su perímetro.

La cubierta de puente dispone de dos alerones que llegan justo hasta el extremo de cada costado del buque, esto es así con objeto de tener visibilidad suficiente desde la cubierta del puente de gobierno en las operaciones en las que el buque deba maniobrar.



ESPACIOS DE ALOJAMIENTO (CUBIERTAS B Y C): La especificación del proyecto ha impuesto la disposición de 26 camarotes individuales con baño privado, todos iguales con los siguientes elementos:

- ✚ Sofá
- ✚ Mesa
- ✚ Televisión
- ✚ Escritorio y silla
- ✚ Cama de 2 x 1.05 m
- ✚ Mesilla de noche
- ✚ Caja fuerte
- ✚ Papelera
- ✚ Armario para ropa
- ✚ Estantería
- ✚ Lámparas de estudio
- ✚ Colgadores para ropa

El capitán dispone de un camarote especial con bañera y esta comunicado con su oficina. En la siguiente imagen se muestra la disposición general de un camarote de tripulación.

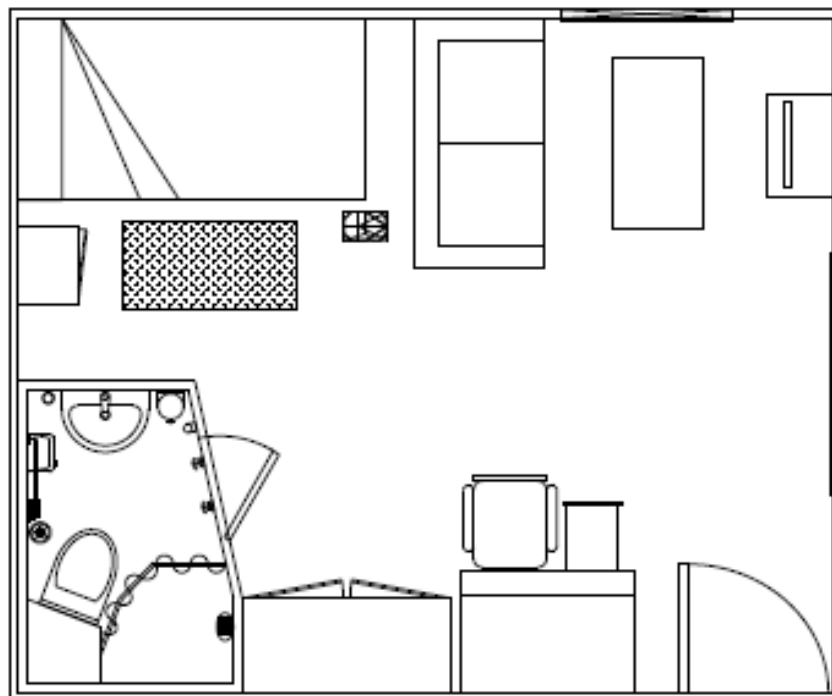


Figura 4-2 Disposición general de un camarote. [6]



CUBIERTA DE SERVICIOS (CUBIERTA A): De acuerdo con los requerimientos de SOLAS el buque deberá de disponer con un ascensor para la superestructura y un tronco de escalera, como medio de evacuación. Algunos de los servicios de la habilitación se disponen en esta cubierta, los cuales son enumerados desde proa y de babor a estribor:

- ✚ Sala de reuniones
- ✚ Oficina del capitán
- ✚ Almacenes de limpieza, de equipajes, de efectos de habilitación, etc.
- ✚ Gimnasio y vestidores
- ✚ Sala de tripulación
- ✚ Sala de oficiales
- ✚ Comedor de tripulación
- ✚ Comedor de oficiales
- ✚ Sala de navegación
- ✚ Almacén de baterías
- ✚ Sala de descanso en el puente
- ✚ Oficina de control de carga
- ✚ Oficina de administración
- ✚ Gambuza seca y frigorífica
- ✚ Lavandería
- ✚ Taller de reparaciones

La cocina se ha comunicado directamente con las gambuzas, situadas en la cubierta inferior, por medio de una escalera y un montacargas con objeto de subir las cargas desde las distintas gambuzas de forma cómoda y eficiente.

4.6 OTROS ESPACIOS

Además de todas las zonas principales descritas, el buque deberá de disponer de una serie de elementos que son los siguientes:

CUBIERTA PRINCIPAL	- Pañol de cubierta - Cuarto de aire acondicionado - Taller de cubierta - Gimnasio - Lavandería - Hospital con cuarto de baño y enfermería separados
--------------------	--



CUBIERTA A	- Oficina del capitán - Oficina del buque - Sala de control de carga - Comedor de oficiales y tripulación - Oficio de oficiales y tripulación - Cocina
CUBIERTA B	- Camarotes de tripulación - Almacén de los equipajes - Almacén de mantenimiento de habilitación
CUBIERTA C	- Cuarto de blancos - Camarote de capitán - Camarote del jefe de máquinas - Camarotes de oficiales
CUBIERTA D	- Equipos de navegación - Equipos principales de comunicación - Elementos para maniobra
SOBREPUEENTE	- Antenas - Radares - Palo de luces

Tabla 4-3 Designación de espacios en las cubiertas.
Fuente de información: Elaboración propia.

4.7 TRIPULACIÓN

A continuación se muestra la distribución de los tripulantes.

PUESTO	Nº
Capitán	1
Primer oficial	1
Segundo oficial	1
Piloto	1
Radio operador	1
Jefe de maquinas	1
Primer oficial	1
Segundo oficial	1
Oficial de carga	1
Contramaestre	1
Electricista	1
Mecánico	1



DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60,000 TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO, DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.

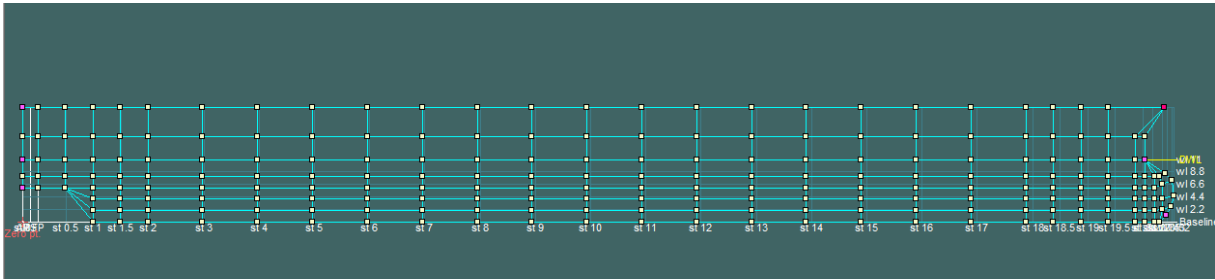
Camarero	1
Engrasador	1
Marineros	5
Bombero	1
Jefe de cocina	1
Ayudante de cocina	1
Total	22

Tabla 4-4 Distribución de la tripulación.
Fuente de información: Elaboración propia.

Con un total de 22 personas, por lo tanto, quedan 4 camarotes individuales y 1 doble de reserva que podrían ser utilizados para alojar a alumnos en prácticas o un mayor número de tripulantes.

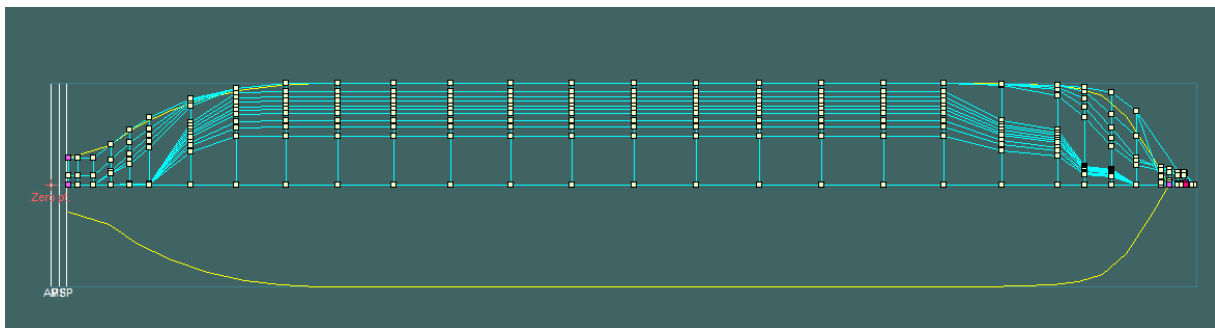


4.8 PLANOS



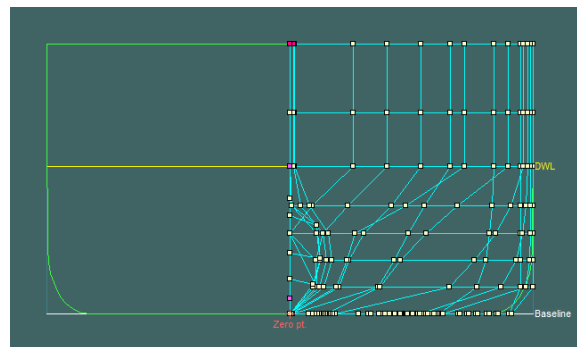
Plano 4-1 Vista de perfil

Fuente de información: Elaboración propia (vía el Software Maxsurf Modeler).



Plano 4-2 Vista de planta

Fuente de información: Elaboración propia (vía el Software Maxsurf Modeler).



Plano 4-3 Vista transversal.

Fuente de información: Elaboración propia (vía el Software Maxsurf Modeler).



4.9 REFERENCIAS

- [1]. Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas.

- [2]. Alvariño, R., Azpiroz, J., y Meizoso, M. (1997). El proyecto básico del buque mercante, Madrid: Fondo Editorial de Ingeniería Naval.

- [3]. Lamb. (2004). Ship Design and Construction. Society of Naval Architects and Marine Engineers. (Chapter 11). SNAME.

- [4]. Lamb. (2004). Ship Design and Construction. Society of Naval Architects and Marine Engineers. (Chapter 29). SNAME.

- [5]. Durango, J. (2009). Proyecto 1,731 Petrolero para crudo de 150,000 TPM. Sección de publicaciones E.T.S.I.N.

- [6]. Moreno, G., Juan J., y Murillo, I., G. (2010). Proyecto petrolero de productos limpios., Sección de publicaciones E.T.S.I. NAVALES.

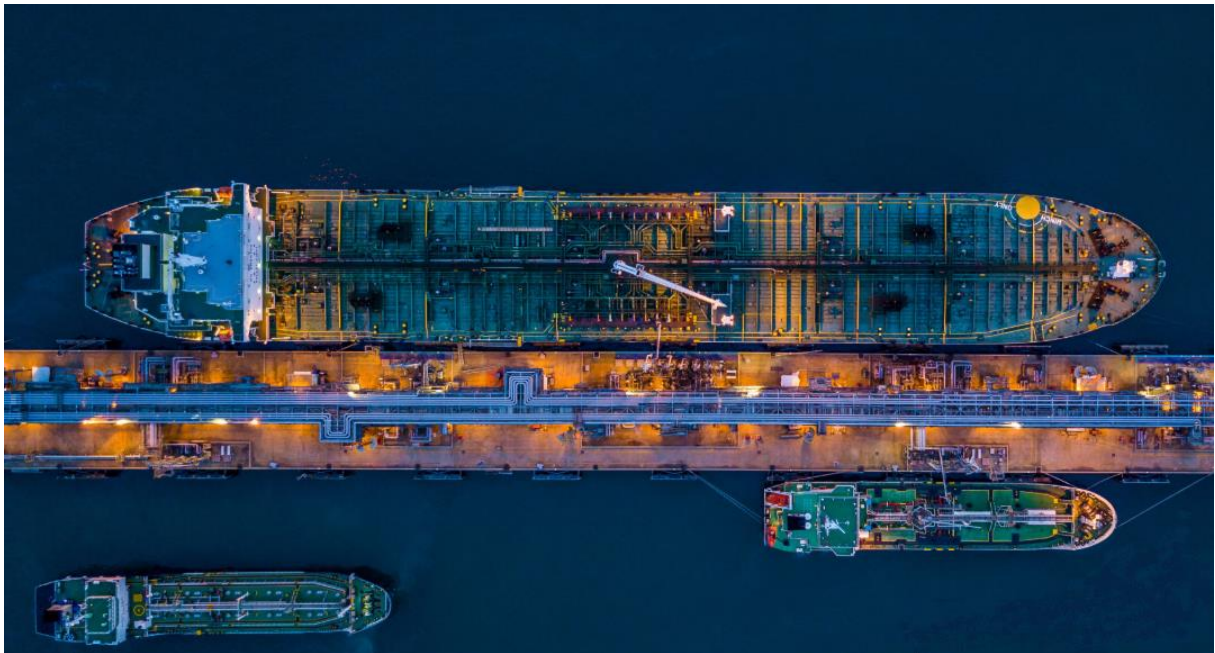
- [7]. American Bureau of Shipping, ABS. Steel Vessels Rules, Houston, Texas, 2016.

- [8]. SOLAS, Edición Consolidada, IMO, Londres, 2014.



TITULACIÓN INTEGRAL EN INGENIERÍA NAVAL
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60000
TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO,
DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.



CAPÍTULO 5 CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL

PROYECTO No.:
ASESOR:
ESTUDIANTE:

IN-05
ANTONIO RUBÉN BENÍTEZ GASCA
SARAH ARCE J.



5.1 INTRODUCCIÓN

En esta sección se presentarán las características generales de las formas, se adjuntará una tabla con una serie de datos a diferentes calados.

Una vez definidas las formas (Capítulo 3) y la disposición general (Capítulo 4) del buque, se procederá a calcular todas sus características hidrostáticas. Las características hidrostáticas que se han calculado para cada condición de diseño son las siguientes:

- ✚ Desplazamiento
- ✚ TPC
- ✚ LCB
- ✚ LCF
- ✚ Coeficientes
- ✚ Superficie mojada
- ✚ Radio metacéntrico transversal
- ✚ Radio metacéntrico longitudinal
- ✚ KB
- ✚ KM_T
- ✚ KM_L

Este conjunto de características se va a obtener para un calado de diseño de 11 m. El cual se ha dividido equidistantemente para poder hacer los respectivos cálculos hidrostáticos, quedando así cinco planos de agua a evaluar, la distancia a la que se encuentran cada uno es de 2.2 m.

Posteriormente se hará el cálculo correspondiente a las curvas de Bonjean, ya que el objetivo de dichas curvas es determinar el volumen de desplazamiento a cualquier calado o condición de Trim. Las curvas cruzadas también son de vital importancia, en dichas curvas se parte de la suposición que el centro de gravedad está ubicado en la quilla, la representación gráfica es de los brazos adrizantes vs el valor de los desplazamientos para un ángulo dado de escora.

5.2 TABLA DE CARACTERÍSTICAS HIDROSTÁTICAS

Las curvas hidrostáticas, son las curvas que reflejan el comportamiento de la carena de un buque para los diferentes calados (condiciones de carga). Para la realización de dichas curvas se utilizó el software Maxsurf Stability el cual permite un cálculo con mayor rapidez. Sin embargo, es importante mencionar que se requiere tener los conocimientos previos para la interpretación de datos.



La referencia para las curvas de parámetros verticales es con base a la quilla. Las curvas de parámetros longitudinales, (posición longitudinal del centro de carena, etc.) están referidas o bien a la sección maestra o a la perpendicular de popa. Las curvas hidrostáticas son calculadas con la condición de no Trimado. Es decir, que el efecto del Trim es constante a un calado medio. Para poder entender mejor dichas especificaciones, a continuación se presentarán de manera general los conceptos:

✚ DESPLAZAMIENTO (Δ): Indica del desplazamiento de la embarcación, el cual es igual al peso del agua desalojada por la misma. El cálculo se debe realizar en agua dulce y en agua salada.

✚ TPC: Indica las toneladas que deben ser agregadas o removidas por centímetro de inmersión, también se deben realizar los cálculos tanto en agua dulce como en agua salada.

✚ MTC: Muestra el valor del momento para cambiar el asiento en un centímetro (MTC). O sea, es el momento necesario para que la embarcación cambie un centímetro el calado de proa o popa.

✚ LCB: Es la distancia longitudinal que existe hacia el centro de empuje a un volumen sumergido conocido, para el caso sin asiento o cero trim, medida desde la sección media. Para posiciones a proa de la sección media se considera asignarle signo más (+) y si está a popa de ella se le asigna signo menos (-). En los buques lentos como es el caso de este proyecto, el número de Froude es bajo y por tanto lo es la resistencia por formación de olas que es un fenómeno que sobre todo se da en la proa y debe ser relativamente fina ya que lo más importante es la resistencia viscosa.

Por ello a igualdad de desplazamiento el centro de carena debe situarse a proa de la cuaderna maestra, en este caso, este punto se sitúa una distancia de 4.6165 metros (2.35 % de L_{pp}) a proa de la cuaderna maestra.

✚ LCF: Es la posición longitudinal del centro de flotación (F), distancia longitudinal medida desde la sección media que existe desde el centro de flotación a un área conocida, para la condición sin asiento de la embarcación.

✚ KB: Indica la altura, o distancia vertical, desde la quilla hasta el centro de empuje (B), considerando que el buque no tiene asiento (Cero Trim).

✚ KM_T : Muestra la altura del metacentro transversal (M) desde la quilla, es formado cuando existen ángulos de escora, sin embargo, si los ángulos son $< 15^\circ$ su valor se mantiene constante.



- ✚ K_{ML}: Es la altura del metacentro longitudinal (M) medido desde la quilla.
- ✚ COEFICIENTE DE BLOCK: Es la relación del volumen de desplazamiento, a ese calado, y el volumen de un prisma rectangular que tiene las mismas dimensiones de eslora, manga y calado. Como ya se mencionó previamente, se estableció un coeficiente de block de 0.8 a 0.85.
- ✚ COEFICIENTE DE LA SECCIÓN MEDIA: El coeficiente de la maestra es consecuencia en cierta forma del coeficiente de block, se debe cuidar el valor de este coeficiente para que en la curva de áreas no se formen hombros (shoulders) demasiado agudos que provoquen separación de flujo y por lo tanto, se genere un drástico aumento en la resistencia del buque. En este caso este coeficiente tiene un valor de 0.9974 demostrando así que la sección media del cuerpo paralelo es completamente rectangular.
- ✚ COEFICIENTE PRISMÁTICO LONGITUDINAL: Este coeficiente está condicionado por los valores del coeficiente de bloque “C_B” y del coeficiente de la sección media “C_M” ya que se cumple:
$$C_{PL} = \frac{\nabla}{A_M * L} = \frac{C_B}{C_M}$$
- ✚ COEFICIENTE PRISMÁTICO: Es la relación del volumen de desplazamiento, a ese calado, y el volumen de un prisma que tiene la misma eslora del barco y la misma área transversal como el área de sección media. Este coeficiente es ligeramente mayor al coeficiente de block a cada línea de agua.
- ✚ COEFICIENTE DEL PLANO DE AGUA: Es la relación entre el área del plano de agua y el área de un rectángulo que tiene las mismas dimensiones de eslora y manga. La dimensión principal es el área.
- ✚ SUPERFICIE MOJADA: Es el área total de su superficie exterior en contacto con el agua circundante. La superficie mojada del casco, sin apéndices y al calado de diseño es un parámetro muy importante para la estimación de la potencia propulsora necesaria del buque.



Hydrostatics at DWL

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	67125	t
2	Volume (displaced)	65487.701	m ³
3	Draft Amidships	11.000	m
4	Immersed depth	11.000	m
5	WL Length	195.700	m
6	Beam max extents on WL	36.240	m
7	Wetted Area	9860.848	m ²
8	Max sect. area	391.746	m ²
9	Sect. area amidships	391.746	m ²
10	Waterpl. Area	6399.458	m ²
11	Prismatic coeff. (Cp)	0.854	
12	Block coeff. (Cb)	0.839	
13	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.983	
14	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.902	
15	LCB length	103.607	from z
16	LCF length	103.273	from z
17	LCB %	52.941	from z
18	LCF %	52.771	from z
19	VCB	5.695	m
20	KB	5.695	m
21	KG fluid	0.000	m
22	BMt	9.793	m
23	BML	261.816	m
24	GMt corrected	15.489	m
25	GML	267.511	m
26	KMt	15.489	m
27	KML	267.511	m
28	Immersion (TPc)	65.594	tonne/c
29	MTc	65775.321	tonne.
30	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	18144.824	tonne.
31	Length:Beam ratio	5.400	

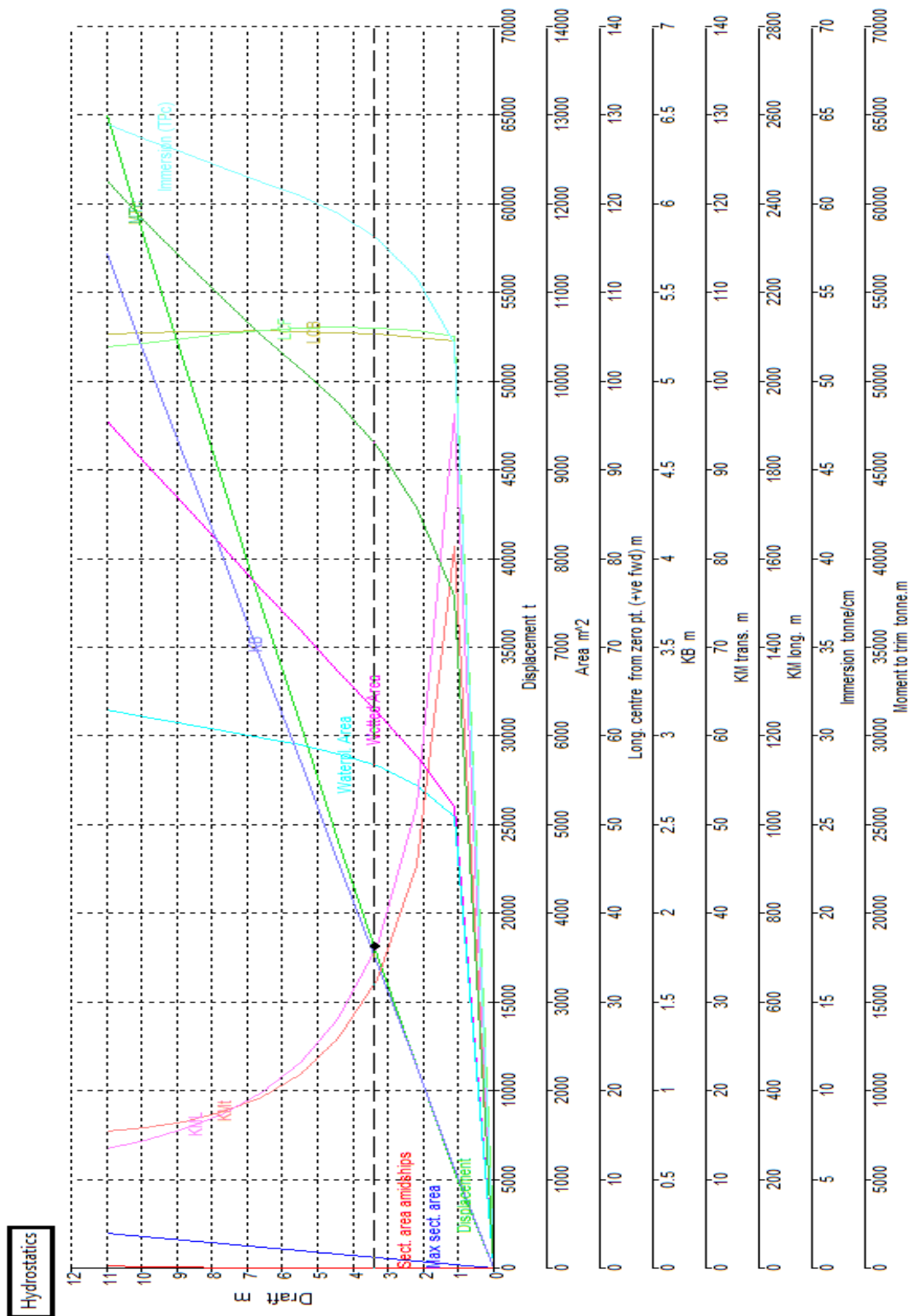
Density (water)

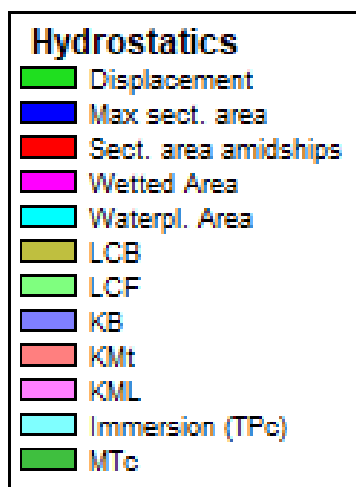
Tabla 5-1 Muestra parcial de cálculos.

Fuente de información: Elaboración propia.



DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60,000 TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO, DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.





Gráfica 5-1 Curvas Hidrostáticas.
Fuente de información: Elaboración propia (vía el Software Maxsurf).

5.3 CURVAS DE BONJEAN

Las curvas de Bonjean son las curvas que muestran la relación del área seccional en función del calado para las distintas secciones en que se divide la eslora, y se utilizan para calcular el desplazamiento en aquellos casos donde el asiento del buque difiera con el que han sido determinadas las propiedades hidrostáticas.

Dada la sección transversal se determinan las áreas seccionales para distintos calados, dichos valores serán en forma de ordenadas a la curva, donde las abscisas serán los calados, las ordenadas de las curvas de áreas corresponden a las secciones por debajo de la línea de flotación máxima. Para este caso al igual que las curvas hidrostáticas se utilizó el software Maxsurf Stability y de igual manera se recomienda el conocimiento previo para la interpretación de datos.

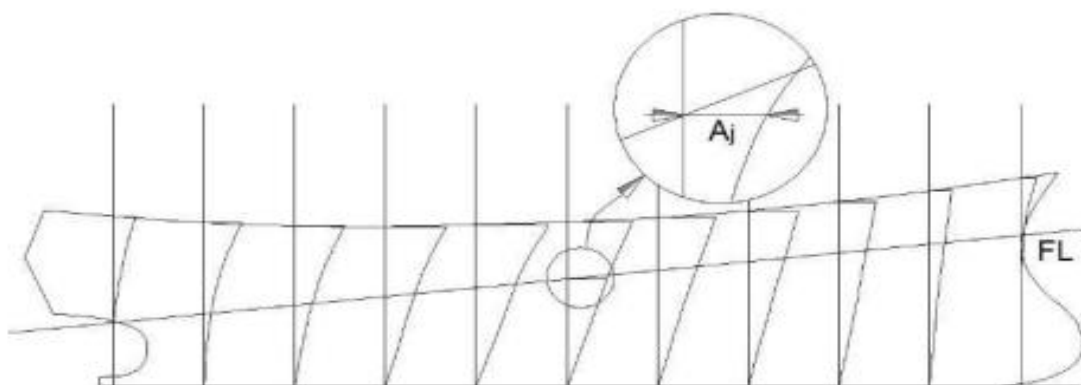


Fig. 5-1 Diagrama de áreas de sección. ^[12]



5.4 CURVAS CRUZADAS DE ESTABILIDAD (CARENAS INCLINADAS)

En modo de introducción se dará una explicación de lo que es y para lo que sirven las curvas cruzadas, ya que, es importante el entendimiento de las mismas para su correcta aplicación por parte de la tripulación. Estas curvas se calcularon vía el software de Maxsurf Stability. Cumpliendo los requisitos de estabilidad que posteriormente se mencionaran.

El astillero constructor de la embarcación calcula una curva (o tabla) llamada curva cruzada, que cuenta con la información necesaria para que el responsable de la estabilidad, calcule la curva de estabilidad estática final.

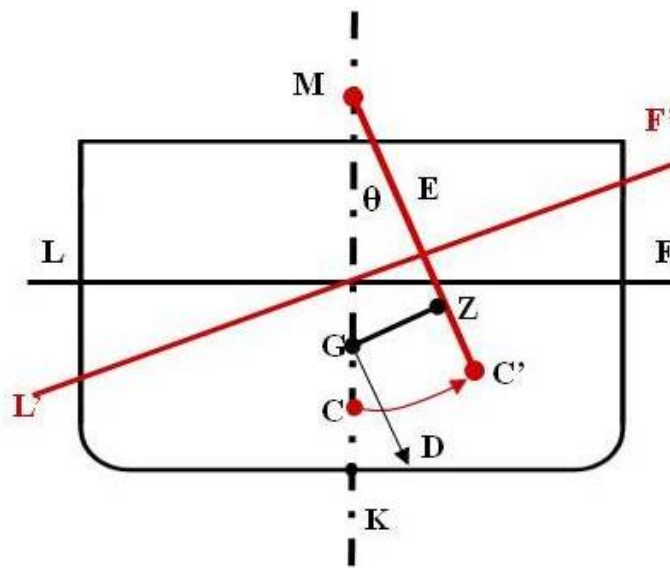


Fig. 5-2 Estabilidad transversal. [11]

En la Fig. 5-2 se puede apreciar que si sube el centro de gravedad G disminuirá la magnitud del brazo de adrizamiento GZ. Si varía el volumen sumergido del barco cambiará la posición del metacentro M, si varía la posición de M cambiará el valor de GZ, o sea, el valor del brazo de adrizamiento GZ es función del volumen sumergido y por lo tanto también del desplazamiento.

El brazo de adrizamiento cambia para los distintos ángulos de escora que pueda tener la embarcación, ya que, al ir escorándose el buque va variando la posición del centro de empuje B, con lo que habrá diferentes distancias entre las líneas de acción del peso de la embarcación y de la fuerza de empuje, es decir, GZ depende del ángulo de escora.

En resumen, la magnitud de GZ depende de las siguientes variables:



- Angulo de Escora
- Desplazamiento
- Altura del Centro de Gravedad

Para poder elaborar un gráfico, se necesita por lo menos una variable, así pues, se podrá hacer un gráfico en un plano (dos dimensiones), sin embargo, si se tienen tres variables realmente hay un problema, ya que no existen los gráficos en cuatro dimensiones.

Para eliminar este problema se recurre al artificio de considerar una de las variables como si fuera una constante, con lo que se tendrá un gráfico tridimensional. El centro de gravedad se supondrá fijo. Este gráfico tridimensional, que viene siendo *curvas cruzadas*, permitirá determinar los brazos de adrizamiento GZ (o KN) para los distintos desplazamientos del buque y para los diferentes ángulos de escora que pueda tener. A continuación se muestra el gráfico tridimensional que se obtendría para un cierto buque:

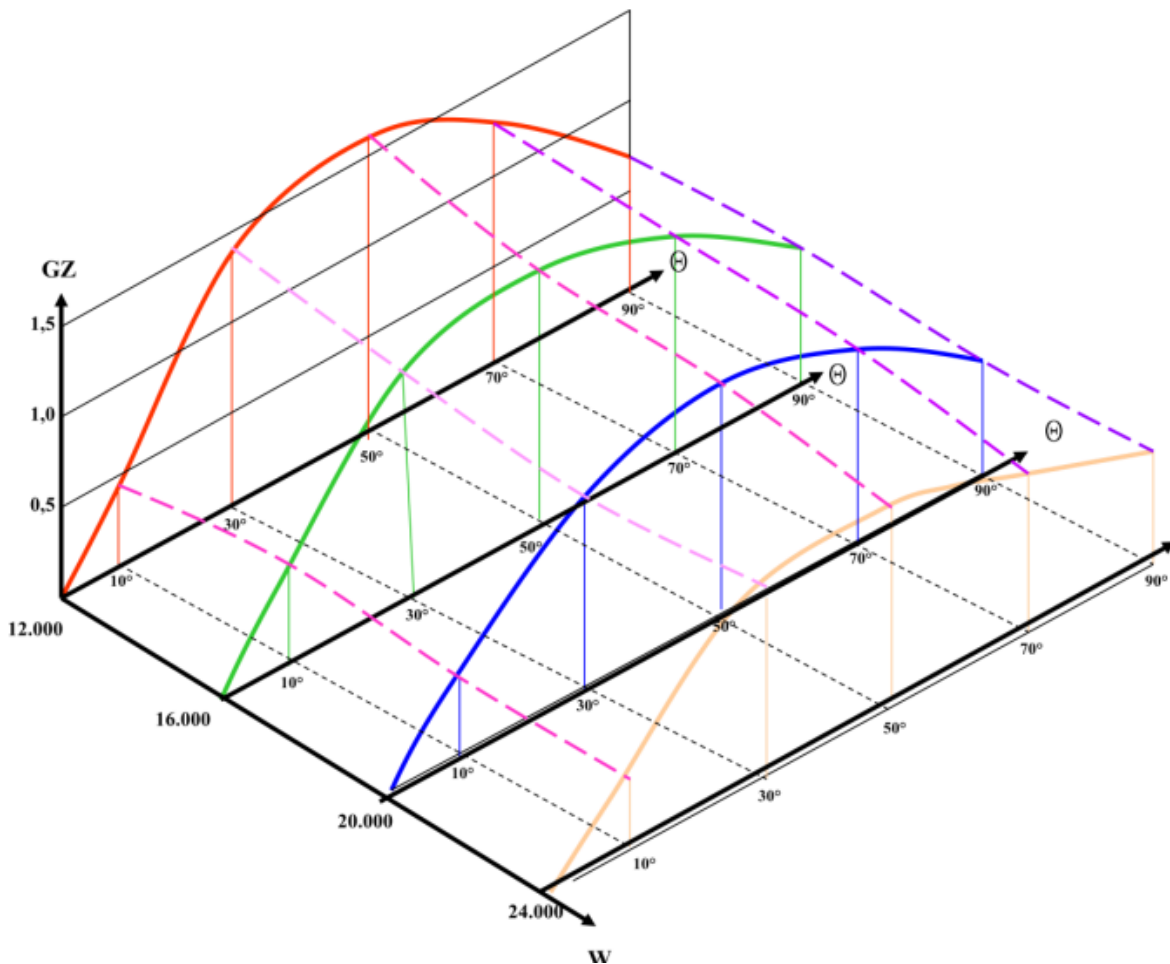


Fig. 5-3 Diagrama de curvas cruzadas. [10]



En las abscisas se tienen los distintos desplazamientos del barco y en las ordenadas los brazos de adrizamiento GZ. En el desplazamiento 12,000 t aparece una curva de estabilidad *roja*, que indica los brazos de adrizamiento para, en este caso, 10°, 30°, 50°, 70° y 90° que son las líneas verticales delgadas de color naranja oscuro. Lo mismo ocurre para desplazamientos de 16,000 t, 20,000 t y 24,000 t en el ejemplo que se ha dibujado.

Las líneas segmentadas de color rosa están uniando todos los brazos de adrizamiento, son los lugares geométricos de los brazos de adrizamiento, en este caso, 10°, 30°, 50°, 70° y 90°, para un mismo ángulo de escora. Estas líneas, son las verdaderas curvas cruzadas. No sería práctico tener a bordo un gráfico tridimensional con una infinidad de planos con curvas de estabilidad, por lo que se recurre a dibujar una proyección plana de una vista paralela a los ejes que indican los ángulos de escora, como se muestra en el gráfico a continuación:

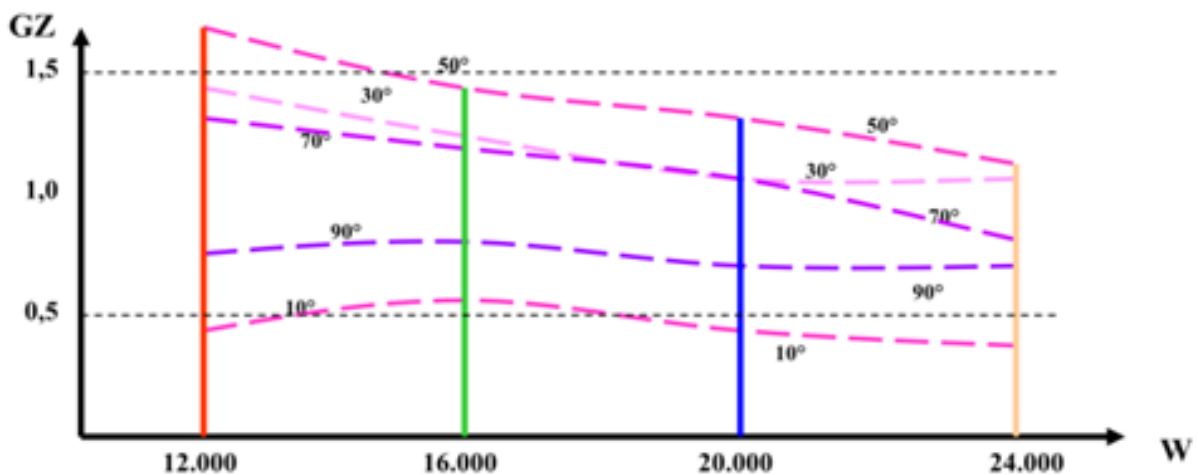


Fig. 5-4 Curvas cruzadas. ^[10]

Las Curvas Cruzadas son un gráfico plano (o bidimensional) que contienen la proyección de un gráfico tridimensional que indica el valor del Brazo de Adrizamiento GZ (o KN) en función del Desplazamiento (Δ) y del Ángulo de Escora (θ). Se considera que el centro de gravedad (G) está fijo en un punto, ubicándolo en el punto más bajo del buque, o sea, la quilla por eso se les llama Curvas KN.

El rango de escoras para el análisis de las curvas cruzadas va desde 0° hasta 90°, los cálculos superiores a 40° son meramente representativos ya que en esa condición la embarcación ya estaría completamente inundada.



De acuerdo con el Anexo II del Convenio MARPOL, cuando estén transportando cargamento total o parcial de hidrocarburos a granel, cumplirán lo dispuesto en la regla 27 del Anexo I del MARPOL 73/78 [1], cumpliendo con los criterios de estabilidad sin avería dispuestos en dicha regla, en la mar aplicarán los siguientes criterios:

✚ El área situada bajo la curva de brazos adrizantes (curva GZ) no será inferior a 0.055 m.rad hasta un ángulo de escora $\varphi = 30^\circ$ ni inferior a 0.09 m.rad hasta un ángulo de escora $\varphi = 40^\circ$, o hasta otro ángulo de inundación φ_f si éste es inferior a 40° .

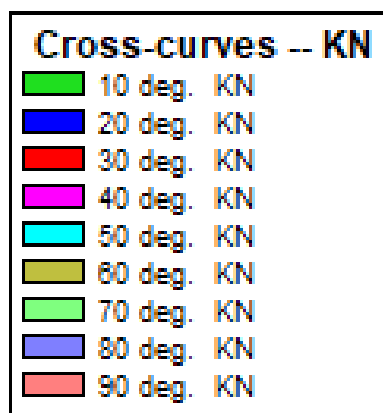
Además, el área situada bajo la curva de brazos adrizantes (curva GZ) entre los ángulos de escora de 30° y 40° , o entre 30° y φ_f , si este ángulo es inferior a 40° , no será inferior a 0.03 m.rad;

✚ El brazo adrizante GZ será como mínimo de 0.20 m a un ángulo de escora igual o superior a 30°

✚ El brazo adrizante máximo corresponderá a un ángulo de escora preferiblemente superior a 30° pero no inferior a 25° , y

✚ La altura metacéntrica inicial GM_0 , corregida para una superficie libre medida a un ángulo de 0° de escora, no será inferior a 0.15 m.

✚ (φ_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 abiertas las pequeñas aberturas por las que no pueda producirse una inundación progresiva).

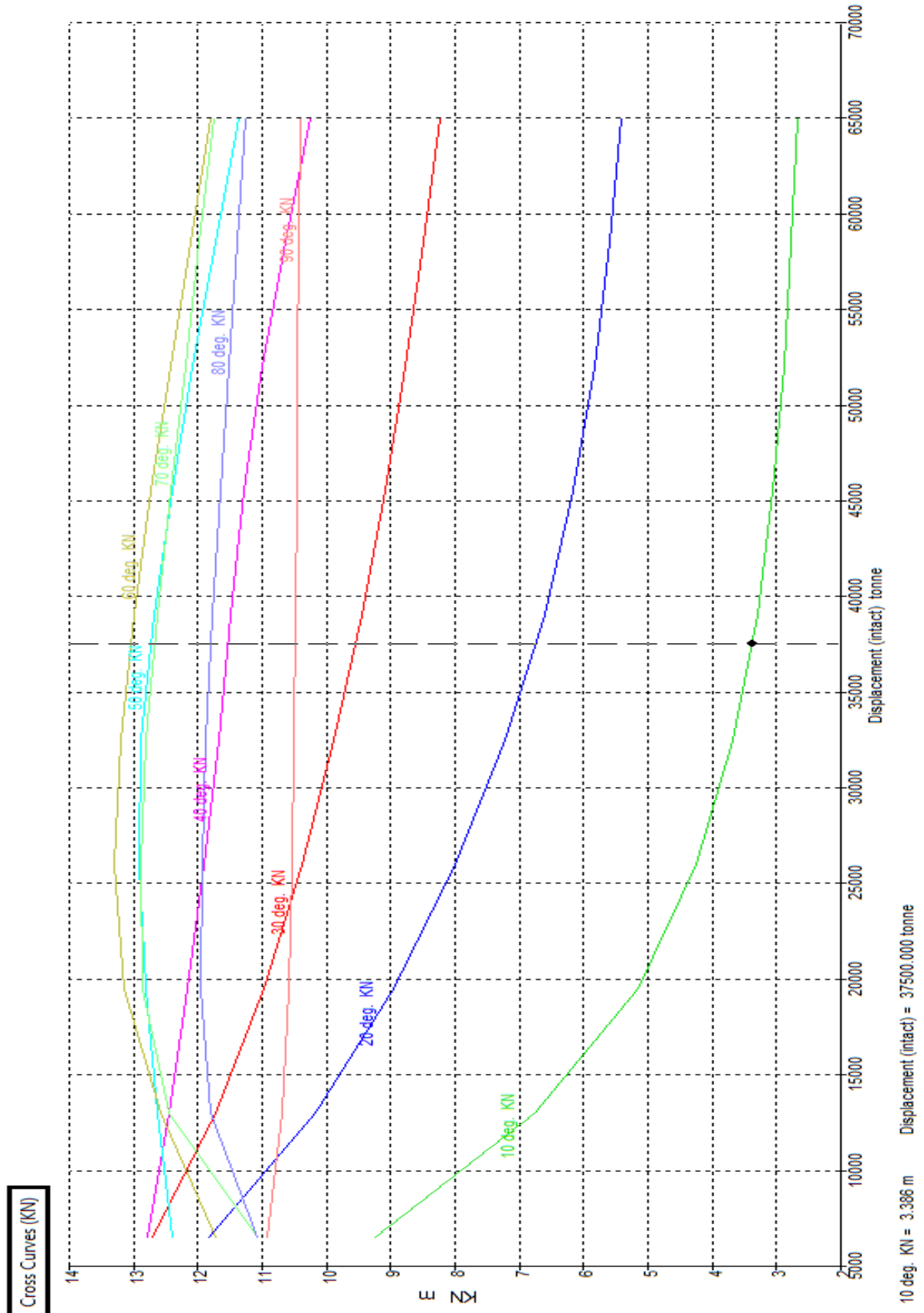


Gráfica 5-2 Curvas KN.

Fuente de información: Elaboración propia (vía el Software Maxsurf).



DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60,000 TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO, DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.





5.5 TANQUES

En esta sección se realizó un análisis en la condición de lastre, sin embargo antes de proceder a explicar de manera detallada, se debe hacer énfasis en que éste se puede obtener de igual forma que los cálculos anteriores, no obstante, se presentará el procesamiento de datos que se hizo inicialmente, ya que el estudio aplicado es la base de la interpretación de los resultados que arroja el software Maxsurf.

Este análisis sirve para obtener las condiciones de navegabilidad de la embarcación variando porcentualmente el lastre distribuido en todos los tanques, en la Tabla 5-5 se podrá visualizar el peso total, el VCG, LCG y TRIM (mínimo necesario de acuerdo con las reglas de la IACS *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers* el trim en popa no debe de ser mayor que 0.015L en m).

Para el análisis fue necesario establecer los espacios de carga (Sección 4.3), una vez obtenidos los valores requeridos, los tanques se diversifican en tanques de agua dulce, aceite, combustible, aguas negras, lodos, carga, lastre, entre otros, la configuración longitudinal quedó con 6 tanques a estribor y 6 a babor. A continuación se presentará de forma breve, las capacidades y dimensiones principales de los tanques:

MEDIDAS DE LOS TANQUES DE LASTRE		
Eslora	25.31	m
Manga	2.00	m
Puntal	17.72	m
Volumen por tanque	896.88	m ³
Volumen total lastre	10762.58	m ³

Tabla 5-3 Medidas de los tanques de lastre.
Fuente de información: Elaboración propia.

TANQUES DE LASTRE DEL DOBLE FONDO		
Eslora	25.31	m
Manga	32.24	m
Puntal	2.42	m
Volumen por tanque	1971.49	m ³
Volumen total lastre	11828.94	m ³
*W _{lastre} (100%)	12124.66	t

Tabla 5-4 Medidas de los tanques de lastre del doble fondo.
Fuente de información: Elaboración propia.

NOTA: Los tanques del doble fondo irán al 100% siempre que estén en la condición de lastre.



Posteriormente se calcula el radio metacéntrico longitudinal (BM_L) con la siguiente formulación, (obtenidas las fuentes de información [2] y [3]).

$$BM_L = \frac{\frac{3}{40} * C_{wp}^2 * L^2}{T * C_B}$$

Con el valor de BML se puede calcular el metacentro longitudinal (KM_L):

$$KM_L = BM_L + KB$$

Ahora se podrá calcular la altura metacéntrica longitudinal (GM_L):

$$GM_L = KM_L - KG$$

Con esto será posible calcular el Trim:

$$TRIM = \frac{(LCG - LCB) * L}{GM_L}$$

Como se acaba de mencionar el Trim en popa no debe de ser mayor que $0.015L$ en m, esto se especifica en la fuente de información [4].

Es necesario calcular el calado para la condición en lastre, para esto se utiliza la fórmula:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^{\frac{C_B}{C_{wp}}}$$

Donde:

T_1 = Calado a plena carga.

T_2 = Calado en condición en lastre

W_1 = Desplazamiento a plena carga.

W_2 = Desplazamiento en lastre.

C_B = Coeficiente de block.

C_{wp} = Coeficiente del plano de agua.

En la fuente de información [5] hay una gráfica que servirá de referencia para saber los rangos de la relación T_B/T , tiene un promedio de 0.60, con un mínimo de 0.48 y un máximo de 0.80, en este rango deben encontrarse los diferentes análisis de la condición en lastre.



Se requiere calcular el calado medio, por lo cual es necesario calcular los calados en proa y en popa. El calado en proa T_{FP} es igual a 0.045L y el calado en popa T_{AP} es igual a la suma de T_{FP} más el Trim.

El calado medio calculado es igual a la suma de T_{FP} y T_{AP} dividido entre dos, y este valor debe ser comparado contra el calado medio mínimo requerido por reglas de la referencia [5]:

$$\text{Calado}_{\text{medio reglas}} = 2.0 + 0.02L$$

Después de varias simulaciones se concluye que los tanques del doble fondo irán al 100% en todo momento que la condición sea de lastre, el calado medio de la condición en lastre al 100% es mayor que el calado mínimo requerido, satisfaciendo así el criterio establecido, la relación T_B/T es poco mayor que el mínimo requerido mas no llega al máximo establecido.

Para los rubros de equipamiento y de maquinaria las fórmulas que se ocuparon para determinar el VCG fueron extraídas de referencia [14], sin embargo, para determinar el LCG se ocuparon formulaciones proporcionadas por la fuente de información [13]. Con base a la tabla 29.II de la referencia [15] se puede aplicar 96.5% en casco, 2.5% en casetería y 1% en superestructura (castillo) para el desglose del acero total. Para tripulantes VCG = 1.45 D, provisiones VCG = 1.22 D.

Para poder determinar el LCG_{HULL} primero se deben determinar los LCG para la categoría del peso en rosca por lo que la referencia [13] proporciona las siguientes formulaciones:

$$LCG_{HULL = CASCO} = -0.15 + LCB = 4.5 \text{ m}$$

$$W_H = 96.5\% \text{ de } W_{ST} = 10,297.66 \text{ tm}$$

- ✚ Donde LCG_{CASCO} y LCB son porcentajes de L
- ✚ El signo sigue la convención positiva a proa de la sección media
- ✚ Distancias referidas a Sección Media

$$LCG_{CASETERÍA = DH} = 87\% \text{ de } L_{PP} = 170.25 \text{ m}$$

$$W_{DH} = 2.5\% \text{ de } W_{ST} = 257.44 \text{ tm}$$

- ✚ Casetería ubicada en popa
- ✚ Distancias referidas desde la perpendicular de proa



$$LCG_{\text{SUPERESTRUCTURA}} = SS = 3.5\% \text{ de } L_{PP} = 6.85 \text{ m}$$

$$W_{SS} = 1.0\% \text{ de } W_{ST} = 102.98 \text{ tm}$$

- ✚ Castillo de proa
- ✚ Distancias referidas desde la perpendicular de proa

$$LCG_M = 53\% \text{ de } L_{\text{CÁMARA MÁQUINAS}} = 185.4 \text{ m}$$

- ✚ $LCG_{\text{MAQUINARIA}} = M$ = para cámara de máquinas en popa
- ✚ Distancias referidas en el extremo a popa de la máquina de propulsión
- ✚ Donde $L_{CM} = 0.28 L^{0.67} + 0.48 MCR^{0.35}$, desde el mamparo de proa de cámara máquinas

$$LCG_{OHE} = (0.25 W_{OHE} * LCG_M + 0.375 W_{OHE} * LCG_{DH} + 0.375 W_{OHE} * 0.5 L) / (W_{OHE}) = 146.9 \text{ m}$$

- ✚ $LCG_{\text{EQUIPAMIENTO Y HABILITACIÓN}} = OHE$: la masa del W_{OHE} se divide en tres partes,
- ✚ 25% se supone ubicado en LCG_M
- ✚ 37.5% se supone ubicado en $LCG_{\text{CASETERÍA}}$,
- ✚ Y el restante 37.5% se supone ubicado en la sección media
- ✚ Distancias referidas desde la perpendicular de proa

Ahora se procede con la segunda parte para poder determinar el LCG_{HULL} , determinar los LCG para la categoría de peso muerto por lo que de acuerdo con la referencia [13] los LCG de los rubros en que se divide el peso muerto (carga y operación) pueden estimarse con base al bosquejo preliminar de la disposición de la configuración típica del diseño del tanker.

Los resultados que se obtuvieron son:

PESO TOTAL =	37161.94	tm
YCG =	7.80	m
LCG =	94.17	m
KM_L =	257.16	m
GM_L =	249.36	m
TRIM =	0.74	m

Tabla 5-5 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.



DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60,000 TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO, DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.

Por último queda decir que para poder obtener el peso total solo se realizó una suma de pesos, peso en rosca y peso muerto. Para determinar el VCG, LCG, KM_L , GM_L y TRIM, las formulaciones correspondientes se encontrarán en las referencias [2], [14] y [15].

CONDICIÓN 100%: LASTRE DISTRIBUIDO EN TODOS LOS TANQUES					
LPP	195.69	m	CONDICIÓN:	100%	
B	36.24	m			
D	20.13	m			
T	11.00	m			
LCG_{HULL}	4.5	m			
C_B	0.84				
W_{margen}	3				
1 + S	1.005				
KG_{margen}	0.76	m			
Margen de sup. Libre	3	m			
BM_T	9.61	m			
$KB = VCB$	5.65	m			
BM_L	251.51	m			
LCB	93.23	m			
Densidad	1.025	tm/m ³			
CATEGORÍA/CONCEPTO	W (t.m)	VCG (m)	PRODUCTO	LCG (m)	PRODUCTO
PESO EN ROSCA					
Casco	10297.66	9.31	95819.88	93.08	958512.9
Casetería	257.44		0	170.2540054	43830.5
Superestructura	102.98		0	6.85	705.3
Estructura total	10658.08		0		0
Equipamiento	1865.46	22.09	41208.1	146.9	274005.0
Maquinaria	1179.38	8.62	10162.7	185.4	218636.1
SUMA	13702.91	10.74	147190.6	109.2	1495689.8
PESO MUERTO (CARGA Y OPERACIÓN)					
Heavy Fuel oil	214.3	15.70	3365.4	10	2143.1
Diesel Fuel oil	23.8	2.82	67.1	10	238.1
Lube Oil	15.0	7.05	105.7	176.9	2653.0
Agua	42.7	2.01	85.9	176.9	7547.0
Tripulación	4.4	29.19	129.03	185.7	820.8
Provisiones	2.5	24.56	61.65	185.7	466.1
Lastre	23156.3	6.0	139021.2	85.9	1989896.5
SUMA	23459.0	6.1	142836.0	85.4	2003764.6
$T_1 =$	11.00	m			
$W_1 =$	67503.19	t			
$W_2 =$	37161.94	t			
$T_2 =$	6.30	m			
$TB/T =$	0.57	m			
$T_{MÍN. REQ.}$	5.91	m			
T_{FP}	8.806	m			
T_{AP}	9.54	m			
T_{MEDIO}	9.17	m			

Tabla 5-6 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.



5.6 FRANCOBORDO

Para determinar el francobordo se van a seguir las reglas del Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 1966 (Edición revisada 2005).

Se define el francobordo como la distancia vertical, medida en la sección media del buque, entre el borde superior de la cubierta de francobordo (para el buque proyecto la cubierta principal) y el borde superior de la línea de francobordo.

Para la realización de los cálculos de francobordo, el reglamento emplea una serie de parámetros que se definen en la Regla 3 y que se resumen a continuación:

La forma de obtener el francobordo fue basada en la fuente de información [9], debido a que ya se tiene una alternativa seleccionada y consecuentemente sus dimensiones, se procede a estimar la relación T/D:

$$FB = T ((1/(T/D))-1)$$

El convenio 1966 indica la forma de calcular el francobordo por medio de una serie de tablas y fórmulas, se aplicarán varias correcciones, se empieza por saber en qué clasificación cae el buque, puede ser tipo A o tipo B, en este caso, el buque es tipo A, así que se procede a ingresar a la tabla que proporciona la fuente [1] con la eslora de la alternativa seleccionada, como $L_{PP} = 195.69$ m se tomará la eslora siguiente $L_{PP} \cong 196$ m, entonces el valor correspondiente al francobordo tabular será de 2572 mm. Ahora, a dicho francobordo se le aplicarán las correcciones que apliquen.

FRANCOBORDO TABULAR DE BUQUES TIPO A

Eslora (m)	Frbordo. (mm)	Eslora (m)	Frbordo. (mm)	Eslora (m)	Frbordo. (mm)
50	443	119	1442	188	2486
51	455	120	1459	189	2497
52	467	121	1476	190	2508
53	478	122	1494	191	2519
54	490	123	1511	192	2530
55	503	124	1528	193	2541
56	516	125	1546	194	2552
57	530	126	1563	195	2562
58	544	127	1580	196	2572

Fig. 2-7 Francobordo tabular de buques tipo A. [6]



- Corrección por coeficiente de bloque:

$$C_2 = \frac{CB85D + 0.68}{1.36}$$

- Corrección por puntal:

$$C_3 = (D - (L/15))R$$

- Corrección por superestructuras:

Eslora del buque (m)	Corrección De (mm)
24	350
85	860
122 y más	1070

Tabla 5-6 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.

Si la longitud de la superestructura E es menor que la eslora del buque, a la deducción anterior se le aplicará un porcentaje *Por* de acuerdo con la tabla que se presenta en dicha fuente:

$$C_4 = De * Por/100$$

- Corrección por arrufo:

$$C_5 = (1 - A/100)(4.168L + 125)(0.75 - E/(2L))$$

- Francobordo de verano:

Nota: no hay C_1 debido a que no es una embarcación de madera.

$$FB = (FBT + C_1) * C_2 + C_3 - C_4 + C_5$$

- Corrección francobordo de agua dulce:

$$\Delta / (40 * TCL), \text{ cm}$$

Francobordo de agua dulce = francobordo de verano – francobordo de agua dulce



Francobordo	Francobordo Tabular	Corrección por CB, C2	Corrección por puntal, C3	Corrección por superestructura, C4	Corrección por arrufo, C5	Francobordo Verano	Francobordo de agua dulce	Francobordo Total
9.13	2572	1.12	1771.7176	74.9	635.73	5223.0195	25.81	4964.9294

Tabla 5-7 Muestra parcial de cálculos.
Fuente de información: Elaboración propia.

De modo que si se resta el francobordo al puntal de diseño que es de 20.13 m, se obtendrá un valor de 15.17 m, el cual sobrepasa los 11 m de calado de diseño requerido, por lo que se aprecia que el francobordo calculado se encuentra en cumplimiento del Convenio Internacional de Líneas de Máxima Carga.

5.7 ARQUEO

La fuente de información [6] comenta que se puede hacer el cálculo del arqueo a partir de un buque parecido o se puede hacer un cálculo independiente.

El arqueo bruto es el volumen total del buque, evidenciando que será el volumen del espacio comprendido entre el casco exterior y el fondo del casco hasta el volumen que corresponde a los espacios cerrados ubicados justamente por encima de la cubierta superior.

Sin embargo, el arqueo bruto es el volumen de todos los espacios del buque, o sea, excluyendo los espacios destinados a alojamientos y servicios de tripulación, cámara de máquinas, así como los equipos de gobierno, fondeo y remolque.

El convenio internacional sobre arqueo de buques convenio 1969 [7], establece una serie de definiciones que son importantes para dicho cálculo:

✚ Cubierta superior (regla 2.1): La cubierta superior es la cubierta completa más alta expuesta a la intemperie y a la mar, dotada de medios permanentes de cierres estancos de todas las aberturas en la parte expuesta de la misma, y bajo la cual todas las aberturas en los costados del buque estén dotadas de medios permanentes de cierre estanco. En un buque con una cubierta superior escalonada, se tomará como cubierta superior la línea más baja de la cubierta expuesta a la intemperie y su prolongación paralelamente a la parte más elevada de dicha cubierta.

✚ Puntal de trazado (regla 2.2): el puntal de trazado es la distancia medida desde el canto alto de la quilla hasta la cara inferior de la cubierta superior en el costado.



✚ Manga (regla 2.3): la manga es la manga máxima del buque, medida en el centro del mismo, fuera de miembros en los buques de forro metálico, o fuera de forros en los buques de forro no metálico.

✚ Espacios cerrados (regla 2.4): son espacios cerrados todos los limitados por el casco del buque, por mamparos fijos o movibles y por cubiertas o techos que no sean toldos permanentes o movibles. Ninguna interrupción en una cubierta, ni abertura alguna en el casco del buque, en una cubierta o en el techo de un espacio, ni tampoco la ausencia de mamparos impedirá la consideración de un espacio como espacio cerrado.

✚ Espacios excluidos (regla 2.5): cuando un espacio cumpla por lo menos con una de las siguientes tres condiciones será tratado como espacio cerrado:

1. Si el espacio está dotado de serretas u otros medios para estibar
2. Si las aberturas están provistas de cualquier sistema de cierre
3. Si la construcción permite alguna posibilidad de que tales aberturas puedan cerrarse.

✚ Pasajero (regla 2.6): por pasajero se entiende toda persona que no sea:

1. El capitán y los miembros de la tripulación u otras personas empleadas o contratadas para cualquier labor de a bordo sea necesaria para el buque, y
2. Un niño menor de un año.

✚ Espacio de carga (regla 2.7): los espacios de carga que deben incluirse en el cálculo del arqueo neto son los espacios cerrados adecuados para el transporte de la carga que ha de descargarse del buque, a condición de que esos espacios hayan sido incluidos en el cálculo del arqueo bruto. Estos espacios de carga serán certificados mediante marcas permanentes.

✚ Estanco a la intemperie (regla 2.8): estanco a la intemperie significa que el agua no penetrará en el buque cualquiera que sea el estado de la mar.

El arqueo de un buque, no tiene algo que ver con su desplazamiento. Dicho cálculo es importante porque servirá para el cálculo de las tasas portuarias a pagar. A continuación se presentarán la secuencia a realizar:



1. Se calcula el volumen encerrado por el casco hasta la cubierta de cierre (o cubierta de francobordo; es decir, la cubierta que cierra por arriba el casco de manera estanca)
2. Se calculan los volúmenes encerrados por las estructuras por encima de la cubierta de cierre: casetas, superestructuras, etc.
3. Con $V = V_{\text{casco}} + V_{\text{sup}}$, se calcula GT directamente:
4. $GT = (0.2 + 0.02 * \log_{10} V)V$

Las unidades del resultado son directamente “GT”, que se pueden leer como: “toneladas de arqueo bruto”.

5. Las “NT” o “toneladas de arqueo neto” se calculan mediante una fórmula diferente:

$$NT = K_2 V_c \left[\frac{4T}{3D} \right]^2 + K_3 \left(\frac{N_1 + N_2}{10} \right)$$

Donde:

$$K_2 = 0.2 + 0.02 \log_{10} V_c$$

$$K_3 = 1.25 (GT + 10000) / 10000$$

N_1 = Número de pasajeros en camarotes que no tengan más de 8 literas

N_2 = Número de los demás pasajeros

Si N_1 y N_2 son menor que 13, ambos valores serán considerados igual a cero.

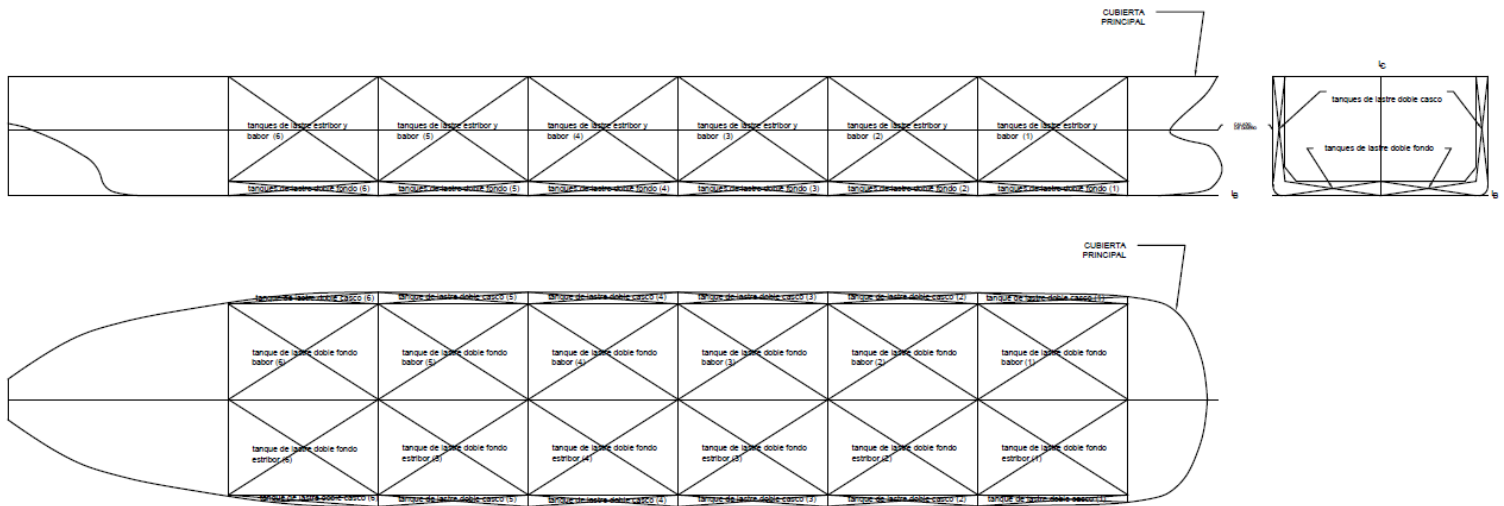
Además, se deberá de tomar en cuenta:

- ✚ El factor $(4T/3D)^2$, no se tomará si es superior a 1
- ✚ El término $K_2 * V_c (4T/3D)^2$ no se tomará si es inferior a 0.25 GT
- ✚ NT no se tomará si es inferior a 0.30 GT

Las características que componen la fórmula de NT han sido establecidas desde la fase inicial del proyecto, a excepción de V_c que se calculará más adelante.

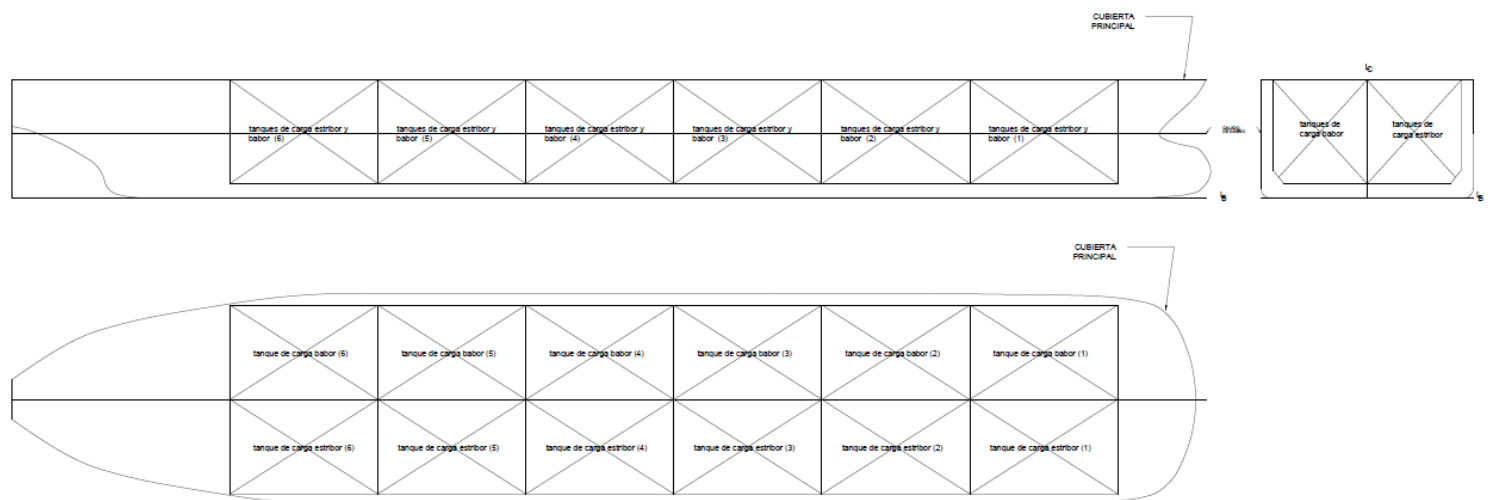


5.8 PLANOS DE TANQUES



Plano 5-1 Arreglo general de tanques de lastre.

Fuente de información: Elaboración propia.



Plano 5-2 Arreglo general de tanques de carga.

Fuente de información: Elaboración propia.



5.9 REFERENCIAS

- [1]. Organización Marítima Internacional. (2002). Convenio MARPOL 73/78/90.
- [2]. Barras, C. B. (2004). Ship Design and Performance. Gran Bretaña: Elsevier.
- [3]. International Association of Classification Societies. (2012). Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers
- [4]. Organización Marítima Internacional. (1974). Convenio Internacional para la seguridad de la vida humana en el mar. Londres.
- [5]. Harvald, SV. AA. (1983). Resistance and Propulsion of Ships. New York: Wiley
- [6]. Alvaríño, R., Azpiroz, J., y Meizoso, M. (1997). El proyecto básico del buque mercante, Madrid: Fondo Editorial de Ingeniería Naval.
- [7]. Ministerio de Relaciones Exteriores, Dirección de Asuntos Jurídicos Internacionales., «<http://apw.cancilleria.gov.co>», [En línea]., 2018., Ubicación: http://apw.cancilleria.gov.co/tratados/AdjuntosTratados/e6ef7_OMI%20-%20CONV%20BUQUES%20-%201969.pdf
- [8]. International Association of Classification Societies. (2012). Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers.
- [9] Convenio Internacional Sobre Líneas de Carga, 1966.
- [10]. Curvas hidrostáticas., «<https://wiki.ead.pucv.cl>», [En línea]., 2018., Ubicación: https://wiki.ead.pucv.cl/images/b/ba/03_Curvas_Hidrostaticas.pdf
- [11]. Estabilidad transversal., «<http://estabilidadbuque.blogspot.com>», [En línea]., 2018., Ubicación: https://www.google.com.mx/search?newwindow=1&rlz=1C1SQJL_esMX816MX816&biw=1366&bih=626&tbm=isch&sa=1&ei=oy3PW-CTEJGctAWcvr7gDg&q=estabilidad+transversal+de+un+barco&oq=estabilidad+transversal+de+un+barco&gs_l=img.3...85075.92316.0.92847.23.23.0.0.0.0.215.2621.8j13j1.22.0...0...1c.1.64.img..1.12.1523...0j0i7i30k1j0i7i5i30k1j0i8i7i30k1j0i8i30k1j0i24k1.0.p4OHfObnkok#imgsrc=eIWN76LcgQHXTM



DISEÑO DE EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO DE 60,000 TONELADAS DE PESO MUERTO. DIMENSIONAMIENTO, FORMAS DEL CASCO, DISPOSICIÓN GENERAL Y CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.

[12]. Propiedades y cálculo de carenas., «<https://eva.fing.edu.uy>», [En línea], 2018., Ubicación:https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/137129/mod_resource/content/1/Cap%C3%ADtulo%202%20-%20Propiedades%20y%20C%C3%A1lculo%20de%20Carenas%20Derechas.pdf

[13]. Benítez Gasca, Antonio. (2017). Apuntes de clase. Diseño de Vehículos Marinos NVC 2016. Instituto Tecnológico de Boca del Río. Tecnológico Nacional de México.

[14]. Lamb. (2004). Ship Design and Construction. Society of Naval Architects and Marine Engineers. (Chapter 11). SNAME.

[15]. Lamb. (2004). Ship Design and Construction. Society of Naval Architects and Marine Engineers. (Chapter 29). SNAME.