

## TITULACIÓN EN INGENIERÍA NAVAL

APLICACIÓN DEL DISEÑO PARAMÉTRICO (DISEÑO DE EMBARCACIÓN TIPO TANKER PARA EL TRANSPORTE DE PRODUCTOS DE 50 000 DWT, DOBLE CASCO, DIMENSIONAMIENTO Y FORMAS DEL CASCO).



ASESOR:

ANTONIO R. BENÍTEZ GASCA

ESTUDIANTE:

DANIEL HERNÁNDEZ ARMENTA

|                                                                                           |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Capítulo 1 INTRODUCCIÓN .....                                                             | 5    |
| 1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....                                                     | 1.2  |
| 1.2.- JUSTIFICACIÓN .....                                                                 | 1.6  |
| 1.3.- OBJETIVO GENERAL .....                                                              | 1.7  |
| 1.4.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                         | 1.7  |
| 1.5.- FUENTES DE INFORMACIÓN.....                                                         | 1.9  |
| Capítulo 2 MARCO TEÓRICO .....                                                            | 10   |
| 2.1.- Diseño Paramétrico .....                                                            | 2.5  |
| 2.2.- Análisis de Buques Similares .....                                                  | 2.5  |
| 2.2.1.- Estrategia general -Diseño en un solo punto contra diseño basado en conjunto .... | 2.5  |
| 2.2.2.- Desarrollo del modelo paramétrico .....                                           | 2.6  |
| 2.3.- Descripción de un petrolero de productos limpios .....                              | 2.6  |
| 2.4.- Descripción del producto a transportar .....                                        | 2.7  |
| 2.5.- Circulación del producto.....                                                       | 2.7  |
| 2.6.- Tipos de tanqueros de productos .....                                               | 2.8  |
| 2.7.- Rangos para los principales parámetros técnicos. ....                               | 2.9  |
| 2.7.1.- Requerimientos de la misión y optimización de diseño .....                        | 2.9  |
| 2.7.2.- Tamaño de un Tanquero de productos .....                                          | 2.9  |
| 2.7.3.- Características y capacidades únicas de un petrolero de productos .....           | 2.10 |
| 2.7.4.- Funcionamiento de un petrolero de productos limpios .....                         | 2.11 |
| 2.7.5.- Clasificación de tanqueros según su tamaño.....                                   | 2.12 |
| 2.7.6.- Disposición de los tanques de carga .....                                         | 2.13 |
| 2.8.- Proceso de Obtención de las formas del Casco .....                                  | 2.14 |
| 2.9.- Fuentes de Información. ....                                                        | 2.16 |
| Capítulo 3 METODOLOGÍA .....                                                              | 17   |
| 3.1.- Dimensionamiento .....                                                              | 3.1  |
| 3.1.1.- Condición de Diseño .....                                                         | 3.1  |
| 3.1.2.- Parámetros Dominantes .....                                                       | 3.4  |
| 3.1.3.- Criterio de Peso Muerto .....                                                     | 3.5  |
| 3.1.4.- Criterio de Volumen.....                                                          | 3.7  |
| 3.1.5.- Criterio de Estabilidad .....                                                     | 3.9  |
| 3.1.6.- Criterio Ambiental (EEDI) .....                                                   | 3.10 |

|                                                                               |      |
|-------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.1.7.- Criterio Económico .....                                              | 3.10 |
| 3.2.- Proceso de Obtención de las Formas del Casco.....                       | 3.12 |
| 3.2.1.- Diseño de la Sección Media.....                                       | 3.13 |
| 3.2.2.- Proa de Bulbo.....                                                    | 3.16 |
| 3.2.3.- Curva de áreas seccionales ( $A/A_{\max}$ ).....                      | 3.22 |
| 3.2.4.- Curva de Plano de Agua ( $B/B_{\max}$ ).....                          | 3.23 |
| 3.3.- Obtención de Formas Definitivas. ....                                   | 3.24 |
| 3.3.1.- Dimensiones y Coeficientes de Forma Requeridos .....                  | 3.27 |
| 3.3.2.- Dibujos de Líneas de Forma y Curvas $A/A_{\max}$ y $B/B_{\max}$ ..... | 3.28 |
| 3.4.- Datos para Curvas Hidrostáticas .....                                   | 3.30 |
| 3.5.- Disposición General.....                                                | 3.31 |
| 3.6.- Dimensiones Principales.....                                            | 3.33 |
| 3.7.- Compartimentación.....                                                  | 3.34 |
| 3.7.1.- Eslora del Pique de Proa.....                                         | 3.34 |
| 3.7.2.- Eslora del Pique de Popa .....                                        | 3.35 |
| 3.7.3.- Eslora de la Cámara de Bombas .....                                   | 3.35 |
| 3.7.4.- Puntal del Doble Fondo .....                                          | 3.36 |
| 3.7.5.- Espesor del Doble Costado.....                                        | 3.36 |
| 3.7.6.- Volumen del Doble Costado .....                                       | 3.36 |
| 3.7.7.- Volumen del Doble Fondo.....                                          | 3.37 |
| 3.7.8.- Volumen del Doble Casco.....                                          | 3.37 |
| 3.7.9.-Volúmenes de Piques Combinados.....                                    | 3.37 |
| 3.7.10.- Volumen de la Cámara de Bombas.....                                  | 3.38 |
| 3.7.11.- Volumen del Casco Completo .....                                     | 3.38 |
| 3.7.12.- Cámara de Máquinas.....                                              | 3.38 |
| 3.7.13.- Espacios de Carga .....                                              | 3.39 |
| 3.8.- Subdivisión Estanca .....                                               | 3.40 |
| 3.8.1.- Disposición de los Mamparos Estancos.....                             | 3.40 |
| 3.8.2.- Posición del Mamparo de Colisión.....                                 | 3.40 |
| 3.9.- Habilitación.....                                                       | 3.41 |
| 3.9.1.- Diseño y Construcción .....                                           | 3.44 |
| 3.9.2.- Prevención del Ruido y Vibraciones .....                              | 3.45 |
| 3.10.- Tripulación.....                                                       | 3.45 |

|                                                                       |      |
|-----------------------------------------------------------------------|------|
| 3.11.- Cálculos de Arquitectura Naval .....                           | 3.46 |
| 3.11.1.- Características Hidrostáticas .....                          | 3.47 |
| 3.11.2.- Curvas de Bonjean .....                                      | 3.51 |
| 3.11.3.- Curvas cruzadas de estabilidad o de carenas inclinadas ..... | 3.51 |
| 3.11.4.- Tanques .....                                                | 3.52 |
| 3.11.5.- Francobordo .....                                            | 3.54 |
| 3.12.- Arqueo .....                                                   | 3.58 |
| 3.12.1.- Cálculo del arqueo de manera directa .....                   | 3.58 |
| 3.13.- Fuentes de Información. ....                                   | 3.61 |
| Capítulo 4 ANEXOS.....                                                | 62   |
| Anexo 1.....                                                          | 4.1  |
| Anexo 2.....                                                          | 4.2  |
| Anexo 3.....                                                          | 4.3  |
| Anexo 4.....                                                          | 4.4  |
| Anexo 5.....                                                          | 4.5  |
| Anexo 6: Tabla de Offsets (Segunda Iteración) .....                   | 4.6  |
| Anexo 7.....                                                          | 4.7  |
| Anexo 7-A Tabla de Offsets (Tercera Iteración) .....                  | 4.8  |
| Anexo 7-B: Tabla de Cálculos Hidrostáticos.....                       | 4.9  |
| Anexo 8 Disposición de tanques de carga.....                          | 4.10 |
| Anexo 9 Disposición General.....                                      | 4.11 |
| Anexo 10 Curvas Hidrostáticas.....                                    | 4.12 |
| Anexo 11.....                                                         | 4.13 |



PROYECTO DE TITULACIÓN EN INGENIERÍA NAVAL

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

APLICACIÓN DEL DISEÑO PARAMÉTRICO (DISEÑO DE EMBARCACIÓN TIPO TANKER PARA EL TRANSPORTE DE PRODUCTOS DE 50 000 DWT, DOBLE CASCO, DIMENSIONAMIENTO Y FORMAS DEL CASCO).



## Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

ASESOR:

ANTONIO R. BENÍTEZ GASCA

ESTUDIANTE:

DANIEL HERNÁNDEZ ARMENTA

El setenta por ciento de la superficie terrestre se encuentra cubierta por agua, los océanos y mares conectan a todos los continentes entre sí. Desde tiempos remotos, éstos han sido la principal vía de comunicación entre naciones, un sinnúmero de bienes han sido transportados en embarcaciones desde los albores de la humanidad. A su vez, los tipos de bienes transportados son tan diversos y algunos tan especializados que, hoy en día es necesario clasificar a las embarcaciones por el tipo de mercancía que transportan o bien, por el tipo de servicio que desempeñan.

Los bienes transportados vía marítima pueden ser de infinitas formas y tamaños, desde materia prima utilizada para crear tornillería hasta cargamentos de alimentos de origen vegetal. Inmerso en esa variedad de bienes a transportar existe uno muy apreciado alrededor del mundo. El llamado oro negro (nombrado así por su enorme valor comercial), es un recurso natural que pocos países pueden poseer a grandes escalas. Los países que cuentan con inmensas reservas de petróleo suelen poseer una economía sólida gracias a ello. Los productos derivados del petróleo crudo son conocidos como productos limpios (del petróleo). Entre los productos limpios se encuentra el fluido mundialmente conocido como gasolina, la cual, sirve como combustible para mover una gran variedad de dispositivos mecánicos.

Los países que venden y/o exportan petróleo lo hacen a escala mundial. Por lo tanto, es necesario contar con un excelente medio de transporte que logre cumplir el objetivo de comercializarlo globalmente.

Es del conocimiento público que EE. UU., Canadá y Alaska cuentan con una impresionante red de tuberías por las cuales fluye este preciado bien. Sin embargo, estos tres países no están divididos por ningún mar u océano. Lo que lleva al lector a preguntarse ¿cómo puedo mover grandes cantidades de petróleo desde continentes o países divididos por mares u océanos? La respuesta es sencilla; a través de embarcaciones.

Las embarcaciones pueden ser categorizadas de diferentes maneras, por su capacidad de volumen, por uso o propósito, por su tonelaje, entre otras. El tipo de embarcación que se utiliza para transportar productos limpios, como las gasolinas, es denominado Oil Tanker o petrolero. El diseño de un petrolero es una tarea tan complicada como importante, dado que son las embarcaciones encargadas de transportar este bien tan requerido en todo el planeta. De ahí, la importancia de esta tesina.

El procedimiento del diseño paramétrico a seguir, con la finalidad de generar los planos de una embarcación, es el siguiente:

- a) Poseer un registro histórico de barcos semejantes en capacidad. Esta base de datos sirve como punto de partida, ya que es utilizada para originar, de manera rápida, las dimensiones primarias de la embarcación.

- b) Generar n-número de alternativas que posean toda la información elemental para crear las llamadas “Líneas de Forma”. Estas alternativas son gestadas mediante coeficientes o rango de valores de embarcaciones semejantes, estos valores pueden ser obtenidos por libros especializados en ingeniería naval o datos históricos de otros astilleros.
- c) Filtrar las alternativas que más se ajusten a lo requerido por el armador. Para lograrlo se evalúan cada una de las alternativas a través de filtros de diseño. Finalmente, se escoge la alternativa que más beneficio tenga para el proyecto. Se utiliza una medida de mérito para elegir esta alternativa ganadora. La mejor alternativa posee información valiosa para el proyecto. Esta información debe ser respetada en cada una de las siguientes fases de diseño.
- d) Originar las líneas de forma de la embarcación, utilizando los datos que aporta la alternativa seleccionada.
- e) Modelar las líneas de forma con el uso del CAD, es decir, diseño asistido por computadora. Una vez más, se debe respetar los datos anteriores. El uso del CAD facilita el proceso de iteración requerido en esta etapa de diseño, dado que se busca respetar los valores obtenidos por el diseño paramétrico.

Cuando el proceso de iterativo se ha completado, es decir que se han originado las líneas de forma satisfactorias para el diseño paramétrico, de estas emanar una serie de cálculos, los cuales son de suma importancia para completar el proceso de diseño, ya que toda embarcación al final debe cumplir con lineamientos internacionales aplicables a las características propias del vehículo en cuestión.

Finalmente se crea el arreglo general de la embarcación, el cuál sirve para presentar el proyecto al armador.

## 1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La descomposición de la materia orgánica en un medio anaerobio, y bajo elevadas presiones y temperaturas, da lugar a un líquido viscoso formado por miles de hidrocarburos diferentes. A su vez, los hidrocarburos son compuestos formados por átomos de carbono e hidrógeno en cantidades variables. El oro negro, como metafóricamente se denomina al petróleo, tiene su origen en la descomposición de minúsculos organismos acuáticos que vivían en los antiguos mares de la tierra hace millones de años, cuando los humanos no existían.

Se ha encontrado petróleo en todos los continentes del planeta, excepto en la Antártida. La distribución mundial de los yacimientos no es uniforme, sino que se concentra en ocho grandes zonas petrolíferas, algunas de las cuales se encuentran en el mar:

- La de América del Norte, que incluye los Estados Unidos y Canadá con el 17%.
- La de América Central y del Sur, con México, Venezuela, Argentina y Brasil como principales países productores, sumando un 12%.
- La de África del Norte, con Libia, Argelia y Egipto con el 5%.
- La del resto de África sumando el 3%.
- Irán, Irak y Emiratos Árabes Unidos con 20% de los yacimientos.
- La del extremo oriente, que incluye Indonesia, China e India de igual manera con 20%
- Y por último la de Europa del Mar del Norte, con Gran Bretaña y Noruega como protagonistas con el 6%.

El petróleo crudo que sale del yacimiento es prácticamente inservible, motivo por el cual debe de ser refinado a fin de extraer los productos realmente útiles. Al principio, el proceso de refino se realizaba junto a los pozos, hasta que se vio que resultaba más rentable refinarlo cerca de los grandes centros de consumo, ya que cada país tenía unas determinadas necesidades. Esto hizo que se desarrollara rápidamente el sector del transporte del petróleo, una de las actividades económicas hoy en día.

Actualmente, prácticamente la totalidad del petróleo se transporta, bien por vía marítima, en buques tanque o por vía terrestre a través de los oleoductos. Por los mares y océanos del planeta, navega constantemente una flota de petroleros con una capacidad de más de 250 millones de toneladas. Las diferentes calidades de los petróleos crudos vienen determinadas precisamente, por las características de sus componentes. Así, aquellos petróleos que tienen una mayor proporción de hidrocarburos ligeros, es decir, con un bajo número de átomos de carbono, son considerados de mayor calidad. El refino se inicia con una destilación, una operación que se realiza en una torre de más de 50m de altura, dividida en diferentes compartimentos horizontales, en la que se introduce el petróleo previamente calentado hasta los 400°C. Continuamente, entra el petróleo crudo y salen los diferentes productos destilados según sus puntos de ebullición. Con esta operación, no se acaba el proceso de refino, sino que, posteriormente, los compuestos obtenidos son refinados nuevamente en otras unidades de proceso, donde modifica su composición molecular o se eliminan los compuestos no deseados, como el azufre. De esta manera, se obtendrán los productos, de acuerdo con las exigencias técnicas y ambientales que son necesarias para su utilización comercial.

A nivel mundial, la capacidad de refino está localizada, aproximadamente un 20% en los Estados Unidos, un 12.5% en Rusia, otro 20% en Europa Occidental. Mediante la destilación del petróleo, se obtienen progresivamente todos aquellos compuestos de temperatura de ebullición semejante, y que tienen características también semejantes. Las gasolinas (productos limpios derivados) son una mezcla conformada por hidrocarburos

de cuatro a doce átomos de carbono, con un punto de ebullición entre los 30 y 200°C. Se utilizan como combustible y materia prima para la industria petroquímica. (7)

Al cierre del año 2014 los Estados Unidos de Norte América contaba con 142 refinerías, de las cuales 139 se encuentran operando y tres de ellas han suspendido actividades. El número de refinerías se redujo, todo en virtud de su obsolescencia tecnológica y pérdida de rentabilidad, pero la capacidad de refinación operable se incrementó en un 13.4% lo que se reflejó en un alza en la productividad promedio por refinería en más del doble. La estructura de mercado de la refinación en Estados Unidos ha sido resultado de un proceso de fusiones y adquisiciones, lo que se perfila como un tipo de competencia monopolística. Tan sólo Exxon Mobile controla el 10 % de la capacidad total de refinación y las cinco empresas líderes acumulan el 43% de dicha capacidad.

La operación de las refinerías norteamericanas ha tenido tendencia a mejorar con el paso del tiempo, logrando optimizar sus tiempos de producción. A la estrategia de mejora operativa, se ha sumado el disponer de crudo ligero a menor precio, sin embargo, la necesidad de importar petróleo pesado para el abastecimiento de las refinerías en los estados ubicados en costas del golfo de México sigue latente. Aunque Estados Unidos sea un país comprador neto de petróleo que ya puede venderlo al exterior, la importación de productos derivados del petróleo al interior ha ido a la baja pasando de un máximo de 3.5 mmbd<sup>1</sup> en 2005 a 1.9 mmbd en 2014, siendo sus principales países proveedores: Canadá (26.6%) y Rusia (16.4%). Por el contrario, las exportaciones de estos productos limpios pasaron de 0.855 mmbd en 1995 a 3.8 mmbd en 2014, siendo el principal destino el Centro y Sur de América con un 34% de las ventas totales.

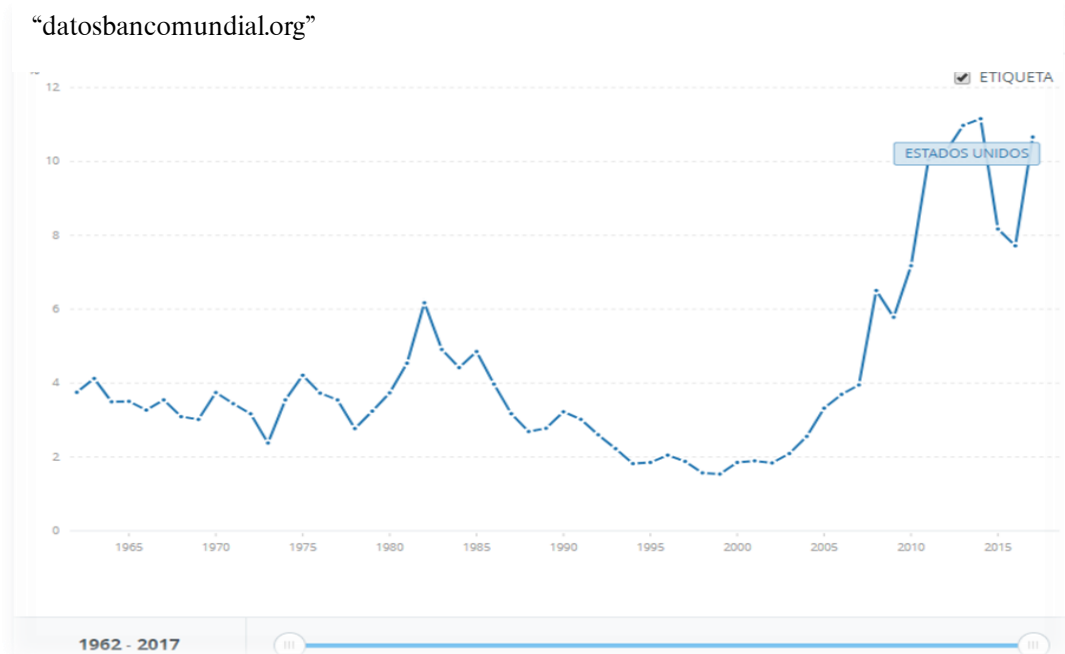
Una de las potencialidades del desarrollo de la refinación en Estados Unidos, y el intercambio con el exterior, ha sido la existencia de infraestructura para su transporte. Algunas refinerías estadounidenses capitalizan el acceder al crudo ligero extraído cerca de sus instalaciones como una ventaja competitiva, sobre todo en el mezclado del petróleo a procesar. (8)

La siguiente gráfica (Figura 1.1) muestra las exportaciones de combustibles por parte de los Estados Unidos en porcentaje entre los años 1965 al 2015, la cual, muestra un claro incremento con el paso de los años.

---

<sup>1</sup>Abreviatura para millones de barriles diarios.

Figura 1.1: Exportaciones de combustible de EU en porcentaje. Obtenida de la web, “datosbancomundial.org”



Por otro lado, en la siguiente gráfica (figura 1.2) se muestran las importaciones de combustibles por parte de México, cortesía del Banco Mundial.

Figura 1.2: Importación de combustibles por parte de México. Obtenida de la web, “datosbancomundial.org”



En un artículo publicado el 19 de enero del 2018 por la revista “El Economista”, se informa del aumento de un 40% al valor de las importaciones de productos derivados del petróleo en México. Tomando como base los tres principales productos introducidos al país; el Diesel, las gasolinas automotrices, la turbosina y el combustóleo.

“EL valor de las importaciones de productos derivados del petróleo entre enero y noviembre del 2017 se incrementó 40.1% en comparación con el mismo periodo del año anterior, impulsado por cuatro productos: el Diesel, las gasolinas automotrices, la turbosina y el combustóleo, cuyo gasto se incrementó 70, 29.2, 60.3 y 108%, respectivamente”. (9)

Según la actualización más reciente de la Balanza de Comercio Exterior del Banco de México, en los primeros once meses del año antepasado se erogaron 24,496 millones de dólares para compras en el exterior de productos derivados del petróleo. Lo que muestra una tendencia por el aumento a la compra de dichos productos.

El planteamiento del problema de este proyecto, aunada la necesidad de México de importar productos derivados del petróleo, se basa en la necesidad de una empresa naviera dedicada a la transportación de productos limpios (gasolinas), la cual, tiene operaciones en el golfo de México entre puertos mexicanos y estadounidenses. El objetivo de dicha compañía es reemplazar a uno de sus Tanker mediante el modo de adquisición de compra directa de un buque de nueva construcción para un periodo proyectado de vida de 20 años por lo que se 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 viable.

## 1.2.- JUSTIFICACIÓN

La industria naval mexicana está atravesando momentos difíciles. Sin embargo, hay chispazos de luz entre la incertidumbre que ésta genera para los ingenieros navales mexicanos. En octubre de 2018 zarpó la plataforma más grande y construida en México en los últimos 10 años (1). Por otro lado, se tiene contemplado construir aproximadamente 13 plataformas más en suelo mexicano (2). Además, la industria naval militar no ha dejado de fabricar pequeñas y medianas embarcaciones a lo largo de estos últimos años (3). Y hablando acerca de la reparación y construcción de embarcaciones, el presidente del Frente Unido de Marineros en Tamaulipas habló a favor de la industria naval y busca el apoyo del nuevo presidente para incentivar la industria naval (4).

Sin duda alguna, es el momento de los ingenieros navales mexicanos para levantar la mano y hacer del conocimiento mundial, que estamos capacitados para enfrentar los retos nacionales e internacionales en los que está inmersa la economía mexicana.

El transporte mundial de petróleo crudo favorece las condiciones para el reemplazo y construcción de nuevas embarcaciones petroleras. El día 8 de abril de 2019 el funcionario ruso Kirill Dmitriev, jefe del fondo de riqueza soberana de Rusia y ministro de energía, dijo: “Es bastante posible que, ante la mejora de la situación del mercado y el descenso de las existencias, (la OPEP y sus aliados) puedan decidir en junio de este año poner fin a la reducción de suministro y, por lo tanto, incrementar la producción”. (5)

También Igor Sechin mencionó que Estados Unidos ha estado subiendo su producción a niveles de récord de unos 12 millones de barriles por día.

El presidente de EE. UU. recientemente ha puesto sanciones a países que importan petróleo de Irán y Venezuela, buscando debilitar la economía de dichas naciones “rebeldes”. Esto ha ocasionado un panorama muy incierto a nivel mundial, dado que las grandes potencias suelen importar crudo de estos dos países, generando así subida en los precios del petróleo y baja en su producción. El diario NY times en un artículo publicado el 17 de abril de 2019 menciona que el panorama, aunque incierto, puede mejorar. ¿Por qué? Las elecciones presidenciales en EE. UU. se acercan y el presidente debe buscar la manera de bajar los precios del petróleo, y reactivar los mercados petroleros (6).

Si bien es cierto, que un tweet del presidente de EE. UU. puede desplomar la economía mundial, también es bien sabido que este gigante americano depende mucho de otros países europeos y asiáticos. Y aunque EE. UU. busque restringir de petróleo iraní y venezolano a varios de sus aliados comerciales, en cierto punto debe de ceder e incentivar el mercado global del petróleo, porque a ningún país le conviene que el flujo del petróleo se quede estático o peor aún; se desplome. Por lo tanto, la construcción de nuevas embarcaciones petroleras debe continuar y mejorar para hacer frente a los nuevos retos que se tendrá la economía mundial en un futuro.

### 1.3.- OBJETIVO GENERAL

- Presentar el arreglo general de una embarcación para transporte de gasolinas que opera entre la refinería de Exxon Mobil en Bayton, Texas y los puertos mexicanos de Altamira, Veracruz y Progreso.

### 1.4.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar el diseño paramétrico de una embarcación petrolera.
- Formular las n-número de alternativas que contengan información primaria para desarrollar el proyecto y seleccionar la mejor alternativa.
- Generar las líneas de forma de la embarcación petrolera con el uso del CAD.

- Realizar los cálculos de arquitectura naval correspondientes a los temas de estabilidad, estructura y potencia de la maquinaria principal.

## 1.5.- FUENTES DE INFORMACIÓN

- (1) <https://www.elsoldetampico.com.mx/local/zarpara-el-viernes-plataforma-construida-en-la-api-altamira-2379948.html>
- (2) <https://www.elfinanciero.com.mx/monterrey/tendra-tampico-13-plataformas-mas>
- (3) <https://www.elsoldemexico.com.mx/republica/sociedad/tampico-pilar-de-la-industria-naval-militar-1729680.html>
- (4) <https://www.elsoldetampico.com.mx/local/toma-vigor-la-industria-naval-2984938.html>
- (5) <https://www.larepublica.co/globoeconomia/rusia-dice-que-opec-y-aliados-podrian-elevar-la-produccion-petrolera-desde-junio-2848956>
- (6) <https://www.nytimes.com/es/2019/04/17/estados-unidos-mercados-petroleo/>
- (7) <https://www.fenercom.com/pdf/aula/recorrido-de-la-energia-el-petroleo.pdf>
- (8) [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0301-70362016000400139](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362016000400139)
- (9) El economista



PROYECTO DE TITULACIÓN EN INGENIERÍA NAVAL

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

APLICACIÓN DEL DISEÑO PARAMÉTRICO (DISEÑO DE EMBARCACIÓN TIPO TANKER PARA EL TRANSPORTE DE PRODUCTOS DE 50 000 DWT, DOBLE CASCO, DIMENSIONAMIENTO Y FORMAS DEL CASCO).



## Capítulo 2 MARCO TEÓRICO

ASESOR:

ANTONIO R. BENÍTEZ GASCA

ESTUDIANTE:

DANIEL HERNÁNDEZ ARMENTA

El diseño de un prototipo de vehículo marino es el establecimiento de un proceso de derivación de las formas del casco y aspectos primordiales de diseño de una embarcación.

En este proyecto se busca poner en práctica la metodología del Diseño de un vehículo marino mediante la aplicación del Diseño Paramétrico, el cual tendrá las características de una embarcación para el transporte de productos derivados de petróleo (productos limpios). En el proceso se debe incluir una descripción detallada de cómo utilizar los parámetros técnicos que resultan primordiales para lograr obtener, con la ayuda de los dos programas de diseño más utilizados en México (AcaD y Maxsurf), las formas y los cálculos que vuelven viable el modelo a diseñar. De igual manera en este proyecto se pretende abordar un método práctico para la obtención de formas definitivas, el cual, resulta ser primordial para el proceso de diseño de cualquier prototipo.

La importancia fundamental de llevar a cabo este tipo de proyectos se centra en encontrar alternativas del diseño, que no se aparten del proceso actual de diseño de embarcaciones, tal es el caso de la espiral de diseño. El diseño puede ser definido como la actividad que involucra la producción de planos (incluyendo modelos 3-D computacionales), especificaciones y otros datos necesarios para construir un objeto, en este caso un buque. El proceso de diseño suele variar en algunos casos especiales, por lo que hoy en día no existe un proceso único de diseño, el proceso típico que se describirá a continuación sin duda podrá ser cambiado en el futuro próximo. Los que se podrían considerar como constantes en el proceso, es decir, aquellos parámetros que se cree que no cambiarán serán los siguientes:

- Los objetivos del proceso de diseño.
- La necesidad del diseñador por entender los requerimientos del armador, y al mismo tiempo, la capacidad del diseñador para redefinir dichos requerimientos.
- Las restricciones de tiempo y recursos involucrados en el proceso.
- El hecho de que la creatividad y el trabajo en equipo siempre serán piedras angulares en el proceso.

El principal objetivo de la tarea de diseño, además de crear información necesaria para construir una embarcación, es la de satisfacer los requerimientos del armador a un costo mínimo. El ciclo de vida de los costos de una embarcación incluye el diseño, la construcción, y por último los costos operacionales y de soporte. Una de las responsabilidades del diseñador es mantener al tanto al armador de las opciones de diseño, las cuales pudiesen incrementar el costo de adquisición, pero a su vez pudiesen acumularse ahorros en operatividad y soporte, en el ciclo de vida de la embarcación. Las especificaciones requieren ser probadas por completo y se debe demostrar que en realidad sí se están cumpliendo los requerimientos del armador en el desarrollo del

proyecto. En resumen y más allá de cualquier objetivo descrito, el diseñador debe darse a la tarea de crear una embarcación con la que el armador estará satisfecho.

El proceso de diseño de un vehículo marino es iterativo, especialmente en etapa temprana. Cada resultado deberá ser postulado, para entonces ser analizado y si es necesario, modificado. Una vez modificados los datos, deben ser analizados de nuevo y así sucesivamente hasta que todos los requerimientos sean cubiertos. La espiral de diseño representada en la figura 2.1, ha sido usada para caracterizar un proceso de diseño. Sobre dicha espiral, el diseñador deberá moverse creando un proceso secuencial por pasos, desarrollando cada parte con un análisis detallado. El ciclo de la espiral deberá ser repetitivo, con el fin de afinar el proceso en cada vuelta. En la práctica el proceso pudiese no ser secuencial. De hecho, el proceso de diseño en etapas tempranas rara vez es predecible. Una vez que las bases conceptuales han sido identificadas y definidas con suficiente detalle será necesario abarcar y por supuesto entender las principales disciplinas del diseño. Por ejemplo, estructuras, propulsión, sistemas eléctricos, disposiciones generales, estimaciones de peso, etc. Y así el proceso de diseño donde se involucran estas disciplinas, puede transcurrir en paralelo. Para cada disciplina, una serie de tareas deberán ser desarrolladas.

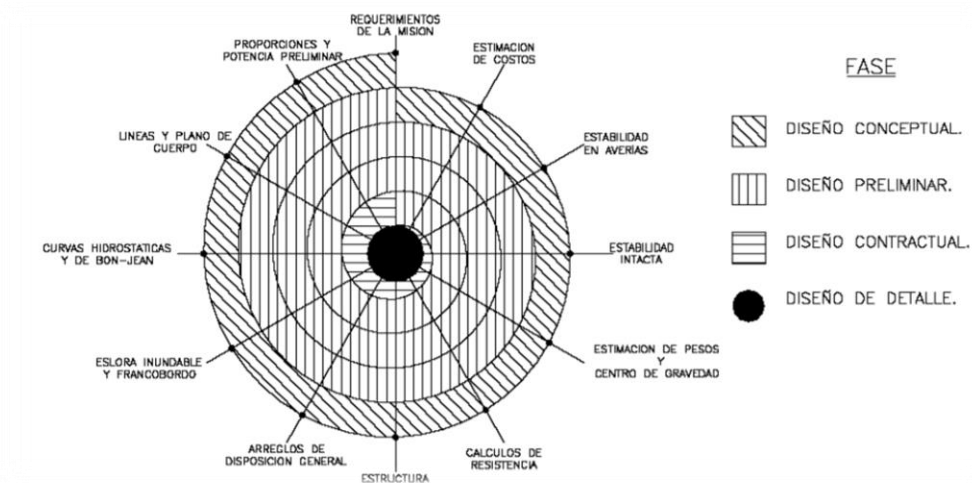


Figura 2.1.- Espiral Típica de Diseño Naval. Fuente (2).

Es verdad que una sola persona puede desarrollar un proyecto de diseño, siempre y cuando dicho proyecto sea simple, sin embargo, por lo regular el proceso de diseño constituye una tarea de equipo. Es común que el número de integrantes de un equipo sea directamente proporcional al tamaño y alcance del proyecto. El equipo de diseño puede comenzar con una persona, y a su vez, el número irá en aumento hasta ser un total de 6. Los miembros del equipo pueden incluir, arquitectos navales, ingenieros navales, y diseñadores con experiencia en

CAD. Los ingenieros mecánicos y eléctricos también están implicados. A su vez un equipo óptimo puede estar completo con miembros de experiencia en campos de aplicación específica de software para el diseño y pruebas en, por ejemplo: Pruebas hidrodinámicas, análisis estructural de elementos finitos, análisis acústico, etc.

El proceso de diseño ha sido dividido en fases. Una razón para hacerlo es sin duda la naturaleza del trabajo realizado, las habilidades requeridas, el número de personas involucradas en la tarea, el nivel de detalle que se requiere, derivado de los cambios en el proceso, durante el tiempo de desarrollo del proyecto. La administración del proceso de diseño es facilitada, si la tarea se divide en fases separadas por intervalos, lo cual permite la revisión, mientras que se plantea y se prepara la siguiente fase consecutiva. El diseño básico es subdividido en fases designadas como:

- Diseño conceptual
- Diseño preliminar
- Diseño de contrato
- Diseño funcional

Las últimas dos fases por lo regular son referidas en conjunto como “Fases de diseño de sistemas”. El producto de ingeniería es a su vez subdividido en dos fases: Diseño de transición, y preparación de la información. La filosofía imperante es la resolución de problemas en el diseño de detalle, antes de que se corte el acero

Diseño conceptual. - el principal objetivo de esta fase del diseño es clarificar los requerimientos del armado, es decir, la misión de la embarcación y los atributos principales de desempeño requeridos, lo que refleja el deseo de un balance entre la capacidad y asequibilidad. Otro objetivo es desarrollar un diseño conceptual que satisfaga los requerimientos, mientras satisface el costo estimado y se evalúan los riesgos. De este modo, un análisis de los sistemas es requerido y se empareja con un análisis de la misión y además un análisis económico. El rol del equipo de diseño es realizar estudios paramétricos los cuales representan las alternativas de interés, las cuales pueden ser comparadas con suficiente detalle, junto con los costos (de capital y operativo), desempeño y riesgo. Colectivamente, el conjunto de alternativas debe iluminar la capacidad contra el costo y a su vez contra el riesgo de negocios de interés para el armador. La conclusión de este proceso debe ser la definición de la misión del nuevo buque, en adición con los requerimientos de capacidad. Aunado a esto, se debe crear un estudio de viabilidad, el cual representa una solución inicial a los requerimientos establecidos.

Diseño preliminar. - los siguientes son los objetivos principales del diseño preliminar:

- Validar los requerimientos de desempeño de alto nivel y desarrollar los requerimientos de segundo nivel
- Establecimiento de dimensiones y configuraciones principales
- Selección de sistemas mayores del buque
- Cuantificación del desempeño de la embarcación
- Reducción o eliminación de riesgos técnicos, de programación y de costo
- Refinar los costos operativos y de capital estimados
- Desarrollar una versión en borrador de la estrategia de construcción

El trabajo desempeñado en esta fase del diseño es muy importante debido a que dentro de la misma se establecen los costos y el desempeño, de manera eventual, de la nueva embarcación. Durante esta fase, se realizan estudios formales de mercado enfocados en cuestiones de diseño, los cuales tendrán impacto en las dimensiones principales, configuraciones generales, desempeño, costo y riesgo.

Diseño contractual. - principales objetivos del diseño contractual:

- Confirmar el costo y la capacidad de la embarcación al futuro dueño
- Proporcionar un paquete de oferta significativo y preciso para los constructores navales.
- Criterios para la aceptación por el armador del buque.

Se hace hincapié en el desarrollo y el perfeccionamiento de todos los sistemas del buque. Aquí se realizan los estudios de compensación diferidos a la fase anterior debido a sus menores impactos del buque.

Diseño Funcional. - durante el diseño funcional, el contrato de diseño se desarrolla más para completar el diseño sobre una base de sistema orientado. Se completan todos los cálculos de diseño y la definición de configuración y se desarrollan todas las decisiones de diseño que aún queden pendientes.

La Ingeniería Naval se centra en las materias necesarias para formar a profesionales capaces de diseñar, construir y mantener diferentes tipos de embarcaciones y navíos, ya sean barcos para el transporte de mercancías, submarinos o veleros para el ocio y la navegación deportiva. Hasta el día de hoy, el transporte marítimo sigue siendo la forma más económica de mover mercancías y todo tipo de materiales, por lo que el diseño de navíos, su mantenimiento y gestión siguen siendo tareas profesionales muy importantes, necesarias y que ofrecen

múltiples salidas laborales bien remuneradas. En lo anterior se ve fundamentada la necesidad de llevar a cabo proyectos que incluyan las habilidades adquiridas por el estudiante (1).

## 2.1.- Diseño Paramétrico

En etapas tempranas de las fases de diseño conceptual y preliminar, es necesario desarrollar una definición consistente de candidatos de diseño en términos de sus dimensiones y otros parámetros descriptivos tales como L, B, T, CB, LCB, etc. Esta sección se enfoca en una descripción paramétrica consistente de un buque en una etapa temprana de diseño y se introducen métodos para el desarrollo de un modelo y su optimización, la generación de un método efectivo seguirá una metodología, la cual depende de parámetros específicos existentes (7).

## 2.2.- Análisis de Buques Similares

El diseño de una embarcación comúnmente comienza con un análisis cuidadoso de la flota ya existente, para obtener información general del tipo de buque en el que estamos interesados.

Si es que existe un diseño basado en buques similares exitoso, el diseño puede proceder usando este buque como buque base, Esto, implica escalar sus características para tener en cuenta los cambios previstos en el nuevo diseño.

### 2.2.1.- Estrategia general -Diseño en un solo punto contra diseño basado en conjunto

Diseño basado en un solo punto. -La conceptualización tradicional en el diseño inicial de un buque, ha utilizado la espiral de diseño desde los años 50's. Este modelo enfatiza que, muchas cuestiones de diseño tales como, resistencia, peso, volumen, estabilidad, trim, etc. Interactúan y deben ser consideradas en secuencia, incrementando el detalle en el paso por dicha espiral, y así se repetirá hasta lograr un balance entre el diseño y los requerimientos establecidos. Esta aproximación al diseño conceptual puede ser catalogada como diseño en un solo punto, ya que ésta busca alcanzar un solo punto en el espacio de diseño. El resultado es un diseño base que se puede desarrollar aún más o utilizarlo como punto de partida para varios estudios de compensación. Una desventaja de esta aproximación puede ser, que mientras produce un diseño viable, pudiese no estar

produciendo un global óptimo en términos del mérito de medida de diseño del buque, tal es el caso de la tasa del flete requerida o RFR.

Diseño basado en conjuntos. - Está en contraste con el diseño basado en puntos, o el enfoque común de ingeniería de sistemas, donde las interfaces críticas se definen por especificaciones precisas al principio del diseño, para que el desarrollo del subsistema pueda proceder simultáneamente. Por lo regular estas interfaces deben ser definidas, el diseño basado en conjunto enfatiza una política de menor compromiso; lo cual es, mantener todas las opciones tan abiertas como lo sea posible, de tal manera que, la mejor información posible pueda estar disponible en el momento en el que se deban tomar las decisiones de diseño específicas (1).

### 2.2.2.- Desarrollo del modelo paramétrico

El estudio paramétrico del diseño de una embarcación requiere modelos que relacione forma, características, y desempeño con dimensiones fundamentales, coeficientes de forma, y parámetros de diseño. Varias técnicas pueden ser usadas para desarrollar estos modelos. Este documento abordará el análisis de regresión lineal múltiple (1).

### 2.3.- Descripción de un petrolero de productos limpios

El sistema de transporte para los productos derivados del petróleo es sin duda más complejo en comparación con el de crudo. Los tanqueros destinados al transporte de productos suelen variar de entre 6000 y 60000 dwt, y por lo regular cuentan con un revestimiento epóxico en sus tanques. Una de las características principales de un petrolero de productos, es la capacidad de manejo de la carga, derivada de la necesidad de transportar fluidos de distintas características.

En términos generales un buque tanque o tanquero, según la organización marítima internacional en la convención de MARPOL, se define como una embarcación construida o adaptada principalmente para transportar petróleo y sus derivados, en espacios de carga delimitados. Los tanqueros son a su vez clasificados en buques petroleros, y petroleros de productos (3).

## 2.4.- Descripción del producto a transportar

Generalmente los productos limpios son fracciones ligeras destiladas derivadas del petróleo crudo refinado, y los productos llamados sucios son los residuos más pesados. Los productos limpios implican la necesidad de evitar ser contaminados por los productos sucios. Esta necesidad es una consideración fundamental para prevenir la corrosión estructural de los tanques, mediante el uso de revestimientos. Generalmente la higiene de la carga limpia requiere que los tanques estén revestidos, mientras que la de la carga sucia no la precisa, y resulta también, que la mezcla de la carga en el sistema de bombeo deberá ser, asimismo, la mínima cuando se manejen productos limpios. Los productos sucios tienden a ser más pesados que los limpios, y esto tiene una influencia correspondientemente fundamental en el proyecto del buque. De este modo, un buque para productos limpios tiende a ser un buque de volumen, mientras que el de productos sucios es generalmente de peso muerto.

Las inflamabilidades de los productos volátiles se determinan generalmente por medio del punto de inflamación y la presión de vapor juntos. Aunque la legislación no se ha puesto todavía de acuerdo sobre este punto, la IMO y las Sociedades de Clasificación, por lo menos, si lo están ahora.

La electricidad estática es una materia sobre la que el mundo marítimo tiene pocos conocimientos, aunque en la actualidad se está realizando mucho trabajo sobre la misma. Generalmente, las cargas que contienen algún material residual, tal como los productos sucios y petróleos crudos, son acumuladores no estáticos, mientras que ocurre lo contrario con las cargas limpias, y debe de tenerse cuidado con las velocidades de salida del fluido. Generalmente, los productos sucios son persistentes y los limpios no lo son (5).

## 2.5.- Circulación del producto

Tanto desde el aspecto económico como el de transportación, el comercio de productos derivados del petróleo es muy distinto al del crudo. Dicho comercio abarca únicamente los productos que resultan de procesos de refinación. En 1995, alrededor de 493 millones de toneladas fueron transportadas por el océano, la mitad de ellas fueron productos limpios y la otra mitad corresponde a la de productos sucios. En contraste con la circulación de crudo, el volumen transportado de productos derivados, a nivel mundial, se mantuvo muy estable en el paso de las décadas, aunque a nivel regional si han existido cambios. La figura 2.2 muestra las importaciones de productos derivados a nivel internacional en los últimos años (6).

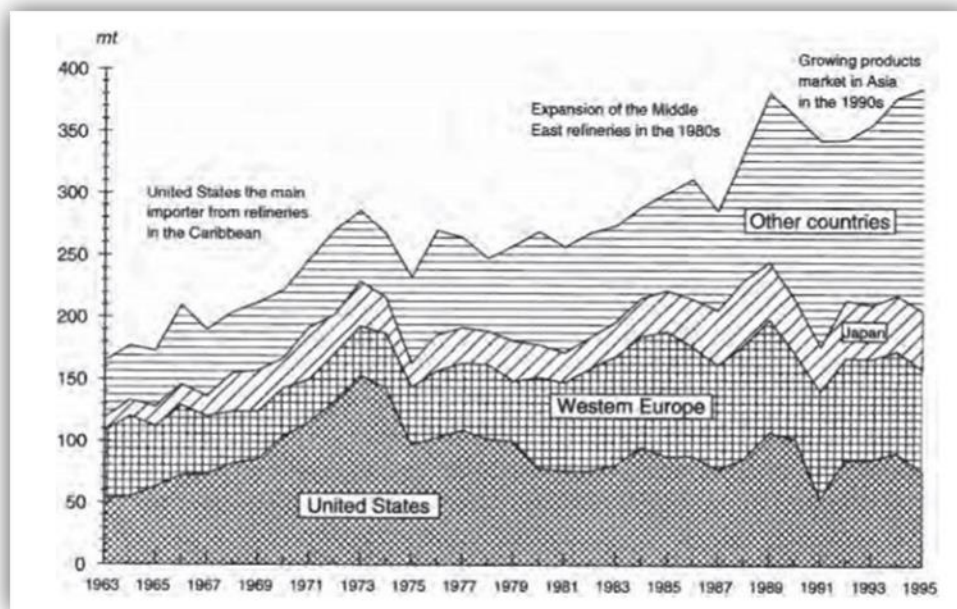


Figura 2.2: Importación de Productos petrolíferos. Fuente: (6).

El comercio de productos derivados del petróleo posee una estructura económica compleja, derivado del hecho de que los productos petrolíferos pueden ser objeto de comercio marítimo por diversas razones, como lo son:

- a) Ubicación de las refinías. – Si la refinía es localizada cerca del yacimiento o en algún punto intermedio de la ruta, entonces los productos deberán ser transportados por mar, hasta el mercado final.
- b) Comercio de balance. – La mezcla de productos refinados provenientes de barriles de crudo, no siempre tiene a un mercado adyacente a la refinía. Por este motivo los productos se encuentran en constante movimiento.
- c) Déficit comercial. – En ocasiones la falta de productos refinados promueve un crecimiento desproporcionado de la demanda, el cual crece mucho más rápido que la capacidad de producción de las refinías. Por otro lado, el mercado puede no ser lo suficientemente grande para albergar una refinía mayor. En estas circunstancias la importación de productos derivados tomará el lugar por encima de petróleo crudo (6).

## 2.6.- Tipos de tanqueros de productos

- Quimiqueros: Estas embarcaciones se encuentran adaptadas para el manejo de productos químicos de diversas características. Los Quimiqueros son diseñados específicamente para mantener la consistencia del fluido que transportan. Por lo anterior se encuentran habilitados con recubrimientos que ayudan a mantener la calidad de la carga.
- Tanqueros para desechos líquidos: Estos son diseñados para transportar líquidos de desecho, cuyas características impiden su disolución en agua. La utilidad de estos líquidos abarca la fertilización, lo que promueve su transportación.
- Tanqueros para Hidrogen: Como su nombre lo indica, estos buques son habilitados para el transporte de gas Hidrogen licuado (3).

## 2.7.- Rangos para los principales parámetros técnicos.

### 2.7.1.- Requerimientos de la misión y optimización de diseño

Los tanques de un petrolero de productos limpios son caracterizados principalmente por:

- No tener elementos estructurales dentro de los espacios de carga
- Sus mamparos son corrugados
- Los tanques de carga se encuentran recubiertos

Cada tanque debe ser provisto por un sistema de segregación, incluyendo bombas sumergibles y por supuesto las líneas requeridas, siempre ubicadas en cubierta. El número de sistemas de segregación suele ser igual al número de tanques de carga. Un tanquero de productos suele ser menor en dimensiones que el de un buque transportador de crudo (3).

### 2.7.2.- Tamaño de un Tanquero de productos

El tráfico y redistribución a gran escala, hoy en día, es muy frecuente. No obstante, estos petroleros, para un tráfico entre un puerto de carga y otro de descarga deberán, preferiblemente, combinar un porte de cierta cantidad y, además, una capacidad de separación o segregación efectiva de la carga. De lo anterior se desprende que, este tipo de buques es de una gran variedad de tamaños y tipos, sin una tendencia uniforme en su desarrollo. Coexisten petroleros de tipo costero, limitados por la capacidad de almacenamiento de productos petrolíferos

en puertos, que ha podido quedar obsoleta en muchos casos, con otros en la gama de 30,000 dwt. hasta 60,000 dwt, los cuales son aptos para la navegación oceánica (3).

### 2.7.3.- Características y capacidades únicas de un petrolero de productos

En los buques para transporte de productos limpios, es necesarios mantener las siguientes características únicas de diseño:

- Capacidad de transportar y segregar una amplia variedad de productos en parcelas de diferentes tamaños, siendo a su vez de diferentes grados. Adicionalmente, poseen la capacidad de cargar y descargar en puertos diferentes.
- Volumen de tanques de carga suficiente para la carga más ligera a transportar.

La exigencia de capacidad de las líneas petroleras para un buque puede ser delimitada por ellas, y debe ser tomado en cuenta. Sus exigencias van por la línea de requerir capacidad de carga suficiente para una carga homogénea de densidad 0.70, con un 2% de margen de expansión. Esta especificación de volumen puede ser onerosa, ya que los pesos específicos con más probabilidad de encontrar son de entre 0.63 y 0.90 para cargas limpias.

Para hacer frente a la amplia gama de grados existentes de productos limpios, los buques han contado con una mayor subdivisión de sus espacios de carga. Los petroleros de hasta 20,000 dwt se han subdividido hasta en doce tanques de carga con 36 compartimentos, con un tanque central de una capacidad aproximadamente equivalente a los dos tanques laterales adyacentes. Además, las compañías petrolíferas para sus contratos exigen 4 segregaciones y disposiciones del servicio de carga para que puedan descargarse dos productos sin contaminación en las tuberías. La figura 2.3 esquematiza la disposición de varios tipos de segregación (3).

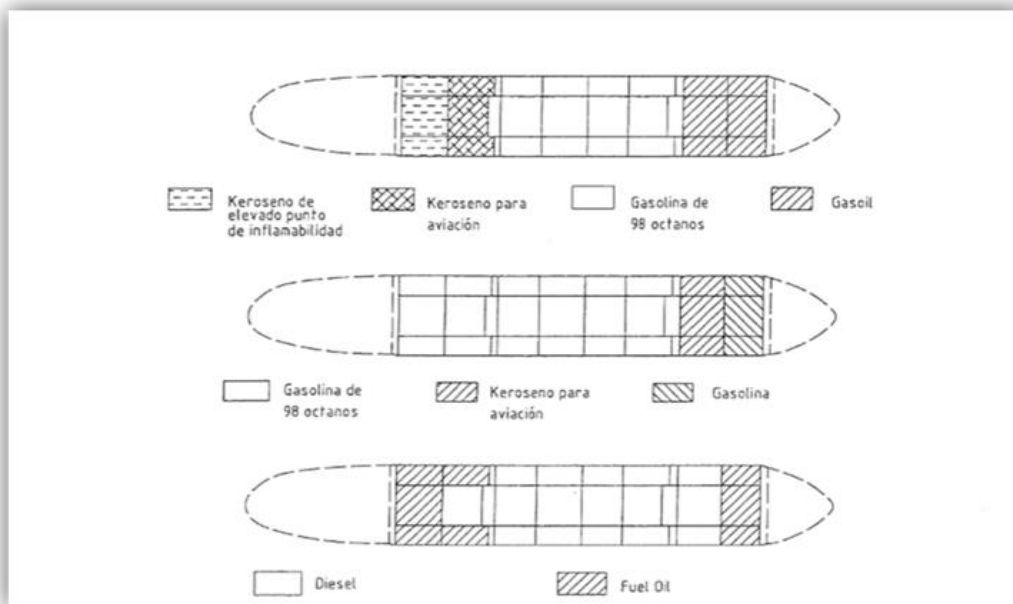


Figura 2.3: Configuración de Tanques de Lastre. Fuente: (3).

#### 2.7.4.- Funcionamiento de un petrolero de productos limpios

Muchos sistemas se encuentran inmiscuidos en el funcionamiento total de una embarcación de tipo Tanker. La ineficiencia o mal funcionamiento de alguno de ellos contribuye a degradar seriamente una operación entera. Cabe señalar que dichos sistemas se encuentran interrelacionados, por lo que el cálculo relacionado es necesario para desarrollar un diseño óptimo.

Los sistemas relacionados para el manejo y resguardo de la carga incluyen, tanques de carga, tanques de calibración, tuberías, tanques de calentamiento, tanques de limpieza, ventilaciones, etc. los tanques de carga se encuentran dentro del bloque de carga, el espacio se extiende desde la popa hasta el mamparo de colisión, la figura 2.4 muestra una configuración típica de un tanquero (3).

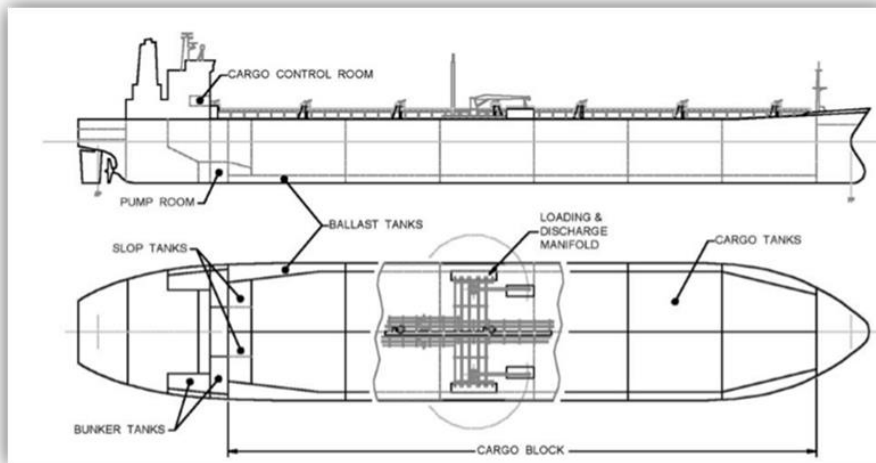


Figura 2.4: Funcionamiento típico de un Buque Tanque. Fuente: (3).

#### 2.7.5.- Clasificación de tanqueros según su tamaño

- Panamax: La clasificación de los petroleros que pueden pasar por el Canal de Panamá es conocida como el Panamax. El mayor petrolero que puede transitar por el canal es de hasta 70,000 Dwt, y todos aquellos buques de carga que no pueden clasificarse en esta categoría por su tamaño se conocen como los petroleros Post-Panamax.
- Aframax: Los buques tanque de carga de Aframax son el tipo de buques tanque que se utilizan principalmente en el Mediterráneo, Mar de China y el Mar Negro. Estos buques tanque tienen un tonelaje de peso muerto (Dwt) de entre 70,000 y 120,000 toneladas.
- Suezmax: los barcos de Suezmax se llaman así debido a su facilidad en el paso a través del canal de Suez y suelen rondar las 120,000 y 200,000 toneladas de peso muerto (Dwt).
- Very Large Crude Carrier (VLCC): Las medidas de esta categoría rondan las 200,000 y 325,000 toneladas de peso muerto (Dwt).
- Ultra Large Crude Carrier (ULCC): Los petroleros que entran en esta categoría tienen una capacidad para más de 325,000 (Dwt) (10).

La figura 2.5 muestra las características de tamaño acorde con la longitud de eslora de los tanqueros hoy en día.

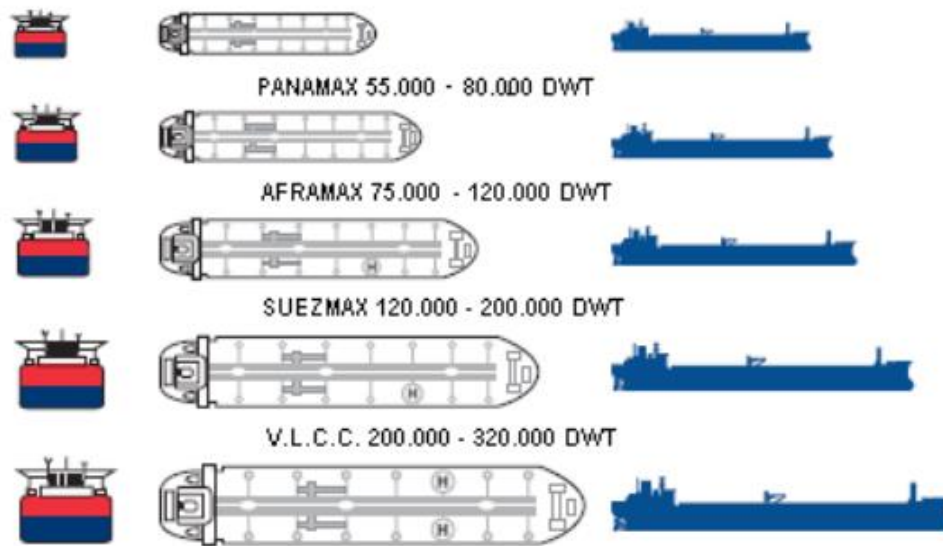


Figura 2.5: Clasificación de Buques Tanque según su tamaño Fuente: (10).

#### 2.7.6.-Disposición de los tanques de carga

La configuración típica de un buque tanque de doble casco puede ser, en forma de “L”, los cuales son utilizados por el 90% de los tanqueros hoy en día, lo que la convierte en la configuración más típica. Los tanques en forma de “U” disminuyen el riesgo de inundaciones asimétricas, dichos tanques son utilizados cuando los de forma de “L” no cumplen con los requerimientos de estabilidad dañada. Existe un inconveniente importante en los tanques en forma de “U”, y es que contribuyen al efecto de superficie libre. Los tanques en forma de “S” o tanques laterales se encuentran en los tanques de ala por encima del nivel de doble fondo. A continuación, se muestra una configuración típica de tanques para un petrolero de productos.

El número y tamaño de los tanques de carga para un tanquero de productos puede estar gobernado por los requerimientos de segregación mencionados en los apartados anteriores, y el tamaño de las parcelas. Lo anterior se encuentra dispuesto por las regulaciones de diseño de la IMO. Las configuraciones se encuentran representadas de manera gráfica en la figura 2.6 (3).

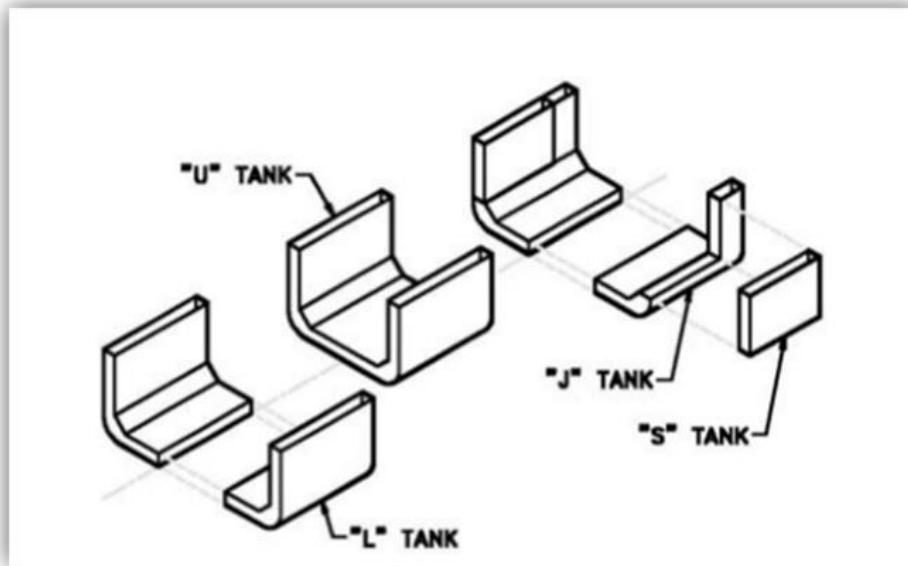


Figura 2.6: Configuración de tanques de lastre Fuente: (3).

## 2.8.- Proceso de Obtención de las formas del Casco

En el proceso de diseño de un buque se comienza con la etapa de dimensionamiento, lo que proporciona los primeros parámetros a considerar sobre el proyecto, es decir, las dimensiones principales, las cuales son el resultado de dicha etapa. La información con la que se cuenta es la siguiente:

|              |        |                       |          |
|--------------|--------|-----------------------|----------|
| $C_b$        | 0.80   | DTW (ton)             | 44390.97 |
| $L_{pp}$ (m) | 199.95 | $V$ (m <sup>3</sup> ) | 56788    |
| $B$ (m)      | 33.33  | $\Delta$ (ton)        | 58207.89 |
| $T$ (m)      | 10.60  | MCR (hp)              | 10439    |
| $D$ (m)      | 19.04  | RFR (USD)             | 20.33    |

Cabe resaltar que los parámetros anteriores tienen la etiqueta de preliminares, sin embargo, serán los datos con los que se comenzará el proceso de obtención de las formas. El método que se utilizará para tal acometido será el llamado “Método de Áreas”, el cual consiste en bosquejar de una manera burda la curva de  $A/A_{max}$ , con forma

similar a la que dibuja un buque con las mismas características. La curva  $A/A_{\max}$  representa las áreas transversales sumergidas por estación. En el eje de las abscisas se traza la eslora sobre la línea de flotación, la cual, para un buque tanque será la misma que la eslora entre perpendiculares. Cada estación representa una ordenada cuyo valor máximo será el área transversal total. La curva intersecará a cada ordenada en el valor correspondiente al área de cada estación. A continuación, en la figura 2.7, se presenta un ejemplo de la curva junto con sus componentes principales (9):

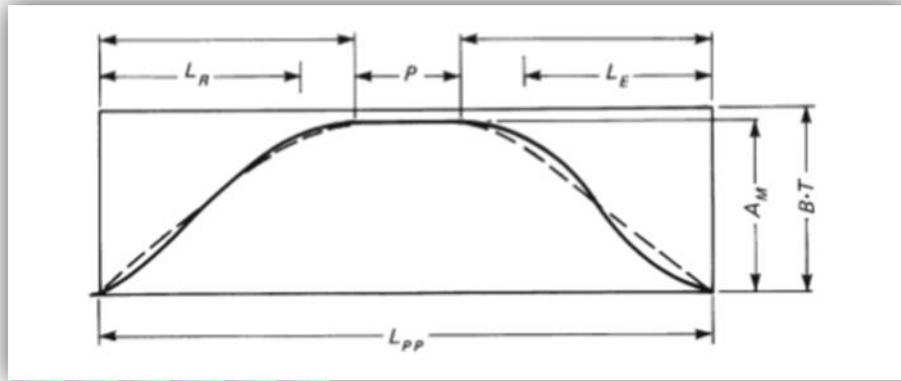


Figura 2.7: Curva  $A/A_{\max}$ . Fuente: (9).

A saber:

$L_{PP}$  = eslora entre perpendiculares

$A_m$  = área de la sección media

$P$  = cuerpo medio paralelo

$L_E$  = eslora de entrada

$L_R$  = eslora de salida

Para poder continuar con el modelado de la curva, es necesario calcular los parámetros con los que no se cuenta, tales como:  $A_m$ ,  $P$ ,  $L_R$  y  $L_E$ . Por lo que se procederá de la siguiente manera.

## 2.9.- Fuentes de Información.

- (1) Lamb.Thomas (2003) Ship Design and Construction (Chapter 11) SANAME.
- (2) Zárate. Fredy Diseño y Construcción de Embarcaciones Militares Rápidas (Página 5) COTECMAR.
- (3) Lamb. Thomas (2003) Ship Design and Construction (Chapter 29) SNAME.
- (4) Baltic and International Maritime Council Ubicación: [www.bimco.org](http://www.bimco.org)
- (5) International Energy Agency (IEA). Ubicación: [www.iea.org](http://www.iea.org)
- (6) Stopford. Martin (2003) Maritime Economics (Chapter 4) ROUTLEDGE.
- (7) Wu. You-Sheng (2001) Practical Design of Ships and Others Floating Structures (Chapter 1) PRADS.
- (8) Alvariño. Castro. Ricardo (1997) El Proyecto Básico del Buque Mercante (Chapter 2.4) FONDO EDUCATIVO DE ING NAVAL.
- (9) Schneekluth H. and Bertram V. (1998) Ship Design for Efficiency and Economy (Chapter 2) BUTTERWORTH HEINEMANN.
- (10) Larrucea. Jaime. Oil Tankers Safety (Chapter 1). UPC.



PROYECTO DE TITULACIÓN EN INGENIERÍA NAVAL

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

APLICACIÓN DEL DISEÑO PARAMÉTRICO (DISEÑO DE EMBARCACIÓN TIPO TANKER PARA EL TRANSPORTE DE PRODUCTOS DE 50 000 DWT, DOBLE CASCO, DIMENSIONAMIENTO Y FORMAS DEL CASCO).



### Capítulo 3 METODOLOGÍA

ASESOR:

ANTONIO R. BENÍTEZ GASCA

ESTUDIANTE:

DANIEL HERNÁNDEZ ARMENTA

### 3.1.- Dimensionamiento

#### 3.1.1.- Condición de Diseño

Los requerimientos del armador, por lo regular, no buscan tomar en cuenta aspectos que son importantes para el diseño. Esto es comprensible, ya que el futuro dueño de la embarcación busca satisfacer una única condición primordial desde su punto de vista, dicha condición refiere al aspecto económico. Sin embargo, para el diseñador es obligatorio considerar las restricciones pertinentes en el diseño.

La restricción más importante tratándose del diseño de un vehículo marino, tiene lugar al considerar la ruta marítima sobre la cual la embarcación transitará. Las restricciones de calados en los puertos, obliga al diseñador a llevar a cabo un procedimiento para obtener una condición de diseño a partir del requerimiento inicial. En primer lugar, se debe determinar en base a la ruta marítima establecida los calados correspondientes a cada uno de los puertos de atraque. A continuación, se dan a conocer de manera consecutiva por orden desde el puerto de salida, a las tres terminales marítimas de desembarque.

- Baytown, Houston Tx. U.S.A. - 12.19 m, 39.37 ft (3).
- Altamira, Tamaulipas Mx. – 10.6 m, 34.77 ft (4).
- Veracruz, Veracruz Mx. – 9.14 m, 29.98 ft (4).
- Progreso, Yucatán Mx. – 9.75 m, 31.98 ft (4).

Se tomará como consideración el desembarco de un tercio de la carga en cada puerto, sin embargo, para la obtención de las características de diseño de la embarcación se tomará como calado restrictivo el correspondiente al puerto de Altamira, ya que es el puerto donde se llegará con el 100 % de la carga, lo que corresponderá al calado máximo de la embarcación. El dato principal que se busca, tomando en consideración la restricción del calado para el diseño, es el peso muerto de diseño o  $DWT_{\text{diseño}}$ . Para tal efecto se realizará un procedimiento descrito de la siguiente manera.

Procedimiento para el análisis de la relación entre la condición de plena carga versus la condición de diseño, mediante la manipulación de las gráficas del capítulo 3 "The Design Equations" del libro Practical Ship Design de D.G.M. Watson.

1. Entrar con  $dwt_{full\ load}$  a la figura 3.1 del libro para obtener  $Kd_{full\ load}$
2. Despejar  $Displ_{full\ load}$  de la fórmula de  $Kd_{full\ load}$
3. Entrar a la figura 3.2 con valor de 0.9 sobre el eje horizontal (razón del desplazamiento de diseño contra desplazamiento en plena carga) y  $Kd_{full\ load}$  en el eje vertical, mediante interpolación gráfica obtener un  $Kd_{diseño}$
4. Obtener del libro Ship Design and Performance del Doctor C.B. Barras el  $Displ_{diseño}$
5. Despejar de la fórmula de  $Kd_{diseño}$  el  $Dwt_{diseño}$

1.

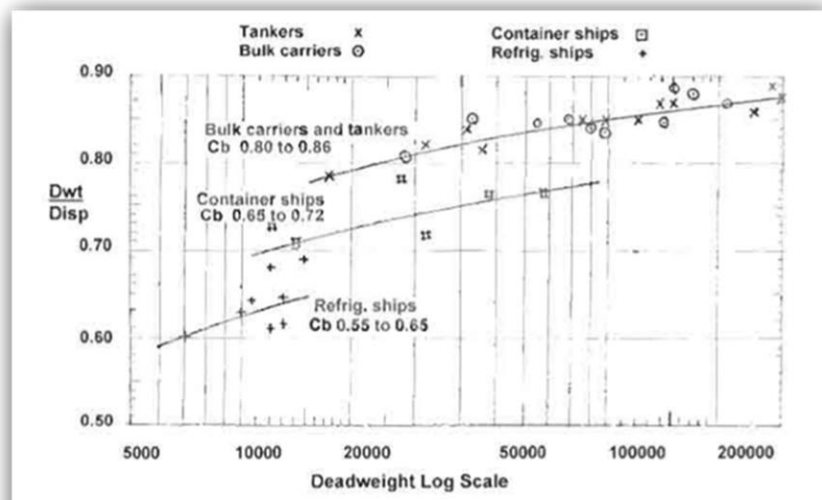


Figura 3.1: Relación DWT/Desplazamiento Vs Desplazamiento (El desplazamiento usado en esta gráfica es el desplazamiento “Full Load”, es decir que no se utiliza el desplazamiento de diseño. Fuente: (1).

2.

$$K_{dFL} = \frac{Dwt_{FL}}{Disp_{FL}}$$

$$Disp_{FL} = \frac{Dwt_{FL}}{K_{dFL}}$$

3.

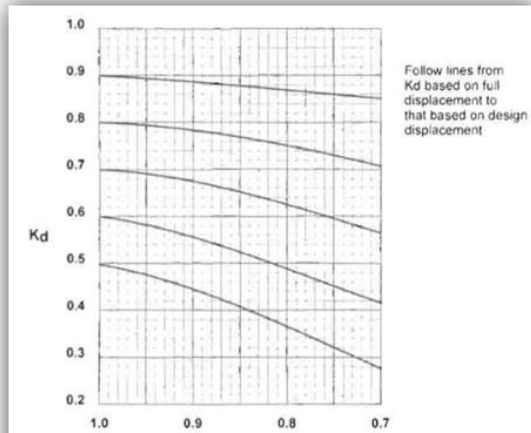


Figura 3.2: Coeficiente  $K_d$  Vs Desplazamiento “full load”. Fuente: (1).

4.

Obtener un peso muerto de diseño ( $dwt_{\text{diseño}}$ ) a partir de la fórmula:

$$\frac{H_2}{H_1} = \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^{C_B/C_W}$$

Donde:

$C_B$  = coeficiente de block

$$C_W = C_B + K \quad \text{donde: } K = \frac{1 - C_B}{3}$$

$W_1$  = dwt plena carga

$W_2$  = dwt diseño

$H_1$  = Calado a plena carga

$H_2$  = Calado de diseño

Despejando  $W_2$  de la fórmula, se tiene:

$$W_2 = W_1 * \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^{C_W/C_B}$$

5.

$$Kd_{diseño} = \frac{Dwt_{diseño}}{Disp_{diseño}}$$

$$Dwt_{diseño} = Kd_{diseño} * Disp_{diseño}$$

Una vez realizado el procedimiento de cálculo se concluye un  $Dwt_{diseño}$  de 44,238 ton. Dato con el que se puede dar inicio al proceso de generación de las alternativas las cuales se someterán a los criterios de selección. A continuación, se establecen los parámetros para el desarrollo de las alternativas (1).

### 3.1.2.- Parámetros Dominantes

En primera instancia la variable dominante, es decir primero en orden de importancia, para este proyecto será el  $C_B$  (coeficiente de block), el cual es el parámetro adimensional más básico, cuando se habla de la forma de una embarcación, y por supuesto, en el caso particular de un tanquero. La siguiente variable en escala de importancia será el  $C_{dwt}$  (coeficiente de peso muerto), el cual brinda una noción clara de la relación que existe entre el peso total de la embarcación y el peso que puede transportar de carga. Las siguientes serán las relaciones B/T (manga-puntal) y L/B (eslora-manga), respectivamente. Una vez determinadas y jerarquizadas las variables se procede a tomar rangos de valores, los cuales son proporcionados por textos, que a su vez han recabado información estadística basada en pruebas con modelos. A continuación, se muestran las variables jerarquizadas y sus respectivos rangos de valores (2):

|          |      |      |      |      |      |           |
|----------|------|------|------|------|------|-----------|
| $C_B$    | 0.78 | 0.79 | 0.8  | 0.81 |      |           |
| $C_{DW}$ | 0.76 | 0.77 | 0.78 | 0.79 | 0.80 | 0.81      |
| B/D      | 1.60 | 1.65 | 1.70 | 1.75 | 1.80 |           |
| L/B      | 5.40 | 5.50 | 5.60 | 5.70 | 5.80 | 5.90 6.00 |

Una vez obtenidos los rangos de valores para cada variable, se procede a realizar una permutación con la cual obtendremos el número de combinaciones necesarias para crear una tabla de cálculo, donde estarán implícitas las alternativas que serán evaluadas. A continuación, se muestra dicho procedimiento (2):

| Variable        | Rango de valores |      |      |      |      |                    |                    | Cant. De valores   |
|-----------------|------------------|------|------|------|------|--------------------|--------------------|--------------------|
| C <sub>B</sub>  | 0.78             | 0.79 | 0.8  | 0.81 |      |                    |                    | n <sub>1</sub> = 4 |
| C <sub>DW</sub> | 0.76             | 0.77 | 0.78 | 0.79 | 0.80 | 0.81               | n <sub>2</sub> = 6 |                    |
| B/D             | 1.60             | 1.65 | 1.70 | 1.75 | 1.80 | n <sub>3</sub> = 5 |                    |                    |
| L/B             | 5.40             | 5.50 | 5.60 | 5.70 | 5.80 | 5.90               | 6.00               | n <sub>4</sub> = 7 |

$$no. de alternativas = n_1 * n_2 * n_3 * n_4 = 840$$

Las 840 alternativas de igual manera representan el total de combinaciones que habrá entre las variables, lo que permite que no falte ninguna por considerar. Una vez determinado esto se procede con la configuración de la hoja de cálculo, la cual someterá a las alternativas a un proceso de análisis para cumplir con una serie de criterios, necesarios para su selección (2).

### 3.1.3.- Criterio de Peso Muerto

El primer dato que proporcionará la tabla será el desplazamiento mediante una fórmula que relaciona el coeficiente de peso muerto  $C_{dw}$  con el desplazamiento, a través del peso muerto de diseño  $Dwt_{diseño}$ . Posteriormente se aplicará la fórmula propuesta por el escritor Thomas Lamb para el cálculo de la eslora como dato preliminar, seguido por el paquete de fórmulas que resume el criterio.

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

Desplazamiento

$$\Delta = Dw / C_{Dw}$$

Manga

$$B = L / (L / B)$$

Puntal

$$D = B / (B / D)$$

Es necesario realizar en esta instancia un cálculo rápido de una posible potencia instalada requerida para impulsar a la embarcación a la velocidad de diseño. Para tal efecto será necesario también emplear un método de predicción del régimen máximo continuo o MCR. Se seguirá el método de L. K. Kupras expuesto por Ricardo Alvariño Castro en su libro “El proyecto básico del buque mercante”. A continuación, se detallan las fórmulas aplicables al cálculo de los diferentes pesos, una vez más por aporte del texto de Thomas Lamb.

$$W_{LS} = W_S + W_M + W_O + W_{Margin}$$

|     |                        |
|-----|------------------------|
| WLS | Peso en rosca          |
| WS  | Peso estructural       |
| WM  | Peso de maquinaria     |
| WO  | Peso de equipo de ing. |

|         |                               |
|---------|-------------------------------|
| Wmargin | Peso de margen de adquisición |
|---------|-------------------------------|

$$W_{LS} = (W_S + W_M + W_O)(W_{Margin})$$

$$W_{margin} = 1.03$$

$$DW_{calculado} = \Delta - W_{LS}$$

El peso muerto calculado mediante las fórmulas será comparado con el peso muerto de diseño para medir nuestro margen de error, el cual nos brindará el primer criterio de aceptación. A saber:

$$\varepsilon_{(DW\%) } = \left( \frac{DW_{calculado} - DW_{requerido}}{DW} \right) * 100$$

Hasta este punto aún no se puede realizar ninguna conclusión, ya que se deben cumplir los demás criterios.

#### 3.1.4.- Criterio de Volumen

El segundo criterio que se buscará cumplir será el de volumen, donde se desglosan todos los volúmenes ocupados por los espacios en la embarcación. Estos volúmenes a su vez, sumados corresponderán al volumen total del petrolero de productos, y por otro lado nos proporcionará datos importantes como, el volumen total disponible para la carga. A continuación, se describe el procedimiento junto con las fórmulas necesarias para su cálculo.

$$C_{wp} = \frac{C_B}{0.471 + 0.55C_B}$$

$$C'_B = C_B + (1 - C_B) \frac{0.8D - T}{3T}$$

$$\nabla_H = \left( \frac{\Delta}{\rho_{SW}} \right) + LB(D - T)C_{wp}$$

$$\nabla_H = C'_B * L * B * D_c$$

$$m_{FO} = SFR * MCR * \left( \frac{Range}{V} \right) * Margin$$

$$m_{HFO} = 0.9(m_{FO})$$

$$m_{DO} = 0.1(m_{FO})$$

$$m_{FW} = 0.17t(No. tripulantes * dias de viaje redondo)$$

Hasta este punto se tienen las masas de los fluidos, los cuales se transportarán y/o son necesarios para la operación de la embarcación, una vez obtenidas las masas se procede a calcular los volúmenes.

$$\nabla_{HFO} = \frac{m_{HFO}}{\rho_{HFO}}$$

$$\nabla_{DO} = \frac{m_{DO}}{\rho_{DO}}$$

$$\nabla_{LO} = \frac{m_{LO}}{\rho_{LO}}$$

$$\nabla_{FW} = \frac{m_{FW}}{\rho_{FW}}$$

$$\nabla_{Tankage} = \nabla_{HFO} + \nabla_{DO} + \nabla_{LO} + \nabla_{FW}$$

$$\nabla_{Lastre} = K(\nabla_{Requerido})$$

$$\nabla_{Operación} = \nabla_{Tankage} + \nabla_{Lastre}$$

$$\nabla_{Disponible} = \nabla_H - \nabla_{Sin\ carga}$$

Con semejanza al procedimiento descrito anteriormente, el volumen disponible arrojado por el cálculo se compara con el volumen requerido por el armador, esto para saber en porcentaje, el error al que estamos incurriendo y poder someterlo a criterio.

$$= \frac{\nabla_{Disponible} - \nabla_{Requerido}}{\nabla_{Requerido}} * 100\%$$

### 3.1.5.- Criterio de Estabilidad

El objetivo del criterio de estabilidad es obtener un GM+, lo que nos dará la certeza de que el proyecto resulta en una condición estable. A continuación, se establece el proceso para calcular de manera preliminar y muy básica los respectivos centros de gravedad, que afectarán a la estabilidad.

$$KG_{DO} = 0.14D$$

$$KG_{FW} = 0.10D$$

$$KG_{LO} = 0.35D$$

$$KG_{Operación} = \frac{KG_{HFO} * W_{HFO} + KG_{DO} * W_{DO} + KG_{FW} * W_{FW} + KG_{LO} * W_{LO}}{W_{HFO} + W_{DO} + W_{FW} + W_{LO}}$$

$$h_{df} = 2, \text{ o un valor menor a 2 pero mayor a 1 de : } \frac{B}{15}$$

$$KG_{Carga} = \frac{D - h_{df}}{2} + h_{df} \quad m_{C\&E} = 0.17t(\text{No. tripulantes})$$

$$m_{PR} = 0.01t(\text{No. tripulantes} * \text{días de viaje redondo})$$

$$DW_{Operación} = m_{HFO} + m_{DO} + m_{LO} + m_{FW} + m_{C\&E} + m_{PR}$$

$$DW_{Carga} = DW - DW_{Operación}$$

$$KG_{DW} = \frac{KG_{Carga} * DW_{Carga} + KG_{Operación} * DW_{Operación}}{DW_{Carga} + DW_{Operación}}$$

Una vez obtenido el  $KG_{DW}$  se procede a calcular el GM que tendrá cada alternativa, el cual deberá ser como mínimo positivo para poder garantizar una estabilidad (3).

### 3.1.6.- Criterio Ambiental (EEDI)

El criterio ambiental se centra en la definición de EEDI, que por sus siglas en ingles entendemos como índice de diseño de la eficiencia energética. La cual a grandes rasgos nos brinda un valor, cuyo significado impacta al ambiente. Los rangos y criterios se describen en las publicaciones hechas por los organismos internacionales encargados de regular las emisiones de gas con efecto invernadero. A continuación, se describen las fórmulas para el cálculo de dicho índice.

$$AIV = 3.13 \frac{190 * \sum_{j=1}^{NME} P_{MEi} + 210P_{AE}}{Capacity * V_{ref}}$$

$$Baseline = 1218.8 * DWT^{\wedge} - 0.488$$

Para finalizar se obtiene una diferencia la cual, sirve como parámetro de selección. Este procedimiento fue obtenido de la publicación del SNAME “An Evaluation of the Energy Efficiency Design Index (EEDI) Baseline for Tankers, Containerships, and LNG Carriers”.

### 3.1.7.- Criterio Económico

En la elaboración del criterio económico se busca una tasa de flete mínima requerida o RFR, la cual será la óptima para un desempeño económico saludable, y que a su vez dará viabilidad al proyecto. Algunos de los datos importantes que el cálculo del RFR arroja son: Relación de costos, inversión de capital, costo base, utilidad, etc. Cabe resaltar la importancia que este criterio tiene para la selección de una alternativa. A continuación, se establece el procedimiento de cálculo para la elaboración de las tablas correspondientes.

#### 3.1.7.1.- Estimación de Costos

- $\text{Costos de materiales} = f1W_{st} + f2W_o + (f3 * \text{MCR}.7 + K)$
- $\text{Costos de mano de obra} = f4RW_{st} + f5RW_o + (f6R * \text{MCR}.7 + K)$
- Las nuevas variables que aparecen fueron datos proporcionados.
- $\text{Costos indirectos} = 0.85 * (\text{Costos de materiales} + \text{Costos de mano de obra})$
- $\text{Costos adjuntos} = 0.02 * (\text{Costos de materiales} + \text{Costos de mano de obra} + \text{Costos indirectos})$
- $\text{Ganancia} = 0.09 * (\text{Costos de materiales} + \text{Costos de mano de obra} + \text{Costos indirectos})$
- $\text{Costo base} = (\text{Costos de materiales} + \text{Costos de mano de obra} + \text{Costos indirectos} + \text{Costos adjuntos} + \text{Ganancia})$
- $\text{Costo del armador} = 0.07 * \text{Costo base}$
- $\text{Seguros de la embarcación} = 0.015 * \text{Costo base}$
- $\text{Costos de administración, almacén, mantenimiento y reparación} = 0.5 * (\text{Seguros de la embarcación y Costo de tripulación})$
- $\text{Costo de tripulación} = (78.1 * N_{\text{TRIPULACIÓN}.8} + 10.9 * \text{TRIPULACIÓN}) * 1000$
- $\text{Costos de mantenimiento en astilleros} = (0.225 * \text{LBP}.67 + 0.175 * (\text{SMCR}.67 + 30)) * 1000$
- $\text{Costo del combustible HFO} = \text{Densidad del HFO} * \text{Costo del HFO} * \text{Volumen del HFO}$

- Costo del combustible DO = Densidad del DFO\*Costo del DFO\*Volumen del DFO

### 3.1.7.2.- Estimación de RFR

$$RFR = \frac{\sum \text{costos}}{\text{Carga anual transportada}}$$

Mediante la evaluación del RFR es posible elegir una alternativa económicamente viable, es decir, que se tomará la alternativa que presente el RFR más bajo. Una vez elegida la alternativa, se procede a tomar los parámetros que rigen a dicha alternativa, los cuales servirán para continuar con la metodología del diseño.

### 3.2.- Proceso de Obtención de las Formas del Casco

En el proceso de diseño de un buque se comienza con la etapa de dimensionamiento, lo que proporciona los primeros parámetros a considerar sobre el proyecto, es decir, las dimensiones principales, las cuales son el resultado de dicha etapa. La información con la que se cuenta es la siguiente:

|                     |        |                     |          |
|---------------------|--------|---------------------|----------|
| C <sub>b</sub>      | 0.80   | DTW (ton)           | 44390.97 |
| L <sub>pp</sub> (m) | 199.95 | V (m <sup>3</sup> ) | 56788    |
| B (m)               | 33.33  | Δ(ton)              | 58207.89 |
| T (m)               | 10.60  | MCR (hp)            | 10439    |
| D (m)               | 19.04  | RFR (USD)           | 20.33    |

Cabe resaltar que los parámetros anteriores tienen la etiqueta de preliminares, sin embargo, serán los datos con los que se comenzará el proceso de obtención de las formas. El método que se utilizará para tal acometido será el llamado “Método de Áreas”, el cual consiste en bosquejar de una manera burda la curva de A/A<sub>max</sub>, con forma similar a la que dibuja un buque con las mismas características. La curva A/A<sub>max</sub> representa las áreas transversales

sumergidas por estación. En el eje de las abscisas se traza la eslora sobre la línea de flotación, la cual, para un buque tanque será la misma que la eslora entre perpendiculares. Cada estación representa una ordenada cuyo valor máximo será el área transversal total. La curva intersecará a cada ordenada en el valor correspondiente al área de cada estación. A continuación, en la figura 3.3 se presenta un ejemplo de la curva junto con sus componentes principales:

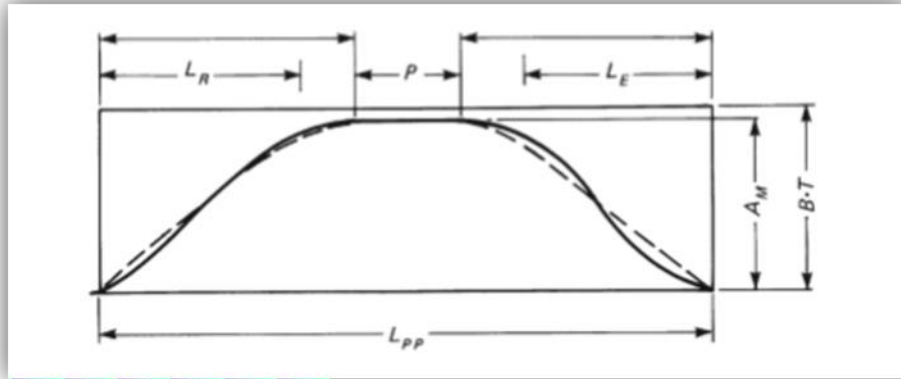
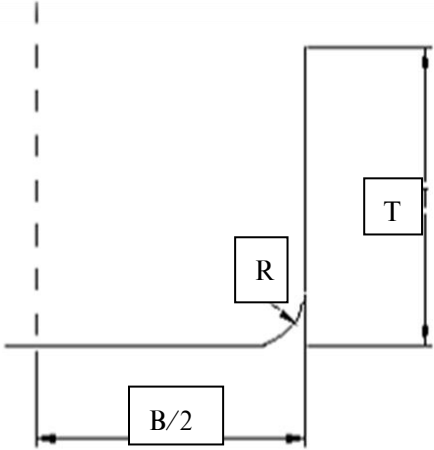


Figura 3.3: Ejemplo de curva de Áreas Seccionales. Fuente: (6)

Para poder continuar con el modelado de la curva, es necesario calcular los parámetros con los que no se cuenta, tales como:  $A_M$ ,  $P$ ,  $L_R$  y  $L_E$ . Por lo que se procederá de la siguiente manera.

### 3.2.1.- Diseño de la Sección Media

Para el diseño de la sección media el dato más importante es el llamado “Radio de Pantoque”, o  $R$ , el cual se calculará de la siguiente manera:



$$R = \sqrt{2.33 \cdot (1 - C_M) \cdot B \cdot T}$$

El coeficiente de la sección media (CM) se calculará mediante la fórmula de Kerlen, la cual está en función del coeficiente de block (CB), y se expresa de la siguiente manera:

$$C_M = 1.006 - 0.0056 * C_B^{-3.56} = 0.99$$

Por tanto:

$$R = 2.29 \text{ m}$$

Habiendo obtenido el coeficiente de la sección media es fácil obtener el área mediante la relación adimensional:

$$C_M = \frac{A_M}{B * T}$$

$$A_M = C_M(B * T) = 350.99 \text{ m}^3$$

El siguiente paso es calcular las esloras de entrada, salida y la longitud del cuerpo medio paralelo. Para lo cual se emplearon varias fórmulas con el fin de comparar los resultados obtenidos. A continuación, se presenta un breve reporte de las operaciones realizadas y los resultados obtenidos.

Eslora de Salida ( $L_R$ ) (m)
$$L_R = 4.08\sqrt{A_M} = 76.4375155$$
(Baker)

$$L_R = 3.2\sqrt{B * T/C_B} = 75.1794492$$
(Alsen)

Eslora de Entrada ( $L_E$ )
  
(m)

$$L_E = 0.1694 * V^2 = 38.115$$
(V in kn)
(Baker)
$$L_E = 0.64 * V^2 = 38.109386$$
(V in m/s)

$$L_E = 0.217 * V^2 = 48.825$$
(V in kn)
(Alsen)

Cuerpo medio Paralelo ( $L_X$ )
  
(m)

$$L_X = L_{PP} - L_R - L_E = 85.40$$

LCb (figura)
lectura
3.3%
  
LCb (figura)
1.65040397
a proa

El LCb ha sido obtenido de la siguiente figura:

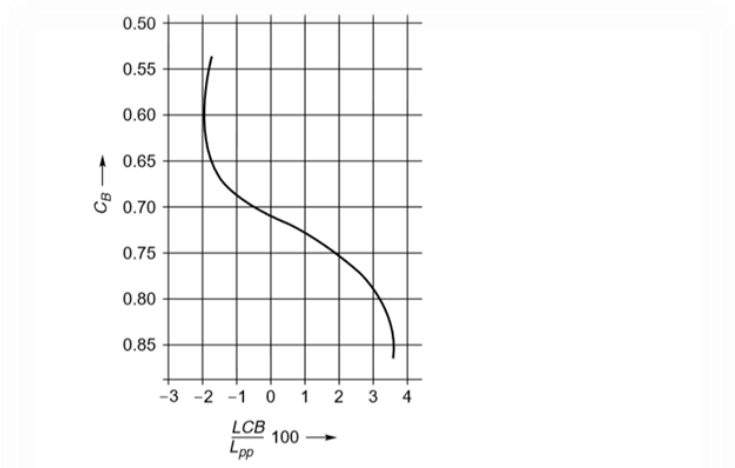


Figura 3.4: Posición Longitudinal del Centro de Flotación. Fuente: (7).

Para poder bosquejar la curva de áreas seccionales o  $A/A_{\max}$ , además de los parámetros anteriormente calculados, es indispensable contar con una idea de la forma que la curva debe tomar, obedeciendo al tipo de buque y sus características. Por tal motivo, se tomó en cuenta lo siguiente:

- Por requerimiento de armador se trabajará el tipo de proa de bulbo.
- Las características de la embarcación serán tomadas en cuenta como similares a las de un tanquero convencional.
- Las formas de las estaciones serán bosquejadas en forma de “U”, como lo establece el procedimiento para las embarcaciones tipo tanker.
- Los valores correspondientes a las esloras tanto, de entrada, como de salida y la longitud del cuerpo medio paralelo, podrán variar a medida que la curva adquiera la forma necesaria (7).

### 3.2.2.- Proa de Bulbo

Hoy en día, el uso del bulbo se ha expandido debido a las pruebas realizadas a un sin número de modelos, las cuales arrojan datos sobre una disminución en la resistencia, y por tanto en una disminución del costo de transporte. Las características principales del bulbo son:

- Sección de forma
- Perfil
- Longitud de proyección a partir de la perpendicular de proa
- Posición del eje
- Relación de área
- Transmisión al casco

El diseño del bulbo será basado en el documento escrito por Alfred M. Kracht titulado “Diseño del Bulbo de Proa”, publicado por el SNAME. Dicho documento aporta datos y parámetros que nos ayudan a bosquejar y posteriormente mejorar el diseño del bulbo. La figura 3.5 es un aporte del autor:

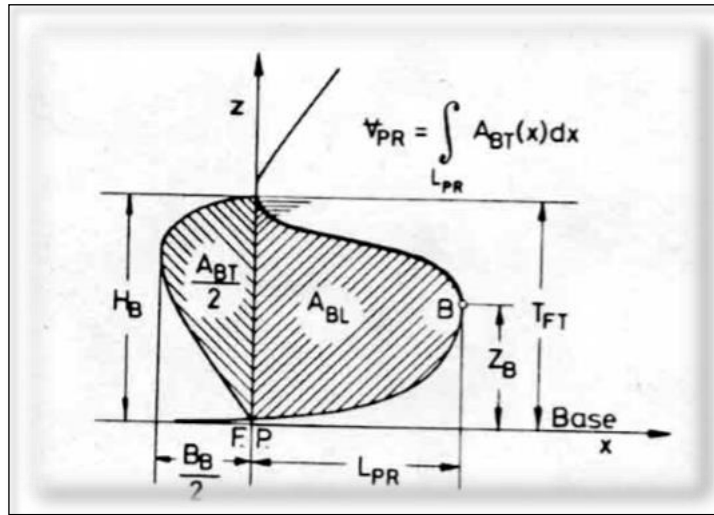


Figura 3.5: Representación Gráfica de las características del Bulbo. Fuente: (8).

En la figura anterior se pueden apreciar las propiedades del bulbo, las cuales son:

- $BB$  = Manga máxima del área transversal en la perpendicular de proa
- $LPR$  = Eslora de la protuberancia del bulbo
- $ZB$  = Altura del punto más a proa del bulbo por encima de la línea base.
- $TFT$  = Calado en la perpendicular de proa
- $ABT$  = Sección del área transversal del bulbo de proa en la FT
- $ABL$  = Área proyectada del bulbo en el plano longitudinal
- La integral del área bajo la curva representa el volumen total del bulbo

Dada la necesidad de representar las propiedades hidrodinámicas de los bulbos, es necesario sistematizar las formas existentes hoy en día, todas en función de las propiedades antes descritas. Es necesario tomar en cuenta que los bulbos pueden presentarse en muchas formas, sin embargo, es posible hacer una simplificación mediante la siguiente clasificación:

a). - Tipo triangular ( $\Delta$ -Type). La forma en delta proporciona un centroide de área alojado en la parte baja del bulbo, concentrando gran parte del volumen muy cerca de la base.

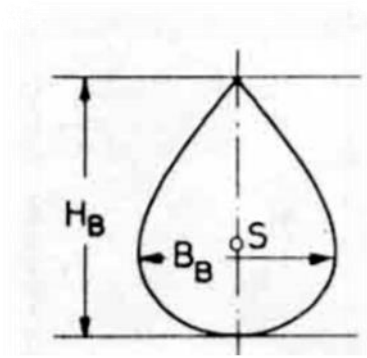


Figura 3.5a: Representación Gráfica del Bulbo tipo-Δ. Fuente: (8).

b). - En forma de “O” (O-Type). Este tipo de bulbo en forma ovalada presenta un centroide de área ubicado en la parte media, con una concentración de volumen muy céntrica. Debido a la practicidad y conveniencia en el bosquejo, se tomará esta forma para el modelado preliminar del bulbo.

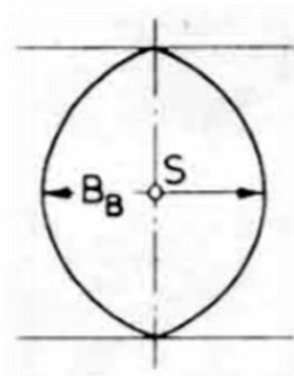


Figura 3.5b: Representación Gráfica del Bulbo tipo-O. Fuente: (8).

c). - Forma de Nábila. Esta es una forma muy particular semejante a una gota, a diferencia de las formas anteriores, el centroide de área se encuentra ubicado en la parte superior, por encima del eje de simetría. El volumen se concentra cerca del nivel de la superficie libre. Debido a al comportamiento altamente favorable en la navegación, este tipo de bulbo es el más común.

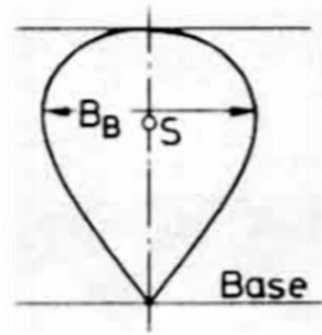


Figura 3.5c: Representación Gráfica del Bulbo tipo-V. Fuente: (8).

Todos los tipos de bulbo cuentan con parámetros llamados lineales, los cuales, resultan de mucha utilidad para el análisis de las formas. El sin número de pruebas realizadas a diversos modelos, han arrojado valores para los parámetros que, a su vez, dependen de ciertas características de los vehículos marinos a los que fueron adaptados.

Parámetros Lineales del Bulbo de Proa:

- El parámetro de manga, el cual relaciona la manga máxima del bulbo dividida entre la manga máxima del buque.

$$C_{BB} = B_B / B_{MS}$$

- Parámetro de eslora, este parámetro relaciona la eslora o longitud del bulbo dividida entre la eslora entre perpendiculares.

$$C_{LPR} = L_{PR} / L_{PP}$$

- Parámetro de puntal, este es representado por la razón de la altura del punto más a proa del bulbo por encima de la línea base, dividida entre el calado sobre la perpendicular de proa.

$$C_{ZB} = Z_B / T_{FP}$$

Se debe recalcar que, tal y como se estableció desde el inicio, los valores para los parámetros antes mencionados pueden variar a medida que el proyecto siga su curso de perfeccionamiento. Además de los tres parámetros

lineales con los que cuenta el bulbo, se tienen otros tres parámetros no-lineales que, de igual manera, resultan cruciales para la obtención de las características necesarias para el modelado del bulbo. Estos tres parámetros son:

- Parámetros de la sección transversal. El cual relaciona el área transversal máxima del bulbo, entre el área de la sección media del buque.

$$C_{ABT} = A_{BT}/A_{MS}$$

- b) Parámetro del área de perfil. Este parámetro es representado por el área proyectada del bulbo en el plano longitudinal, dividida entre el área de la sección media del buque.

$$C_{ABL} = A_{BL}/A_{MS}$$

- c) Parámetro volumétrico. El cuál relaciona el volumen nominal del bulbo, entre el volumen del buque.

$$C_{VPR} = V_{PR}/V_{WL}$$

Para poder obtener los valores de cada coeficiente adimensional y de esta manera relacionarlos con las propiedades del bulbo que se pretende diseñar, es presentarán a continuación las gráficas resultantes de diversas pruebas con modelos.

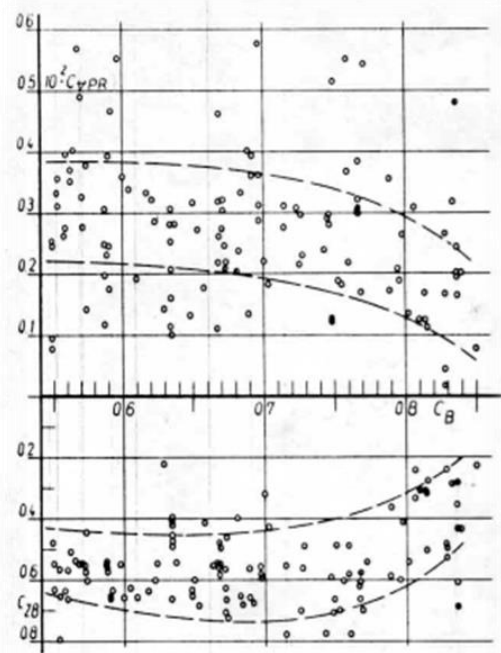


Figura 3.6a: Parámetro volumétrico y de puntal contra coeficiente de block. Fuente: (8).

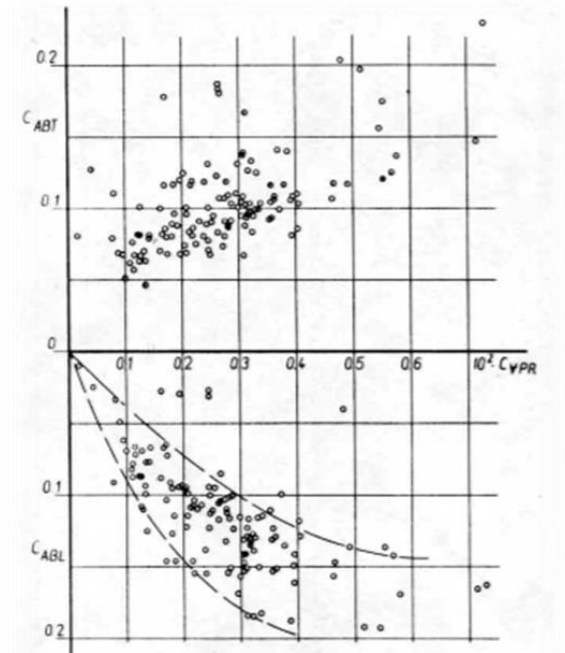


Figura 3.6b: Parámetro lateral y de sección transversal contra parámetro volumétrico. Fuente: (8).

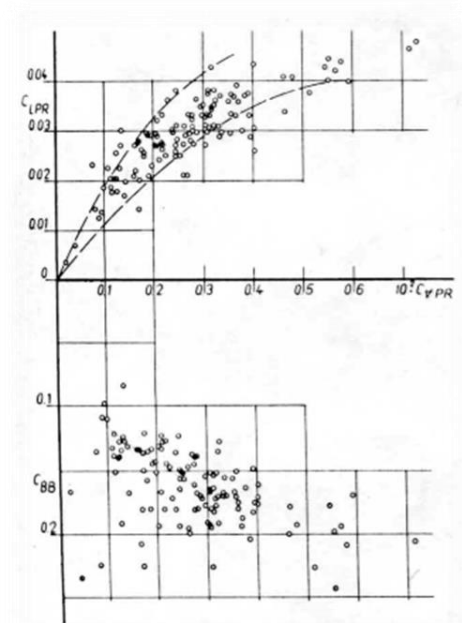


Figura 3.6c: Parámetro de eslora y manga contra parámetro volumétrico. Fuente: (8).

Obteniendo los siguientes valores:

$$10^2 C_{VPR} = 0.21$$

$$C_{ZB} = 0.465$$

$$C_{LPR} = 0.0285$$

$$C_{BB} = 0.150$$

$$C_{ABL} = 0.112$$

$$C_{ABT} = 0.095$$

Realizando despejes en cada una de las ecuaciones que relacionan datos conocidos de la embarcación, es posible obtener las primeras características del bulbo que se habrá de diseñar(8).

$$B_B = C_{BB} * B_{MS} = 0.150 * 33.33 \text{ m} = 4.99 \text{ m}$$

$$L_{PR} = C_{LPR} * L_{PP} = 0.0285 * 199.95 \text{ m} = 5.7 \text{ m}$$

$$Z_B = C_{ZB} * T_{FP} = 0.465 * 10.60 \text{ m} = 4.929 \text{ m}$$

$$A_{BT} = C_{ABT} * A_{MS} = 0.095 * 350.98 \text{ m}^2 = 33.34 \text{ m}^2$$

$$A_{BL} = C_{ABL} * A_{MS} = 0.112 * 350.98 \text{ m}^2 = 39.3097 \text{ m}^2$$

$$V_{PR} = C_{VPR} * V_{WL} = 0.21(10)^{-2} * 56788 \text{ m}^3 = 119.25 \text{ m}^3$$

### 3.2.3.- Curva de áreas seccionales ( $A/A_{\max}$ )

En muchas ocasiones el diseño naval ha sido considerado como un arte. Mientras que la apariencia de las formas sigue siendo una propiedad importante, hoy en día, no se puede negar que otras consideraciones han ido adquiriendo prioridad. Convencionalmente existen dos maneras efectivas de crear líneas; El diseño libre y la creación con base en modelos similares. En este trabajo se optó por llevar a cabo el diseño de manera libre, esto permitirá desarrollar formas que se complementen de una manera integral con el bulbo.

El primer paso en el diseño libre es dibujar la curva de áreas seccionales, lo que podrá ser llevado a cabo con los datos obtenidos en el diseño de la sección media y del bulbo. Existen dos maneras de dibujar la curva de áreas:

1. Basar el dibujo de la curva en una forma trapezoidal, la clave es tener la misma área en el trapecioide y la curva, lo anterior se ejemplifica en la figura 3.7.

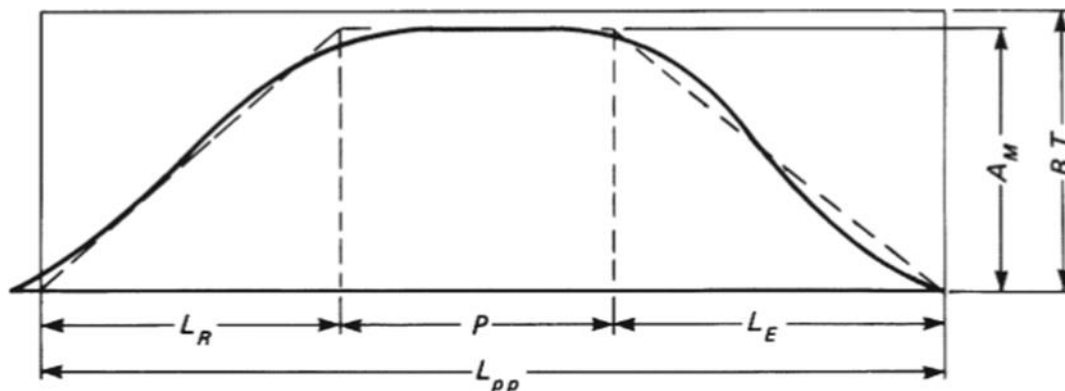


Figura 3.7: Ejemplo de trazo de un trapecioide sobre la curva de áreas. Fuente: (6).

2. Usando un diagrama auxiliar, cuyas características correspondan a las características y tipo de embarcación que se pretende diseñar, se debe tomar en cuenta la forma que obtendrá la curva al ser incorporado un bulbo en el área de proa. En la figura 3.8 se presenta un ejemplo del impacto de la proa de bulbo en la curva de áreas.

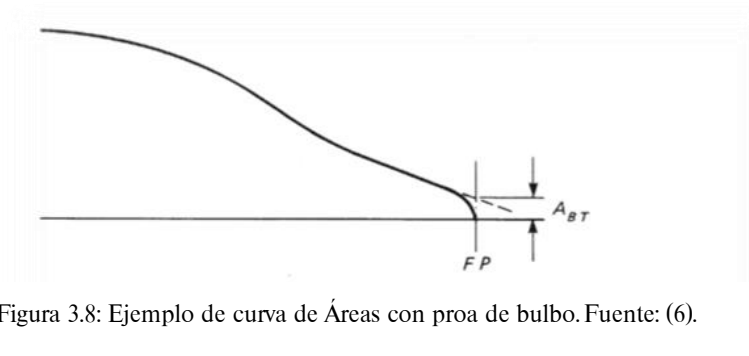


Figura 3.8: Ejemplo de curva de Áreas con proa de bulbo. Fuente: (6).

La figura anterior muestra la manera de corregir la sección de entrada con la presencia del bulbo en la proa, de ahí la necesidad de saber aproximadamente la cantidad de área que tendrá el apéndice. De esta manera se realiza el bosquejo de lo que será preliminarmente la curva predominante en el proyecto, dicha representación se encuentra expuesta en el anexo 1, en la parte final de este documento. Cabe señalar que los valores de las esloras de entrada, salida y cuerpo medio paralelo fueron ajustados para lograr una forma de curva equivalente a un tanquero con proa de bulbo (6).

### 3.2.4.- Curva de Plano de Agua ( $B/B_{\max}$ )

La curva que define el plano de agua es representada en una vista de planta, donde en el eje de las ordenadas se escala la media manga máxima, y en el eje de las abscisas se escala la eslora sobre la línea de agua, la cual, para un tanquero corresponde a la eslora entre perpendiculares. De manera muy semejante a la curva de áreas seccionales, se tomarán en cuenta las características de la curva y sus principales componentes. Ejemplo:

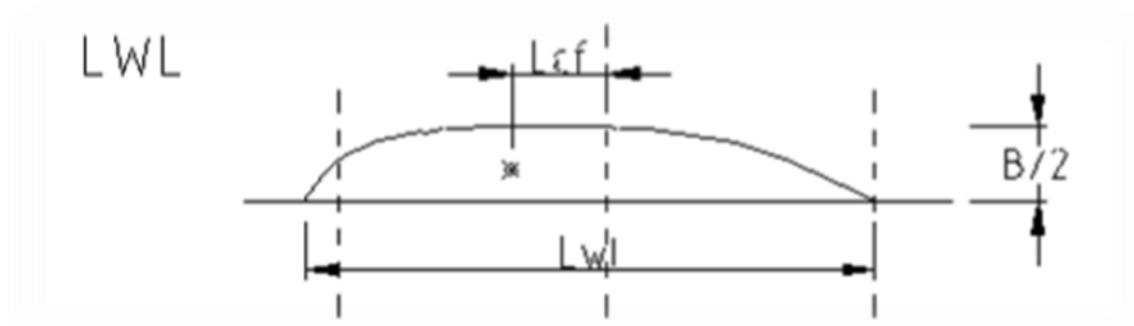


Figura 3.9: Ejemplo de Curva de Plano de Agua. Fuente: (7).

EL semi-ángulo de entrada sobre la línea de flotación máxima es un dato importante en el bosquejo de B/B<sub>max</sub>. Esta medida angular es calculada sobre la intersección de la línea centro con el extremo de la curva. EL procedimiento para obtenerla se describe a continuación:

Los valores para el semi-ángulo de entrada representado por P2, recomendados por Pophanken en 1939, en función del coeficiente prismático CP:

|    |      |      |       |        |        |      |      |
|----|------|------|-------|--------|--------|------|------|
| Cp | 0.55 | 0.60 | 0.65  | 0.70   | 0.75   | 0.80 | 0.85 |
| P2 | 8°   | 9°   | 9-10° | 10-14° | 21-33° | 33°  | 37°  |

Los valores mostrados en la tabla deberán ser multiplicados por el factor:  $7/(L/B)$

Para el cálculo aproximado del coeficiente prismático se aplicará la siguiente relación:

$$C_p = \frac{V}{A_m * L_{PP}} = \frac{C_B}{C_m} = \frac{V / L_{PP} * B * T}{A_m / B * T} = \frac{V * B * T}{A_m * L_{PP} * B * T} = \frac{V}{A_m * L_{PP}}$$

Después de realizar las sustituciones necesarias.  $C_p = 0.81$

Al realizar la interpolación entre los valores y multiplicar por el factor indicado se llega al siguiente valor en grados:

$$P_2 = 39.66^\circ \approx 40^\circ$$

Habiendo calculado el ángulo de entrada de la curva B/B<sub>max</sub>, es posible realizar el bosquejo preliminar, el cual se presenta en el anexo 2 al final del documento. El proceso de generación de formas será un método iterativo, y su base se centrará en los datos recabados de la curva A/A<sub>max</sub>, la cual, como ya se ha puntualizado, contiene los valores preliminares del área transversal por estación. Es por lo anterior, que el desarrollo de las formas se llevará a cabo en la vista transversal utilizando el software AcaD para lograr las curvas por estación (7).

### 3.3.- Obtención de Formas Definitivas.

Para la generación de las formas definitivas es necesario basarse en modelos ya establecidos, otorgados por autores para dar una idea del resultado final. A continuación, se presentan dos vistas transversales obtenidas de dos fuentes distintas y que fueron utilizadas para generar las estaciones del cuerpo de entrada y cuerpo de salida.

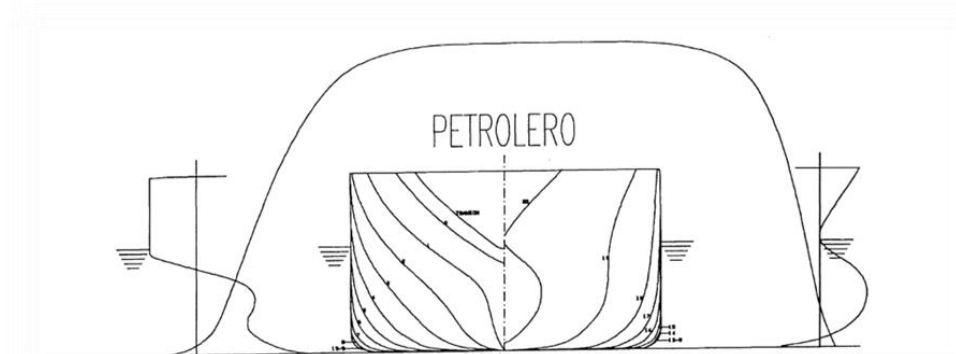


Figura 3.10: Ejemplo de vista transversal (con estaciones) de un petrolero. Fuente: (9).

De la figura anterior se tomó sólo como referencia la forma de las estaciones y el perfil. Ya que, la forma de la curva no parece contemplar de manera clara la sección del bulbo de proa. De igual manera se debe de tener claro que, dadas las especificaciones particulares en este proyecto, las formas expuestas por los principales autores de la materia son solo bases en el diseño, por lo que algunas características pueden variar en el proceso iterativo, El siguiente es otro ejemplo de las formas a las que se busca llegar:

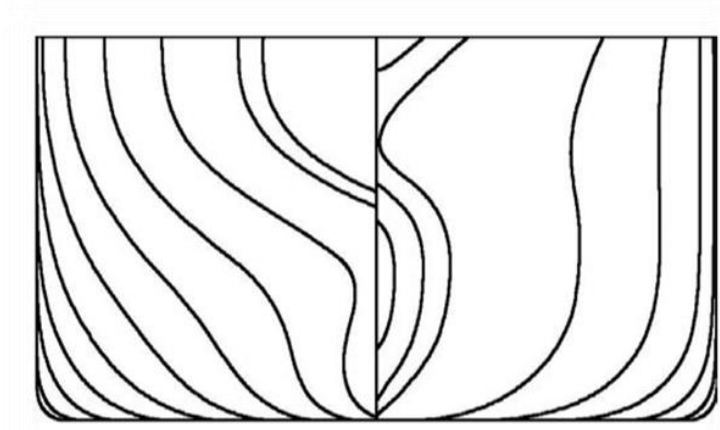


Figura 3.11: Ejemplo de vista transversal con Bulbo y Estaciones de un petrolero. Fuente: (3).

Los primeros datos de las áreas transversales tomadas del primer bosquejo de la curva de  $A/A_{max}$ , se presentan en el anexo 3, y son la base de comparación al realizar el primer plano transversal del proyecto. El primer plano

de líneas se encuentra en el anexo 4 y muestra primer resultado obtenido de la generación de las formas. Dicho plano debe ser evaluado para que la diferencia entre la posición longitudinal del centro de flotación no represente una diferencia significativa con respecto a la posición del centro de flotación de la curva de áreas.

Sin duda el primer plano de líneas representa un avance en el proceso, sin embargo, dada la característica iterativa del desarrollo de las formas definitivas. Será necesario realizar un proceso de afinamiento de las estaciones, para tal efecto se recurrió al software Maxsurf. Lo anterior produjo un nuevo plano de líneas con formas más detalladas. El segundo plano de líneas se presenta en el anexo 5, y tiene la característica de asemejarse más a las líneas propuestas anteriormente por los autores. Una vez completada la segunda iteración se procede a realizar los cálculos hidrostáticos preliminares, cuyos resultados podrán dar una idea del camino recorrido. Los cálculos hidrostáticos son llevados a cabo con el fin de saber si los parámetros resultantes del proceso de dimensionamiento se asemejan a las características predominantes en el diseño. Para lo cual, se presentan tablas con las características que se tomarán como las más relevantes en el proceso comparativo. Tales características incluyen:

1. Área para cada línea de agua ( $A_{wp}$ )
2. Volumen sumergido ( $V_{sum}$ )
3. Desplazamiento ( $\Delta$ )
4. Coeficiente del plano de agua ( $C_{wp}$ )
5. Coeficiente de Block ( $C_B$ )

La tabla con los parámetros obtenidos del análisis del plano 2 se muestra en el anexo 6. Y es apreciable que el coeficiente de block no satisface el valor obtenido de  $C_B = 0.8$ , por lo que se decide realizar una tercera iteración.

Para la tercera iteración se recurre de nuevo a ambos softwares, comenzando con el ajuste de las estaciones en AcaD, y realizando el afinamiento de estas en Maxsurf. El resultado de la tercera iteración es expuesto en el anexo 7, y posterior a él se anexan la cartilla de trazado y los cálculos realizados (anexos 7-A y 7-B respectivamente). Los resultados de la tercera iteración arrojan los siguientes resultados medidos hasta el calado de diseño:

| Calado | $A_{wp}$ | V        | $\Delta$ | $C_{wp}$ | Cb   |
|--------|----------|----------|----------|----------|------|
| 0      | 4207.60  | 0        | 0        | 0.63     | 0    |
| 1.06   | 5029.62  | 4895.72  | 5018.12  | 0.73     | 0.67 |
| 2.12   | 5285.75  | 10362.87 | 10621.94 | 0.77     | 0.71 |
| 3.18   | 5357.96  | 16004.04 | 16404.14 | 0.78     | 0.73 |
| 4.24   | 5436.13  | 21724.90 | 22268.03 | 0.79     | 0.75 |
| 5.30   | 5485.71  | 27513.48 | 28201.32 | 0.80     | 0.76 |
| 6.36   | 5540.72  | 33357.49 | 34191.42 | 0.81     | 0.76 |
| 7.42   | 5658.19  | 39292.91 | 40275.23 | 0.85     | 0.77 |
| 8.48   | 5754.15  | 45341.45 | 46474.99 | 0.86     | 0.78 |
| 9.54   | 5821.92  | 51476.77 | 52763.69 | 0.87     | 0.79 |
| 10.60  | 5891.72  | 57685.00 | 59127.12 | 0.88     | 0.79 |

Los datos anteriores muestran un resultado admisible de manera temporal, por lo que se concluye el proceso iterativo y se toma el plano de líneas del anexo 7 como el definitivo para comenzar con el siguiente escalón en el diseño.

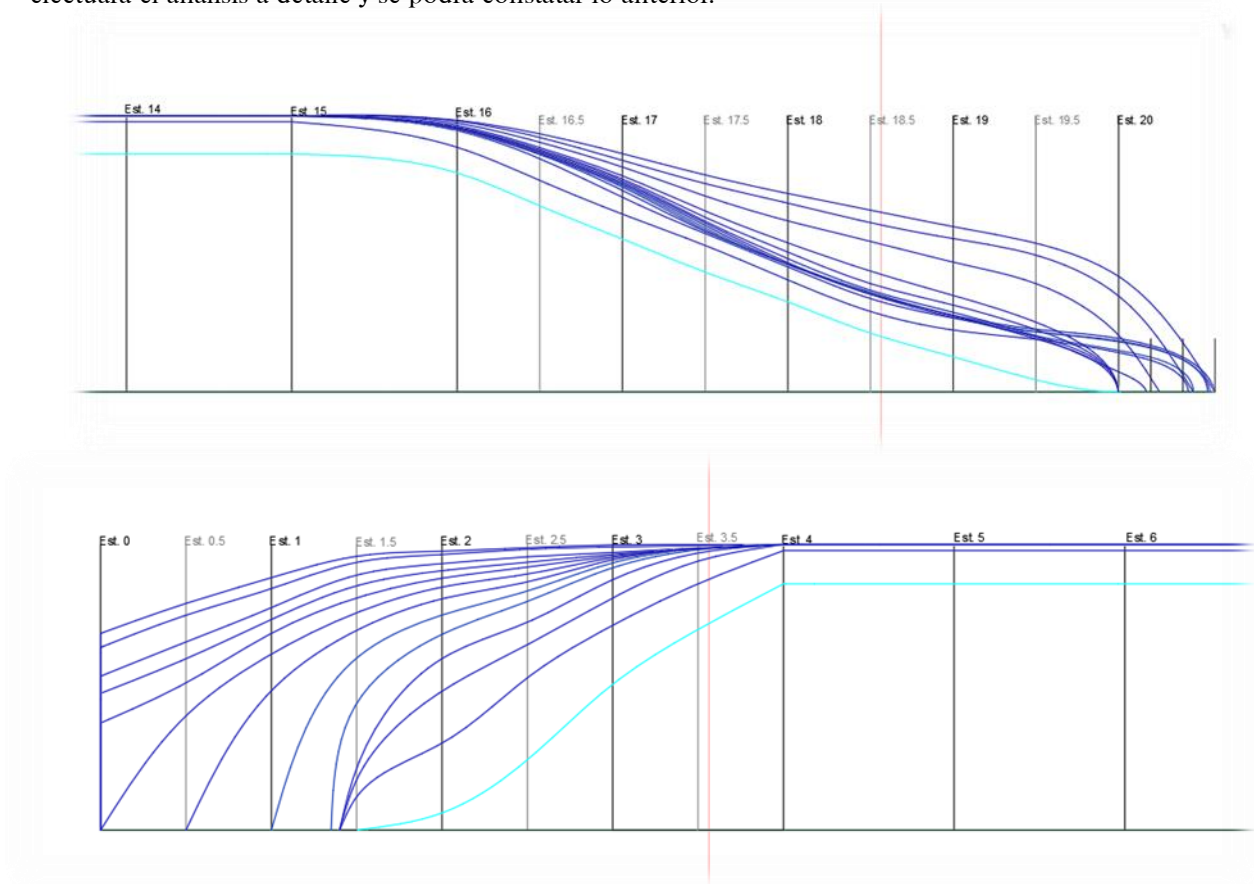
### 3.3.1.- Dimensiones y Coeficientes de Forma Requeridos

A partir de este punto se puede definir las dimensiones con las que se trabajara en adelante, sin embargo, se debe tomar en cuenta que el proceso de diseño es una metodología cíclica. La espiral de diseño establece la libertad de dar al proyecto la cantidad de revisiones necesarias para lograr un producto final, con la capacidad de cumplir al 100% con las expectativas del cliente. De igual manera no se debe olvidar que todas las etapas del proyecto se encuentran enteramente relacionadas y dependen entre sí, por lo que al continuar con el proyecto es posible que se realicen mejoras o ajustes. Las dimensiones definitivas son:

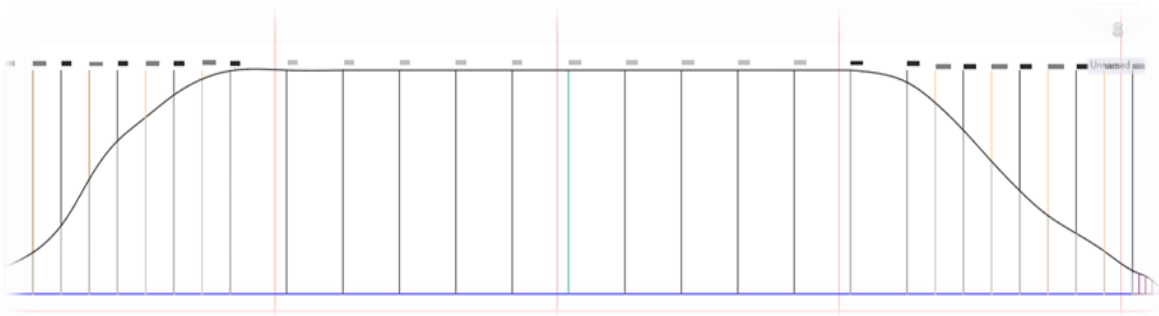


Como se puede apreciar, el cuerpo de entrada está dividido en seis estaciones, comprendidas desde la estación 20 hasta la estación 15, donde comienza el cuerpo medio paralelo. El cuerpo de salida comprende cinco estaciones, desde la estación 4 hasta la estación 0. En ambas secciones están integradas cuatro medias estaciones, con un total de ocho, todas a una distancia media entre cada estación. En la misma vista es apreciable el bulbo de proa, el cual, mantiene una forma principalmente elíptica, sin embargo, podrá variar en las posteriores instancias del proyecto. Por lo que no se tomará como una forma definitiva.

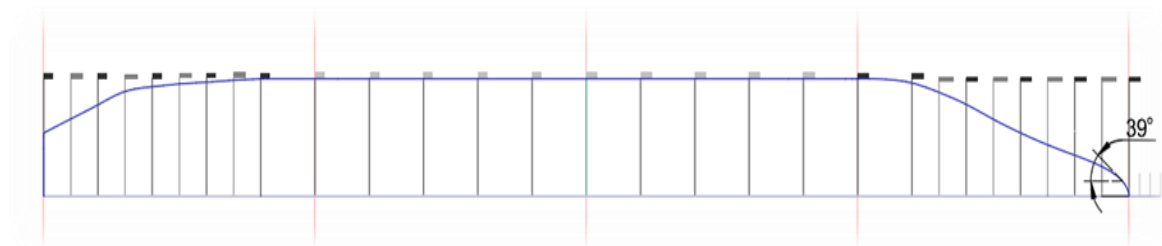
En la vista de plata es apreciable una de las más importantes complicaciones a las que se enfrentará este proyecto. En las dos figuras siguientes podemos deducir por simple inspección que la forma en proa se encuentra mucho más afinada que la parte en popa. Por lo que la posición del LCB pudiese estar comprometida ya que, por norma, dicha ubicación debe estar hacia proa de la sección media. En secciones posteriores se efectuará el análisis a detalle y se podrá constatar lo anterior.



Es un hecho que las curvas resultantes tanto de  $A/A_{\max}$  como de  $B/B_{\max}$  han sufrido algunos cambios desde la primera vez que se bosquejaron. Sin embargo, es la curva de áreas la más impactada por las iteraciones.



La curva de  $B/B_{\max}$  se presenta en la página siguiente. Donde se puede apreciar el ángulo de entrada.



### 3.4.- Datos para Curvas Hidrostáticas

Es habitual en todo proceso de diseño calcular y graficar las propiedades hidrostáticas de la embarcación a varios niveles de calado. Dichas curvas suelen ser de mucha utilidad en la fase de diseño, lo puede ser en gran medida para el cálculo de la carga, pero sobre todo en el momento de estudiar su estabilidad. A este grupo de curvas suele llamársele “Curvas de Forma” o “Curvas Hidrostáticas”.

Las curvas de forma o hidrostáticas suelen dibujarse en un solo diagrama donde se ubican, tanto el nivel de calado en el eje de las ordenadas, como las distintas escalas necesarias para dichas ordenadas en el eje de las abscisas. Las curvas que se graficarán en este documento son las siguientes:

- Volumen Sumergido (V)
- Desplazamiento en Toneladas ( $\Delta$ )
- Toneladas por Centímetro de Inmersión (TPC)
- Superficie Mojada (WS)
- Coeficientes de forma (CB, CP, Cwp, CM)
- Posición Longitudinal del Centro de Flotación (LCB)

- Posición Vertical del Centro de Flotación (KB)
- Distancia Vertical del Centro de Flotación al Metacentro (BM)
- Distancia Vertical de la Quilla al Metacentro (KM)

Para lo anterior, será necesario contar con datos específicos que describan matemáticamente las características de la embarcación. Estos datos incluyen:

- Distancias horizontales de las semi-mangas por estación, medidas a partir de la línea centro, hasta su extremo correspondiente sobre cada línea de agua (Tomadas de la cartilla de trazado).
- Distancias perimetrales medidas sobre el contorno de cada estación, desde la línea base (o quilla dependiendo el caso), hasta el punto de intersección con la línea de agua, correspondiente al nivel de calado con el que se esté trabajando (Datos obtenidos de AcaD).
- Áreas transversales de cada estación, a cada línea de agua (Datos obtenidos de AcaD).
- Valor del momento de inercia de cada plano de agua, hasta el plano en el nivel máximo de calado de diseño (Datos obtenidos de AcaD).

Todas las tablas correspondientes a esta sección se encuentran en el anexo 7.

### 3.5.- Disposición General

La distribución de espacios o disposición general se encuentra estrechamente vinculado al servicio a que se destina el buque. El proceso iterativo que requiere el proyecto también incluye esta distribución. En esta sección se realiza un primer bosquejo de la disposición general esquemática, en la que se representa, a grandes rasgos, la configuración del buque. Dicha configuración abarca las zonas destinadas a:

- Espacios de almacenamiento de carga
- Espacios de maquinaria
- Espacios de alojamiento
- Espacios para tanques de lastre
- Espacios para tanques de consumo

De manera específica, al referirse al petrolero de productos limpios o blancos, al momento de calcular su disposición general se deben tomar en cuenta las siguientes características:

- a) Capacidad para transportar y segregar una amplia variedad de productos en parcelas de diferente tamaño. Adicionalmente, deben poseer la capacidad de cargar y descargar en diferentes puertos manteniendo la estabilidad intacta.
- b) Volumen de tanques de carga suficiente para la carga más ligera a transportar.

Inicialmente, hay que abordar el problema de disponer un volumen suficientemente amplio para la carga que permita transportar los productos más ligeros sin problemas a la hora de alcanzar el disco de francobordo y permitir mayor flexibilidad en la distribución de las parcelas. Para buques de dimensiones considerables por arriba de 30,000 dwt. El dimensionamiento de los tanques de carga se hará considerando un peso específico de alrededor de 0.78, tomando en cuenta solo cargas limpias o blancas.

Teniendo en cuenta el gran número de grados existentes de productos y la absoluta necesidad de evitar contaminaciones, es evidente que cuanto mayor sea el número de parcelas y la variedad de sus proporciones, más flexibilidad poseerá el buque para aceptar diferentes combinaciones de carga. El transporte de productos blancos ha tenido desde siempre una mayor subdivisión para hacer frente a la ya mencionada amplia variedad de grados.

La segregación de la carga es el término sobre el que se ha abusado más en la explotación de los petroleros de productos. Estrictamente, segregar una carga es asegurar necesariamente que no se contamine por cualquier otra carga. Como en la práctica, los servicios rara vez se limpian por completo durante las operaciones de carga y descarga, la auténtica segregación solo existe si hay un servicio de bombas y tuberías para cada clase de carga. Evidentemente, un gran número de tanques aumenta las posibilidades de separación de la carga y el número de segregaciones está limitado por el número de bombas y sistemas de tuberías empleadas para atender este servicio.

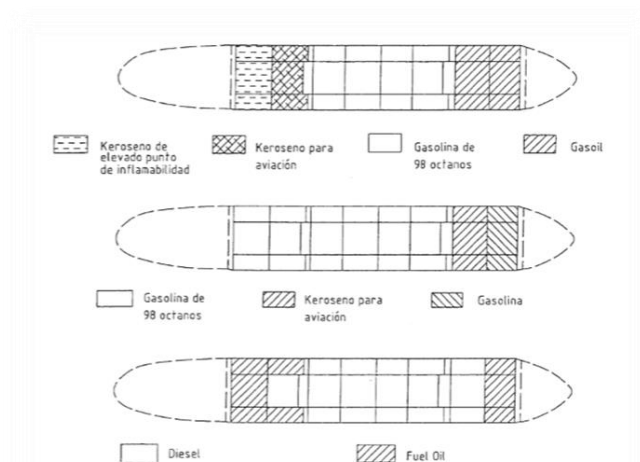


Figura 3.12: Ejemplo de una Disposición de Tanques en un Petrolero de Productos. Fuente: (9).

El continuo crecimiento de la demanda ha permitido el aumento del tamaño de los buques al mismo tiempo que se ha evaluado el tamaño individual de los tanques. Un petrolero moderno de productos puede tener tanques centrales de hasta 6,000 u 8,000 m<sup>3</sup> de capacidad especialmente si se dedica al tráfico polivalente de crudo y productos (9).

### 3.6.- Dimensiones Principales

El dimensionamiento de los petroleros de productos, a partir de la necesidad de satisfacción de los requerimientos de IMO en las enmiendas de 1992. Los buques de peso muerto igual o superior a 30,000 t habrán de cumplir con: doble casco, lastre segregado e hipótesis generalizada de estabilidad después de averías. Los enfoques más corrientes seguidos por los proyectistas para dimensionar estos buques han consistido en dimensionarlos para que, por un lado, cumpliesen los requisitos de peso muerto (L, B, T y CB) y por otro, confiar al puntal la misión de proporcionar la capacidad cúbica adicional que exigiese la incorporación del lastre separado. La razón de este enfoque ha sido la consideración de que el puntal es la dimensión principal cuyo aumento produce menor impacto en el peso del acero del casco.

Un pre-dimensionamiento basado principalmente en consideraciones geométricas podría ser como sigue:

- a) Tipo de tráfico (Marpol 73/78).
- b) Número de segregaciones y tamaño individual de las parcelas (que pueden comprender más de un tanque de carga).
- c) Volumen de tanques de carga, o en su defecto, densidad media de los productos a transportar. Si se fija un valor especialmente bajo de la densidad, tenerlo en cuenta.
- d) Peso muerto y su calado correspondiente.
- e) Velocidad de prueba y de servicio. Tipo de planta propulsora: Diesel directa o Diesel engranada, diesel-electrica, etc. Autonomía.
- f) Rutas operacionales.

Las dimensiones principales que se encuentran directamente relacionadas con la configuración de la disposición general se establecen de la siguiente manera:

- $L_{pp} = 199.99 \text{ m}$
- $D = 19.04 \text{ m}$
- $B = 33.33 \text{ m}$
- $T = 10.60 \text{ m}$

➤  $V_T = 57,685 \text{ m}^3$

### 3.7.- Compartimentación

La estimación del volumen de los espacios de carga es una de las tareas más importantes del proyecto preliminar de buque mercante, ya que se debe alcanzar el valor fijado en las bases del proyecto, y este volumen está directamente relacionado con las dimensiones principales del buque. En esta sección se indican métodos aproximados aplicables en el cálculo de los volúmenes de los tanques de consumos y lastre, considerándose dentro de las primeras fases del proyecto conceptual y preliminar.

#### 3.7.1.- Eslora del Pique de Proa

Las reglas de la sociedad de clasificación ABS en su parte 5-A, sección 5 requieren que el mamparo del pique de proa se sitúe entre una distancia mínima y otra máxima de la perpendicular de proa, como se indica a continuación:

- Buques con Proa de Bulbo

| Eslora $L_{pp}$ (m) | Mínima (m)         | Máxima (m)         |
|---------------------|--------------------|--------------------|
| $\leq 200$          | $0.05 L_{pp} - f1$ | $0.08 L_{pp} - f1$ |
| $> 200$             | $10 - f2$          | $0.08 L_{pp} - f2$ |

Donde:

$$f1 = LBU / 0.015L_{pp}$$

$$f2 = LBU / 2 \text{ m}$$

LBU es la protuberancia del bulbo en metros a partir de la perpendicular de proa ( $LBU=L_{PR}=5.7 \text{ m}$ ).

Por tanto, la eslora en el pique de proa se tomará como la distancia mínima, debido a que el plano ya existente permite una configuración similar:

$$L_{PQP_r} = 7.15 \text{ m}$$

### 3.7.2.- Eslora del Pique de Popa

Debido a la falta de reglamentación por parte de las sociedades de clasificación, acerca de las longitudes mínima y máxima, el pique de popa se define por necesidades de lastre y por la configuración de la cámara de máquinas. Sin embargo, un análisis de buques modernos indica que la longitud del pique de popa se puede estimar de la siguiente manera:

- 5.5% de LPP, en buques pequeños menores a 100 m de eslora.
- 4% de LPP, en buques grandes.

Por tanto:

$$L_{PQPp} = 7.99 \text{ m} \approx 8 \text{ m}$$

### 3.7.3.- Eslora de la Cámara de Bombas

La mayoría de los buques petroleros de productos alojan una cámara de bombas, esta cámara da cobijo al equipo de manejo de la carga y lastre, normalmente situada inmediatamente a proa de la cámara de máquinas. La cámara de bombas abarca desde la cubierta hasta el fondo del buque y frecuentemente su mamparo de popa forma una bayoneta hacia popa, aumentando así el tamaño de la cámara de bombas en su parte baja.

La eslora de la cámara de bombas ( $L_{CBO}$ ) puede ser estimada en función de la eslora entre perpendiculares ( $L_{PP}$ ). La eslora  $L_{CBO}$  deberá ser medida en su parte alta, y su valor obtenido de la siguiente tabla:

| $L_{PP}$ (m) | $L_{CBO}$ (m) |
|--------------|---------------|
| 100          | 1.50          |
| 150          | 2.75          |
| 200          | 3.50          |
| 300          | 4.50          |

Tomando el valor directamente de la tabla anterior:

$$L_{CBO} = 3.50 \text{ m}$$

### 3.7.4.- Puntal del Doble Fondo

El doble fondo en la zona de carga debe tener una altura mínima por requerimientos de resistencia estructural, por lo que las Sociedades de Clasificación definen en sus Reglas esta altura mínima:

Las reglas de ABS para buques tanques en la sección 5 apartado 3.2 estipulan que, el puntal de doble fondo ( $d_{db}$ ) mínimo deberá ser el resultado menor de las expresiones siguientes:

$$d_{db} = \frac{B}{15} \text{ m} = \frac{33.33 \text{ m}}{15} = 2.22 \text{ m}$$

El resultado de la razón anterior no debe ser tomado en cuenta si es menor a uno.

$$d_{db} = 2.0 \text{ m}$$

Por lo tanto, se toma el valor de la segunda expresión:  $d_{db} = 2.0 \text{ m}$

### 3.7.5.- Espesor del Doble Costado

De igual manera para el doble costado en las reglas de ABS para buques tanques en la sección 5 apartado 3.3 se estipula que, el valor del espesor mínimo ( $w_{de}$ ) deberá ser el resultado menor de las expresiones siguientes:

$$w_{de} = 0.5 + \frac{DWT}{20000} \text{ m} = 2.72 \text{ m}$$

Si el resultado de la expresión anterior es menor a uno, no se tomará en cuenta.

$$w_{de} = 2.0 \text{ m}$$

Por tanto, se toma el valor de la segunda expresión.  $w_{de} = 2.0 \text{ m}$

### 3.7.6.- Volumen del Doble Costado

El volumen del doble costado se calculará multiplicando el espesor del doble costado por la eslora entre perpendiculares y por el puntal menos la altura del doble fondo, todo multiplicado por dos, debido a que el doble costado se encuentra en ambas bandas.

$$V_{de} = 2[w_{de} * L_{PP} * (D - d_{db})] = 13631.31 \text{ m}^3$$

### 3.7.7.- Volumen del Doble Fondo

El volumen del doble fondo en metros cúbicos se puede aproximar por la fórmula siguiente:

$$V_{db} = L_{PP} * B * d_{db} \left[ C_B - 0.4 \left( \frac{T - d_{db}}{T} \right)^2 \sqrt{1 - C_B} \right] = 9095.30 \text{ m}^3$$

### 3.7.8.- Volumen del Doble Casco

$$V_{dc} = V_{de} + V_{db} = 22726.61 \text{ m}^3$$

### 3.7.9.-Volúmenes de Piques Combinados

Los volúmenes del pique de proa y popa combinados en metros cúbicos se pueden estimar por la siguiente expresión:

$$V_{PQS} = 0.37 L_{PQS} * B (D + A_{RM}) C_B$$

Donde:

$$L_{PQS} = L_{PQPp} + L_{PQPp} = 18.15 \text{ m}$$

$$A_{RM}(m) = \frac{A}{100 \left( \frac{L_{PP}}{3} + 10 \right) 0.0125}$$

Donde a su vez,  $A = 3.3 \text{ m}$ , por tanto:

$$A_{RM}(m) = 0.034 \text{ m}$$

Entonces se tiene que el volumen de los piques es:

$$V_{PQS} = 3415.43 \text{ m}^3$$

### 3.7.10.- Volumen de la Cámara de Bombas

Para el volumen de la cámara de bombas se tomará en cuenta el puntal, obtenido del proceso de dimensionamiento, y de la misma fuente se tomará la manga máxima:

$$V_{CBO} = L_{CBO} * B * D = 2221.11 \text{ m}^3$$

### 3.7.11.- Volumen del Casco Completo

El volumen total del casco en metros cúbicos se puede estimar por la fórmula:

$$V_{TC} = C_{BD} * L_{PP} * B * D_A + V_{BR}$$

Donde:

$$C_{BD} = C_B + 0.35 \frac{D - T}{T} (1 - C_B) = 0.85$$

$$D_A (m) = D + A_{RM} = 19.074 \text{ m}$$

$$V_{BR} (m^3) = 0.012 L_{PP} * B^2 = 2666 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, el volumen total del casco es:

$$V_{TC} = 110735.78 \text{ m}^3$$

### 3.7.12.- Cámara de Máquinas

Los buques de carga en su mayoría sitúan su cámara de máquinas a popa, y ésta será la consideración con la que se trabajará en adelante. La longitud necesaria para la cámara de máquinas depende básicamente de la potencia instalada del motor propulsor y de las dimensiones del buque, en especial de su eslora, y en menor medida, del tipo de motor y su número, de la cantidad y tamaño de equipos auxiliares y consideraciones constructivas del astillero. También la longitud del motor y la del reductor, en el caso de instalaciones engranadas, pueden influir en el cálculo. Por ello se considera muy complicado definir con precisión la longitud de la cámara en la fase de proyecto preliminar.

Para facilitar esta estimación, se indican a continuación unas fórmulas sencillas, que proporcionan una aproximación de la eslora en metros de la cámara de máquinas. Se considera el motor propulsor a Diesel de dos tiempos, directamente acoplado a la hélice.

$$L_{CM} = 0.28L_{PP}^{0.67} + 0.48MCO^{0.35}$$

Siendo MCO = potencia máxima continua del motor propulsor, en BHP. El dato fue obtenido en el dimensionamiento por el método de Kupras, y es:  $MCO_{Kupras} = 10439 \text{ HP}$ .

Por tanto, el valor de la eslora para la cámara de máquinas en la fase preliminar será:

$$L_{CM} = 21.98 \text{ m}$$

El volumen de la cámara de máquinas en metros cúbicos, situada a popa, se puede aproximar por las siguientes fórmulas:

$$V_{CM} = L_{CM} * B * D_{popa} \left( \frac{3.217L_{CM}}{L_{PP}} - 0.0655 \right)$$

Para el resultado de la expresión anterior se tomará el puntal medido en popa del plano de líneas.  $D_{popa} = 16.23 \text{ m}$ .

$$V_{CM} = 3425.101 \text{ m}^3$$

### 3.7.13.- Espacios de Carga

En la regla 24 del convenio de MARPOL, dirigida a todo petrolero y que trata sobre la Disposición de los tanques de carga y limitación de su capacidad. Establece que la longitud de cada tanque de carga no excederá de 10 m o de uno de los siguientes valores, si fuera mayor:

Si en los tanques de carga existe un mamparo longitudinal en crujía, se aplicará la siguiente expresión.

$$L_{TK} = \left( 0.25 \frac{b_i}{B} + 0.15 \right) L = 32.99 \text{ m} \approx 33 \text{ m}$$

$b_i$  es la distancia mínima entre el costado del buque y el mamparo longitudinal exterior del tanque de que se trate, medida perpendicularmente al plano de crujía. En este caso en particular refiere a la distancia ya obtenida del espesor del doble costado (10). Es decir:  $b_i = w_{de} = 2.0 \text{ m}$ .

### 3.8.- Subdivisión Estanca

#### 3.8.1.- Disposición de los Mamparos Estancos

Según lo dispuesto por la sociedad de clase ABS, todo buque deberá ser provisto de mamparos estancos, los cuales, dividirán el espacio total en compartimentos estancos acorde con la sección 5 en el apartado 2 de las reglas de clasificación para buques petroleros y petroleros de productos.

a) Los buques tanque deberán ser dispuestos de los siguientes mamparos estancos como mínimo:

- Mamparo de colisión
- Mamparo en pique de popa
- Mamparo en el extremo de la cámara de máquinas

b) Los mamparos que dividen la región del compartimento de carga deberán ser espaciados en intervalos uniformes tal como sea posible.

c) El número aplicable de mamparos y su disposición deberá ser cotejada con los requerimientos de estabilidad dañada, esloras inundables y subdivisión. Lo anterior será en concordancia con las regulaciones nacionales.

#### 3.8.2.- Posición del Mamparo de Colisión

Todos los buques deberán ser provistos de un mamparo de colisión, el cual, se extiende hasta la cubierta de francobordo. Este mamparo se ubicará entre el  $0.05L_L$  o 10 m, cual sea el dato menor, y  $0.08L_L$  a popa del punto de referencia. La sociedad de clase establece el valor  $L_L$  como el dispuesto por el convenio internacional sobre líneas de carga, la cual establece:

$L_L = 96\%$  de la eslora total medida en la flotación cuya distancia a la cara superior de la quilla sea igual al 35% del puntal mínimo de trazado = 189.03 m

Por lo tanto:

$$0.05L_L = 9.45 \text{ m}$$

Por lo que se toma el dato anterior.

$$0.08L_L = 15.12 \text{ m}$$

El punto de referencia para cualquier buque petrolero provisto con bulbo de proa deberá ser medido desde el extremo a proa de  $L_L$ , a una distancia  $x$  más a proa, donde el valor de  $x$  deberá ser tomado como el menor de las siguientes disposiciones:

- a) La distancia media, desde el extremo a proa de  $L_L$  hasta el extremo a proa de la extensión del bulbo.  
 $P_R = 2.55 \text{ m}$
- b)  $0.015L_L = 2.83 \text{ m}$
- c)  $3 \text{ m}$

El valor en metros de la distancia al punto de referencia será (10):  $P_R = 2.55 \text{ m}$

### 3.9.- Habilitación

Esta sección está basada en la participación de México en la Conferencia General de la Organización Internacional del trabajo, convocada en Ginebra por el Consejo de Administración de la Oficina Internacional del Trabajo, y congregada en dicha ciudad el 7 de febrero de 2006, en su nonagésima cuarta reunión. Deseando elaborar un instrumento único y coherente que recoja en lo posible todas las normas actualizadas contenidas en los convenios y recomendaciones internacionales sobre el trabajo marítimo vigentes, así como los principios fundamentales que figuran en otros convenios internacionales del trabajo. La Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, 1982, establece un marco jurídico general con arreglo al cual deben regirse todas las actividades realizadas en el océano y tiene una importancia estratégica como base para la acción y cooperación en el sector marítimo en los planos nacional, regional y mundial, y que es necesario mantener la integridad de su contenido. A continuación, se presenta un resumen de los párrafos más importantes, dicho resumen filtra el contenido dirigido a proyectos que incluyen características similares a las de este trabajo. Por lo que las secciones innecesarias serán descartadas.

El Título 3. Alojamiento, Instalaciones de Esparcimiento, Alimentación y Servicio de Fonda, en su apartado 3.1- Alojamiento y servicios de esparcimiento, establece:

1).- Todo miembro deberá velar por que en los buques que enarbolan su pabellón se faciliten y mantengan alojamientos e instalaciones de esparcimiento decentes para la gente de mar que trabaja o vive abordo, o ambas cosas, conformes con la promoción de la salud y el bienestar de la gente de mar.

2).- Los requisitos contenidos en el Código que dan cumplimiento a la presente regla y que se refieren a la construcción y el equipamiento de los buques se aplican únicamente a los buques construidos en la fecha de entrada en vigor del presente Convenio para el Miembro de que se trate, o después de esta.

3).- A menos que se disponga lo contrario, todo requisito contenido en una enmienda al Código que se refiera a la prestación de alojamiento y servicios de esparcimiento para la gente de mar se aplicará únicamente a los buques construidos a contar de la fecha en que la enmienda surta efectos para el Miembro de que se trate.

4).- La autoridad competente de cada Miembro deberá velar en particular por que se apliquen los requisitos del presente Convenio en relación con:

- El tamaño de los dormitorios y otros espacios de alojamiento
- La calefacción y la ventilación
- El ruido y las vibraciones, y otros factores ambientales
- Las instalaciones sanitarias
- La iluminación
- La enfermería

5).- En lo que atañe a los requisitos generales sobre los espacios de alojamiento:

- Deberá haber suficiente altura libre en todos los espacios de alojamiento de la gente de mar; la altura libre mínima autorizada en todos los espacios de alojamiento de la gente de mar en donde sea necesario circular libremente no deberá ser inferior a 203 centímetros; la autoridad competente podrá permitir la reducción de la altura libre en cualquiera de dichos espacios, o partes de estos, cuando haya comprobado que tal reducción es razonable y no causará incomodidad a la gente de mar.
- Los espacios de alojamiento deberán estar adecuadamente aislados.
- En los buques que no sean buques de pasaje, conforme a las definiciones contenidas en la regla 2, apartados e y f, del Convenio SOLAS, 1974, adoptado por la Organización Marítima Internacional en 1974, los dormitorios deberán estar situados por encima de la línea de carga, en el centro o en la popa del buque, pero en casos excepcionales, cuando no sea factible otra ubicación, debido al tamaño o al tipo de buque o al servicio para el que esté destinado, podrán estar ubicados en la proa del buque, pero nunca delante del mamparo de abordaje.
- No deberá haber ninguna abertura directa que comunique los dormitorios con los espacios de carga y de máquinas, cocinas, pañoles, tendederos o instalaciones sanitarias comunes; las partes de los mamparos que separen estos lugares de los dormitorios y los mamparos exteriores

estarán debidamente construidas con acero o con cualquier otro material aprobado, estanco al agua y al gas.

6).- Los materiales que se utilicen en la construcción de los mamparos interiores, paneles y vagras, pisos y juntas deberían ser adecuados para sus fines y para garantizar un entorno saludable.

7).- Deberá facilitarse una iluminación apropiada y dispositivos de desagüe suficiente.

8).- Los espacios de alojamiento y las instalaciones de esparcimiento y de fonda deberán cumplir con los requisitos contenidos en la regla 4.3 y con las disposiciones conexas del código, relativas a la protección de la seguridad y la salud y la prevención de accidentes, en lo que atañe a la prevención de los riesgos de exposición a niveles peligrosos de ruido y de vibraciones así como de otros factores ambientales y químicos a bordo de los buques, y asegurar un entorno laboral y de vida a bordo aceptable para la gente de mar.

9).- Los Dormitorios y comedores deberán estar adecuadamente ventilados

10).- Los buques, con excepción de aquellos que operan regularmente en regiones cuyas condiciones de clima templado no lo requieran, deberán estar provistos de aire acondicionado en los espacios de alojamiento de la gente de mar, así como en todo cuarto de radio separado y en toda la sala de control central de máquinas.

11).- Para su ventilación, todos los espacios de aseo deberán tener una abertura directa al exterior, separada de cualquier otra parte del alojamiento

12).- En buques que no sean de pasaje, se proporcionará un dormitorio individual a cada marino; por lo que se refiere a los buques de arqueo bruto inferior a 3,000 o a los buques especiales construidos de conformidad con el Código de seguridad aplicable a los buques para fines especiales, la autoridad competente, previa consulta con las organizaciones de armadores y de gente de mar interesadas, podrá eximirlos del cumplimiento de este requisito.

13).- Deberá proporcionarse dormitorios separados para hombre y mujeres.

14).- Los dormitorios deberán tener un tamaño adecuado y estar debidamente equipados para asegurar una comodidad razonable y facilitar la limpieza.

15).- En todos los casos deberán proporcionarse literas individuales para cada marino

16).- Las dimensiones interiores mínimas de toda litera deberán ser como mínimo de 198 \* 80 cm

17).- En los dormitorios individuales de la gente de mar, la superficie disponible por cada marino no deberá ser inferior a 7 metros cuadrados en los buques de arqueo bruto igual o superior a 10,000.

18).- En los buques que no sean de pasaje ni estén destinados a actividades especiales, la superficie disponible por persona en los dormitorios de los marinos que cumplan funciones de oficial de buque, cuando no haya sala o salón privados, no deberá ser inferior a 10 metros cuadrados para los buques de arqueo bruto igual o superior a 10,000.

19).- El capitán, el jefe de máquinas y el primer oficial deberán tener, además de su dormitorio, una sala o salón continuos o un espacio adicional equivalente.

20).- En lo que atañe a los requisitos sobre comedores, éstos deberán:

- Estar separados de los dormitorios y ubicados lo más cerca posible de la cocina.
- Tener un tamaño adecuado.

21).- En lo que atañe a los requisitos sobre enfermería, los buques que lleven 15 o más marinos a bordo y que efectúen viajes de más de tres días deberán disponer de una enfermería independiente que se utilice exclusivamente con fines médicos.

22).- Se deberán poner a disposición servicios de lavandería conveniente situados y amueblados.

23).- Todos los buques deberán disponer de oficinas separadas o de una oficina común para el servicio de cubierta y para el servicio de máquinas.

### 3.9.1.- Diseño y Construcción

Los mamparos exteriores de los dormitorios y de los comedores deberían estar debidamente aislados. Todas las cubiertas de protección de las máquinas y todos los mamparos de contorno de las cocinas de otros espacios que despidan calor deberían estar debidamente aislados en todos los casos en que dicho calor pueda resultar molesto en los compartimentos o pasadizos adyacentes.

2).- Los dormitorios, comedores, salas de esparcimiento y pasadizos situados en el espacio reservado al alojamiento de la tripulación deberían estar convenientemente aislados para impedir toda condensación o calor excesivo.

3).- Los revestimientos de los mamparos y los techos deberían ser de un material cuya superficie pueda mantenerse limpia fácilmente. No se debe usar ninguna forma de construcción susceptible de albergar parásitos.

4).- Las superficies de los mamparos y los techos de los dormitorios y comedores deben estar diseñados para facilitar su limpieza y deben ser de color claro, con un acabado duradero y no-toxico.

5).- En el cálculo de la superficie se deberá incluir el espacio ocupado por las literas, armarios, cómodas y asientos. Los espacios reducidos o de forma irregular que no aumenten de manera efectiva el espacio disponible para circular y que no puedan ser utilizados para colocar muebles deberían ser excluidos del cálculo.

### 3.9.2.- Prevención del Ruido y Vibraciones

- Los dormitorios, instalaciones de esparcimiento y de servicios de fonda deben estar situados lo más lejos posible de la sala de máquinas, la sala de aparatos de gobierno, los chigres de cubierta, los equipos de ventilación, calefacción y aire acondicionado y cualquier otra maquinaria o aparato ruidoso.
- La sala de máquinas y otros locales de maquinaria deberán estar provistos, cuando sea factible, de salas insonorizadas de control centralizado de máquinas para el personal que trabaja en ellas. Los lugares de trabajo, tales como taller de máquinas, deberán estar insonorizados, en la medida que sea factible, del ruido general procedente de la sala de máquinas, y deberán adoptarse medidas para reducir el ruido del funcionamiento de la maquinaria.

### 3.10.- Tripulación

Se denomina personal embarcado al conjunto de personas de a bordo conforme a sus respectivos documentos de embarco destinados a atender todos los servicios del buque o embarcación. El personal embarcado de la Marina Mercante de acuerdo con su especialización y el ámbito de navegación se clasifica en:

#### 1.- Cuerpo de Cubierta:

- Capitán de ultramar
- Primer oficial de cubierta
- Segundo oficial de cubierta
- Tercer oficial de cubierta
- Contramaestre
- Marinero
- Timonel

#### 2.- Cuerpo de Máquinas

- Jefe de máquinas
- Primer oficial de máquinas
- Segundo oficial de máquinas
- Tercer oficial de máquinas
- Motorista
- Auxiliar de motorista

### 3.- Cuerpo de Radiocomunicaciones

- Jefe de radio comunicaciones
- Radio operador

### 4.- Cuerpo de Administración

- Mozo
- Camarero
- Cocinero
- Ayudante de cocina

### 5.- Cuerpo de Sanidad

- Médico
- Enfermero

El cuerpo de tripulación para cualquier tanquero de características similares a las de este proyecto, cuenta con un número no menor a 15 personas en sus distintas áreas. En este caso en particular se toma en consideración la lista anterior con un total de 21. Lo anterior dispuesto en el Reglamento de Personal de la Marina Mercante Internacional (11).

## 3.11.- Cálculos de Arquitectura Naval

Los cálculos hidrostáticos acompañan a cualquier proyecto que incluya un vehículo marino apto para la navegación. Y son definidos como un conjunto de datos, los cuales, describen las principales características de forma de la carena del buque a analizar. Estos datos son dibujados en un eje coordenado único, en donde, en el eje de las ordenadas es representado el nivel de calado de la embarcación. Y en el eje de las abscisas se colocan las escalas correspondientes para cada curva que se deba graficar.

Los cálculos hidrostáticos incluyen:

- Volumen sumergido ( $V$ ), correspondiente al valor del volumen del casco a cada nivel de calado, hasta el determinado calado de diseño.
- Desplazamiento ( $\Delta$ ), peso total del fluido desplazado por el volumen sumergido.
- TPC, representa las toneladas que deberán ser añadidas al peso de la embarcación, para que pueda ser sumergida 1 cm.
- Superficie mojada ( $WS$ ), representa la superficie total en  $m^2$  del buque que se encuentra sumergida, a cada nivel de calado.
- Coeficientes de forma, Coeficiente de block ( $C_b$ ), coeficiente de la sección media ( $C_m$ ), coeficiente prismático ( $C_p$ ), coeficiente del plano de agua ( $C_{wp}$ ).
- Posición longitudinal del centro de empuje (LCB).
- Distancia vertical desde la quilla hasta el centro de flotación (KB).
- Distancia vertical medida desde el centro de flotación hasta el metacentro (BM).
- Distancia vertical desde la quilla hasta el metacentro (KM).

Todos los cálculos presentados en esta sección fueron realizados con ayuda de softwares que ayudan a un desarrollo agilizado. Tal es el caso de Microsoft Excel, el cual, resulta ser una herramienta útil en el proceso. Cabe señalar que los datos hidrostáticos son proporcionados a la tripulación de la nave para su utilización en el período operativo, dichos datos aportan criterio para la toma de diversas decisiones, ya sea en la navegación, en la carga y/o descarga. Por lo anterior los organismos internacionales encargados de velar por la seguridad de la vida en el mar, emiten los criterios a seguir para el cálculo de los datos de arquitectura naval. En los numerales posteriores se describe el proceso de obtención de los cálculos de arquitectura naval.

Para las curvas cruzadas o de carenas inclinadas y la calibración de los tanques fue utilizado el software llamado Maxsurf. Las curvas de carenas inclinadas representan la capacidad adrizante de la embarcación, es decir, que en el eje de las ordenadas se escribe el valor del brazo adrizante y en el eje de las abscisas el desplazamiento a cada calado. Por lo que, se grafica un grupo de curvas para cada ángulo de escora. Las curvas de Bonjean representan el área transversal sumergida por estación, a cada nivel de calado, hasta el correspondiente calado de diseño. En el desarrollo de esta sección se describe el proceso de obtención de los cálculos antes mencionados.

### 3.11.1.- Características Hidrostáticas

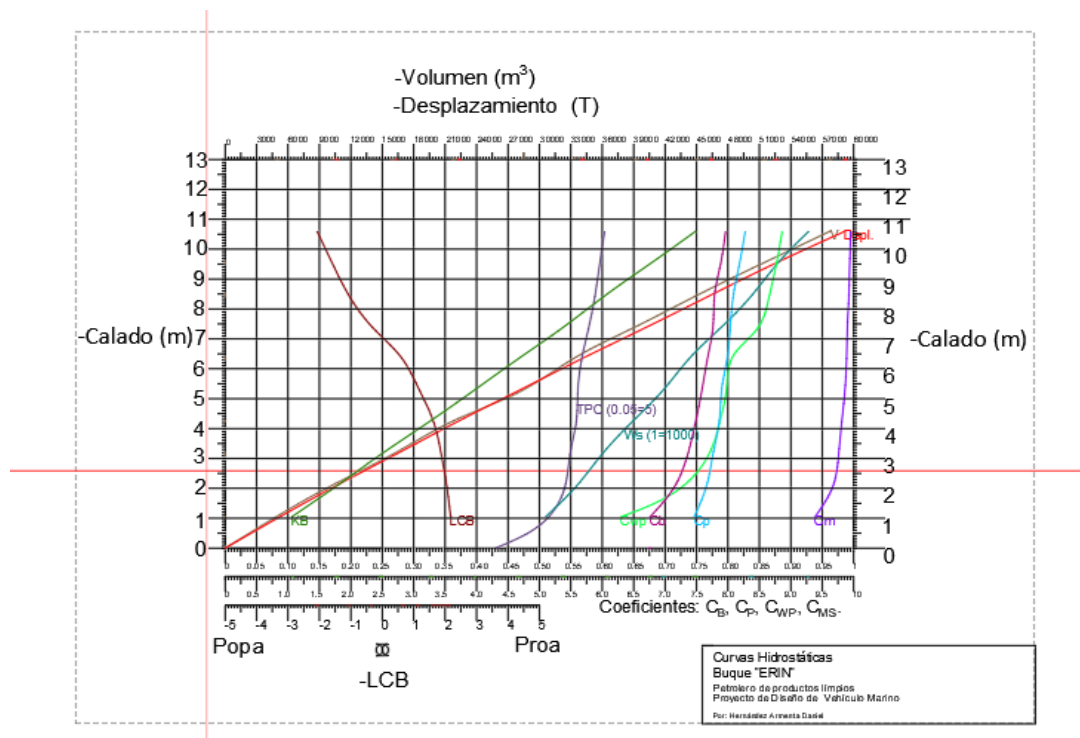
La tabla de características hidrostáticas hasta la línea de agua de diseño es la siguiente:

|                 |          |                       |
|-----------------|----------|-----------------------|
| V               | 57685    | m <sup>3</sup>        |
| $\Delta$        | 59127.12 | ton                   |
| TPC             | 60.39    | ton/cm <sub>inm</sub> |
| W <sub>s</sub>  | 9267.74  | m <sup>2</sup>        |
| C <sub>WP</sub> | 0.88     |                       |
| C <sub>B</sub>  | 0.793    |                       |
| C <sub>M</sub>  | 0.993    |                       |
| C <sub>P</sub>  | 0.822    |                       |
| LCB             | -2.094   | Desde la sec. Media   |
| KB              | 7.498    | m                     |
| BM              | 8.498    | m                     |
| KM              | 15.996   | m                     |

Los valores mostrados en la tabla anterior fueron calculados utilizando el software Microsoft Excel, y para el desarrollo de dichos cálculos se tomó el plano de líneas de forma obtenido en la sección 2 de este documento. De igual manera, la tabla completa de características hidrostáticas en donde se incluye el cálculo desglosado en niveles de calado se muestra en el anexo 8 al final de esta sección. A continuación, se muestra una parte representativa de la tabla completa y una imagen de las curvas hidrostáticas:

| Calado | V         | $\Delta$  | TPC    | W <sub>s</sub> | C <sub>wp</sub> | C <sub>b</sub> | C <sub>m</sub> |
|--------|-----------|-----------|--------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| 0.0    | 0.000     | 0.000     | 43.128 | 0.000          | 0.631           | 0.000          | 0.000          |
| 1.1    | 4895.724  | 5018.117  | 51.554 | 5116.841       | 0.733           | 0.673          | 0.936          |
| 2.1    | 10362.869 | 10621.941 | 54.180 | 5624.847       | 0.770           | 0.713          | 0.964          |
| 3.2    | 16004.036 | 16404.137 | 54.920 | 6037.349       | 0.781           | 0.734          | 0.977          |

|      |           |           |        |          |       |       |       |
|------|-----------|-----------|--------|----------|-------|-------|-------|
| 4.2  | 21724.903 | 22268.025 | 55.721 | 6488.988 | 0.792 | 0.747 | 0.982 |
| 5.3  | 27513.478 | 28201.315 | 56.229 | 6922.344 | 0.800 | 0.757 | 0.986 |
| 6.4  | 33357.487 | 34191.424 | 56.793 | 7398.015 | 0.808 | 0.765 | 0.988 |
| 7.4  | 39292.910 | 40275.232 | 57.997 | 7907.521 | 0.849 | 0.772 | 0.990 |
| 8.5  | 45341.450 | 46474.986 | 58.981 | 8381.169 | 0.863 | 0.779 | 0.991 |
| 9.5  | 51476.769 | 52763.688 | 59.675 | 8826.134 | 0.873 | 0.787 | 0.992 |
| 10.6 | 57684.998 | 59127.123 | 60.391 | 9267.741 | 0.884 | 0.793 | 0.993 |



Como una breve conclusión al análisis de las curvas hidroestáticas, se debe tomar en consideración dos situaciones evidentes; en primer lugar, la posición longitudinal del centro de flotación LCB, el cual se ubica a popa de la sección media y de igual manera el coeficiente del plano de agua sufre un hipotético golpe en su

forma, apreciable entre la línea de calado seis y siete. Por lo anterior se comprueba que es necesario mejorar aún más las formas de la embarcación.

|      | $A_{transv}$ (m <sup>2</sup> ) |       |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------|--------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Est. | Wl 1                           | Wl 2  | Wl 3   | Wl 4   | Wl 5   | Wl 6   | Wl 7   | Wl 8   | Wl 9   | Wl 10  |
| 0    | 0                              | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 9.07   | 24.36  | 42.4   |
| 0.5  | 0                              | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 7.58   | 23.43  | 43.25  | 65.54  |
| 1    | 0                              | 0     | 0      | 0      | 0      | 12.18  | 31.93  | 55.09  | 80.32  | 107.13 |
| 1.5  | 2.19                           | 7.53  | 14.43  | 24.74  | 43.62  | 66.75  | 92.60  | 120.43 | 149.93 | 180.84 |
| 2    | 6.43                           | 20.99 | 40.15  | 62.85  | 88.20  | 115.84 | 145.21 | 175.88 | 207.57 | 240.12 |
| 2.5  | 14.51                          | 35.59 | 59.97  | 86.83  | 115.62 | 145.80 | 176.99 | 209.13 | 242.05 | 275.60 |
| 3    | 22.16                          | 49.33 | 79.25  | 111.00 | 143.76 | 177.02 | 210.61 | 244.43 | 278.44 | 312.66 |
| 3.5  | 27.77                          | 59.89 | 93.74  | 128.26 | 163.02 | 197.83 | 232.65 | 267.48 | 302.31 | 337.24 |
| 4    | 33.06                          | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 5    | 33.06                          | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 6    | 33.06                          | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 7    | 33.06                          | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 8    | 33.06                          | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 9    | 33.06                          | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 10   | 33.06                          | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 11   | 33.06                          | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 12   | 33.06                          | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 13   | 33.06                          | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 14   | 33.06                          | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 15   | 33.06                          | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |

|      |       |        |       |        |        |        |        |        |        |        |
|------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 16   | 29.67 | 62.28  | 95.84 | 129.37 | 162.95 | 196.59 | 230.32 | 264.14 | 298.02 | 332.03 |
| 16.5 | 25.39 | 54.09  | 84.31 | 114.73 | 145.17 | 175.68 | 206.31 | 237.11 | 268.06 | 299.22 |
| 17   | 21.21 | 45.16  | 70.58 | 96.62  | 122.94 | 149.43 | 176.10 | 202.99 | 230.10 | 257.55 |
| 17.5 | 17.21 | 36.85  | 57.29 | 77.90  | 98.73  | 119.86 | 141.33 | 163.07 | 185.14 | 207.88 |
| 18   | 12.83 | 28.14  | 44.41 | 60.79  | 77.10  | 93.40  | 109.82 | 126.59 | 144.03 | 162.51 |
| 18.5 | 8.41  | 19.64  | 31.99 | 44.71  | 57.45  | 70.06  | 82.51  | 95.24  | 108.63 | 123.24 |
| 19   | 6.33  | 15.17  | 24.85 | 34.66  | 44.37  | 53.92  | 63.56  | 73.51  | 84.13  | 95.84  |
| 19.5 | 4.99  | 12.29  | 20.20 | 28.10  | 35.51  | 42.47  | 49.25  | 56.22  | 63.78  | 72.21  |
| 20   | 3.13  | 8.97   | 15.67 | 22.42  | 28.46  | 32.31  | 33.10  | 33.10  | 33.10  | 33.10  |
| B1   | 1.96  | 6.36   | 11.39 | 16.45  | 20.97  | 23.96  |        |        |        |        |
| B2   | 1.39  | 5.9274 | 10.98 | 16.04  | 20.62  | 23.93  |        |        |        |        |

### 3.11.2.- Curvas de Bonjean

Las curvas de Bonjean representan el área de las secciones transversales, las cuales, pueden ser calculadas mediante reglas de integración numérica. Estas curvas por lo regular son usadas para el cálculo exacto del volumen de desplazamiento. Cabe mencionar que los datos de las áreas transversales fueron recabados con la ayuda del software AcaD, y en la parte inferior se muestra una sección representativa de la tabla de áreas transversales en función del nivel de calado correspondiente.

### 3.11.3.- Curvas cruzadas de estabilidad o de carenas inclinadas

Las curvas cruzadas de estabilidad (KN) se construyen idealizando una posición del centro de gravedad de la embarcación exactamente en la quilla, posteriormente se simula gráficamente el movimiento de roll hacia una de las bandas, generando así un ángulo de escora. En este proyecto se realizó el cálculo en un rango de 0 – 90°, en intervalos de diez en diez. Una vez generada la escora se debe tomar medida del cambio en la posición del

centro de gravedad, y habiendo obtenido lo anterior es posible sustraer el valor de GZ real mediante la siguiente relación:

$$GZ = KN - G \sin \theta$$

Lo anterior se comprueba al analizar la siguiente figura:

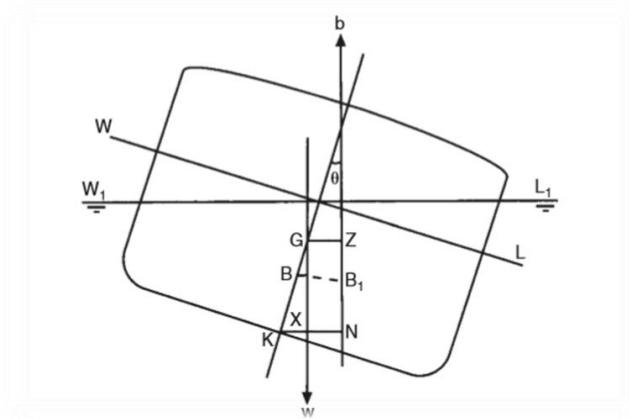


Figura 3.13: Ejemplo del cambio de posición del centro de flotación transversal, ante la presencia de escora. Fuente: (12).

Las curvas KN del proyecto son presentadas en el anexo 10 en la parte final del documento.

#### 3.11.4.- Tanques

Para el arreglo de los tanques se tomó en consideración el conjunto de normas de MARPOL y SOLAS, así como la disposición generada en secciones anteriores. Dado el cúmulo de necesidades de abastecimiento y habiendo tomado en cuenta los espacios para la carga, así como lo dispuesto por los organismos internacionales dirigidos al doble costado y fondo, se construye la siguiente tabla, la cual, especifica el nombre del tanque, su ubicación y sus medidas preliminares (llamadas preliminares debido al posible cambio que pueda surgir al operar el Software de diseño naval).

| Número | Nombre      | Ubicación                  |
|--------|-------------|----------------------------|
| 1      |             | Pique de Popa (babor)      |
| 2      |             | Pique de Popa (estribor)   |
| 3      | Doble fondo | Cámara de Maquinas (Babor) |

|    |              |                               |
|----|--------------|-------------------------------|
| 4  | Doble fondo  | Cámara de Maquinas (estribor) |
| 5  | Doble fondo  | Cámara de Maquinas (Babor)    |
| 6  | Doble fondo  | Cámara de Maquinas (estribor) |
| 7  | Slope Tank   | Cámara de Maquinas (Babor)    |
| 8  | Slope Tank   | Cámara de Maquinas (estribor) |
| 9  | Bunker Tank  | Cámara de Maquinas (centro)   |
| 10 | Bunker Tank  | Cámara de Maquinas (centro)   |
| 11 | Bunker Tank  | Cámara de Maquinas (centro)   |
| 12 | Uper Tank    | Cámara de Maquinas (Babor)    |
| 13 | Uper Tank    | Cámara de Maquinas (estribor) |
| 14 | Ballast Tank | Costado (babor)               |
| 15 | Ballast Tank | Doble Fondo (babor)           |
| 16 | Ballast Tank | Doble Fondo (estribor)        |
| 17 | Ballast Tank | Costado (estribor)            |
| 18 | Cargo Tank   | Babor                         |
| 19 | Cargo Tank   | Estribor                      |
| 20 | Cargo Tank   | Babor                         |
| 21 | Cargo Tank   | Estribor                      |
| 22 | Ballast Tank | Costado (babor)               |
| 23 | Ballast Tank | Doble Fondo (babor)           |
| 24 | Ballast Tank | Doble Fondo (estribor)        |
| 25 | Ballast Tank | Costado (estribor)            |
| 26 | Cargo Tank   | Babor                         |
| 27 | Cargo Tank   | Estribor                      |
| 28 | Ballast Tank | Costado (babor)               |

|    |              |                        |
|----|--------------|------------------------|
| 29 | Ballast Tank | Doble Fondo (babor)    |
| 30 | Ballast Tank | Doble Fondo (estribor) |
| 31 | Ballast Tank | Costado (estribor)     |
| 32 | Cargo Tank   | Babor                  |
| 33 | Cargo Tank   | Estribor               |
| 34 | Ballast Tank | Costado (babor)        |
| 35 | Ballast Tank | Doble Fondo (babor)    |
| 36 | Ballast Tank | Doble Fondo (estribor) |
| 37 | Ballast Tank | Costado (estribor)     |
| 38 | Cargo Tank   | Babor                  |
| 39 | Cargo Tank   | Estribor               |
| 40 | Water Tank   | Proa (babor)           |
| 41 | Water Tank   | Proa (estribor)        |
| 42 |              | Pique de Proa          |

La disposición de los tanques se encuentra de igual manera en el anexo 11 del documento.

### 3.11.5.- Francobordo

El francobordo es definido como una distancia vertical medida sobre la sección media del buque, y comprende desde la línea marcada como francobordo, hasta el borde superior de la línea de cubierta. El francobordo fue establecido en el año de 1966, por el Convenio Internacional de Líneas de Máxima Carga, y se encuentra en vigor. La dimensión fundamental para el cálculo del francobordo es la eslora de francobordo L, que se define como el mayor de los siguientes dos valores descritos en la parte posterior, ambos medidos en la flotación al 85% del mínimo puntal de trazado.

- 96% de la eslora total desde el extremo de la roda hasta el extremo del codaste.

- La eslora desde el extremo de la roda hasta el eje de la mecha del timón.

En el caso de no contar con información suficiente acerca de las configuraciones de la roda y el codaste, como lo pudiese ser en las primeras fases del diseño, es posible tomar como  $L_r$  el valor de  $L_{pp}$ .

Los cálculos presentados en este proyecto serán divididos en dos: el primero será un cálculo aproximado a partir de la relación calado/puntal y el segundo será el llamado cálculo simplificado por medio de tablas y fórmulas.

### 3.11.5.1.- Cálculo aproximado del francobordo a partir de la relación calado/puntal

Tomando el dato del puntal proporcionado por el dimensionamiento, y teniendo un calado de diseño establecido desde el inicio. Se procede a calcular el valor de la relación antes mencionada.

$$\frac{T}{D} = 0.556$$

La fórmula propuesta para el cálculo del francobordo es la siguiente:

$$FB = T \left( \frac{1}{T/D} - 1 \right) = 10.6 \left( \frac{1}{0.556} - 1 \right) = 8.4647$$

### 3.11.5.2.- Francobordo Tabular

Las tablas que se presentan para el cálculo del francobordo tabular clasifican a las embarcaciones en tipo A y tipo B, los cuales se describen a continuación:

- Tipo A: Es el buque proyectado para transportar únicamente cargas líquidas a granel, tiene una alta integridad de la cubierta expuesta a la intemperie, y una gran resistencia a la inundación, debido a su alto grado de subdivisión.
- Tipo B: Es todo buque que no cumple las condiciones requeridas al tipo A.

Es evidente que los tanqueros y los petroleros de productos se ubican en la primera clasificación de tipo A, por lo que se presenta la tabla correspondiente a dicha clasificación, la cual es extraída del libro “Proyecto Básico del Buque Mercante” escrito por el ingeniero naval Ricardo Alvaríño Castro y compañía, y publicado por el Fondo Editorial de Ingeniería Naval, con sede en Madrid España.

| Eslora<br>(m) | Frbordo.<br>(mm) | Eslora<br>(m) | Frbordo.<br>(mm) | Eslora<br>(m) | Frbordo.<br>(mm) | Eslora<br>(m) | Frbordo.<br>(mm) | Eslora<br>(m) | Frbordo.<br>(mm) |
|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|
| 24            | 200              | 93            | 1029             | 162           | 2155             | 231           | 2880             | 300           | 3262             |
| 25            | 208              | 94            | 1044             | 163           | 2169             | 232           | 2888             | 301           | 3266             |
| 26            | 217              | 95            | 1059             | 164           | 2184             | 233           | 2895             | 302           | 3270             |
| 27            | 225              | 96            | 1074             | 165           | 2198             | 234           | 2903             | 303           | 3274             |
| 28            | 233              | 97            | 1089             | 166           | 2212             | 235           | 2910             | 304           | 3278             |
| 29            | 242              | 98            | 1105             | 167           | 2226             | 236           | 2918             | 305           | 3281             |
| 30            | 250              | 99            | 1120             | 168           | 2240             | 237           | 2925             | 306           | 3285             |
| 31            | 258              | 100           | 1135             | 169           | 2254             | 238           | 2932             | 307           | 3288             |
| 32            | 267              | 101           | 1151             | 170           | 2268             | 239           | 2939             | 308           | 3292             |
| 33            | 275              | 102           | 1166             | 171           | 2281             | 240           | 2946             | 309           | 3295             |
| 34            | 283              | 103           | 1181             | 172           | 2294             | 241           | 2953             | 310           | 3298             |
| 35            | 292              | 104           | 1196             | 173           | 2307             | 242           | 2959             | 311           | 3302             |
| 36            | 300              | 105           | 1212             | 174           | 2320             | 243           | 2966             | 312           | 3305             |
| 37            | 308              | 106           | 1228             | 175           | 2332             | 244           | 2973             | 313           | 3308             |
| 38            | 316              | 107           | 1244             | 176           | 2345             | 245           | 2979             | 314           | 3312             |
| 39            | 325              | 108           | 1260             | 177           | 2357             | 246           | 2986             | 315           | 3315             |
| 40            | 334              | 109           | 1276             | 178           | 2369             | 247           | 2993             | 316           | 3318             |
| 41            | 344              | 110           | 1293             | 179           | 2381             | 248           | 3000             | 317           | 3322             |
| 42            | 354              | 111           | 1309             | 180           | 2393             | 249           | 3006             | 318           | 3325             |
| 43            | 364              | 112           | 1326             | 181           | 2405             | 250           | 3012             | 319           | 3328             |
| 44            | 374              | 113           | 1342             | 182           | 2416             | 251           | 3018             | 320           | 3331             |
| 45            | 385              | 114           | 1359             | 183           | 2428             | 252           | 3024             | 321           | 3334             |
| 46            | 396              | 115           | 1376             | 184           | 2440             | 253           | 3030             | 322           | 3337             |
| 47            | 408              | 116           | 1392             | 185           | 2451             | 254           | 3036             | 323           | 3339             |
| 48            | 420              | 117           | 1409             | 186           | 2463             | 255           | 3042             | 324           | 3342             |
| 49            | 432              | 118           | 1426             | 187           | 2474             | 256           | 3048             | 325           | 3345             |
| 50            | 443              | 119           | 1442             | 188           | 2486             | 257           | 3054             | 326           | 3347             |
| 51            | 455              | 120           | 1459             | 189           | 2497             | 258           | 3060             | 327           | 3350             |
| 52            | 467              | 121           | 1476             | 190           | 2508             | 259           | 3066             | 328           | 3353             |
| 53            | 478              | 122           | 1494             | 191           | 2519             | 260           | 3072             | 329           | 3355             |
| 54            | 490              | 123           | 1511             | 192           | 2530             | 261           | 3078             | 330           | 3358             |
| 55            | 503              | 124           | 1528             | 193           | 2541             | 262           | 3084             | 331           | 3361             |
| 56            | 516              | 125           | 1546             | 194           | 2552             | 263           | 3089             | 332           | 3363             |
| 57            | 530              | 126           | 1563             | 195           | 2562             | 264           | 3095             | 333           | 3366             |
| 58            | 544              | 127           | 1580             | 196           | 2572             | 265           | 3101             | 334           | 3368             |
| 59            | 559              | 128           | 1598             | 197           | 2582             | 266           | 3106             | 335           | 3371             |
| 60            | 573              | 129           | 1615             | 198           | 2592             | 267           | 3112             | 336           | 3373             |
| 61            | 587              | 130           | 1632             | 199           | 2602             | 268           | 3117             | 337           | 3375             |
| 62            | 600              | 131           | 1650             | 200           | 2612             | 269           | 3123             | 338           | 3378             |

Como se puede constatar en la tabla anterior, el valor se otorga en mm y corresponde a 2612, por lo que se presenta el resultado de la siguiente manera:

$$FB_{tabular} = 2612 \text{ mm} = 2.612 \text{ m}$$

Una vez localizado el valor tabular correspondiente a la eslora del buque, se deben de tomar en cuenta ciertas correcciones, en caso de ser necesario, dadas ciertas características otorgadas en la fase de dimensionamiento. En este trabajo sólo se tomarán en cuenta las correcciones en las que incurra el proyecto. La primera corrección es debido al  $C_B$ , el cual es mayor a 0.68, por lo que el francobordo tabular deberá multiplicarse por  $C_1$ , el cual es descrito por la siguiente relación:

$$C_1 = \frac{CB85D + 0.68}{1.36}$$

En el proyecto preliminar se puede aproximar CB85D por la fórmula:

$$CB85D = 1.01C_B = 1.01(0.80) = 0.808$$

Lo que da como resultado:

$$C_1 = 1.094$$

La siguiente corrección es debido a que el puntal excede L/15, por lo que deberá ser aumentado en C3 descrito por la siguiente relación:

$$C_2 = \left(D - \frac{L}{15}\right) R \quad (mm)$$

Siendo:

$$R = L/0.48 \quad \text{si } L < 120 \text{ m}$$

$$R = 250 \quad \text{si } L \geq 120 \text{ m}$$

Por lo que se tiene:

$$C_2 = 1,426.833 \text{ mm} = 1.4268 \text{ m}$$

Por último, serán aplicadas las correcciones anteriormente calculadas, directamente al valor obtenido de la tabla.

$$FB = (FB_{tabular} * C_1) + C_2 = (2.612 * 1.094) + 1.4268 = 4.284 \text{ m}$$

Francobordo de verano

$$FB_{verano} (mm) = (FB_{tabular} * C_1) + C_2 - C_3 + C_4$$

$$FB_{verano} (mm) = (2612 * 1.094) + 1426.33 - 0 + 0 = 4283.858$$

Francobordo tropical

$$FB_{tropical} (mm) = FB_{verano} - \frac{1}{48} * (D - FB_{verano}) = 3976.64$$

Francobordo de invierno

$$FB_{invierno} (mm) = FB_{verano} + \frac{1}{48} * (D - FB_{verano}) = 4591.07$$

Francobordo en el atlántico norte

$$FB_{AN} (mm) = FB_{invierno} + 50 = 4641.07$$

Francobordo en agua dulce

$$FB_{AD} (mm) = FB_{tabular} - \frac{\Delta}{40TPC} = 2612 - \frac{59127.12}{40 * 60.39} = 2612 - 24.477 = 2587.523$$

Francobordo tropical dulce (9).

$$FB_{Tdulce} (mm) = FB_{AD} - 1/48 * (D - FB_{verano}) = 2280.31$$

### 3.12.- Arqueo

La mayoría de los autores coinciden en la importancia del arqueo para una embarcación, ya que proporciona muchas de sus características técnicas. Su cálculo emana del “Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques”, firmado el 23 de junio de 1969 en Londres Inglaterra, y fue firmado por todos los países pertenecientes a la IMO. Se divide en dos valores:

- Arqueo Bruto. - Define el tamaño total de la embarcación.
- Arqueo Neto. - Define el tamaño utilizable de la embarcación.

Durante el proyecto es necesario calcular el arqueo, al menos de manera aproximada, por las razones siguientes:

1. Sirve como parámetro para determinar muchas características técnicas, como el número de tripulantes, los dispositivos contra incendio, medios de salvamento, equipos de radio y navegación, etc.
2. Siempre es deseable que el arqueo sea el mínimo posible debido a sus repercusiones económicas en la explotación del buque y, a veces, la especificación contractual define un valor máximo del arqueo bruto que no debe superarse.

#### 3.12.1.- Cálculo del arqueo de manera directa

El volumen V se considera desglosado en las siguientes partes, y a su vez es calculado por las expresiones subsiguientes:

Volumen del casco por debajo de la cubierta de arqueo, hasta el nivel del puntal:

$$V_{BD} (m^3) = L_{PP} * B * D * C_{BD}$$

Donde:

$$C_{BD} = C_B + 0.35 \frac{D - T}{T} (1 - C_B) = 0.8557$$

Por tanto:

$$V_{BD} = 108600.56 m^3$$

Volumen debido a la brusca de la cubierta:

$$V_{BR} = 0.012L_{PP} * B^2 = 2665.46 \text{ m}^3$$

Volumen de superestructuras y casetas para un estándar medio, correspondiente a buques actuales con tripulaciones reducidas, se estima:

$$V_{sup} (\text{m}^3) = 41L_{PP} - 755 = 7442.95 \text{ m}^3$$

Volumen de Brazolas y Escotillas

Los factores que componen la fórmula para el volumen de las brazolas y escotillas, para un proyecto en fase primaria, se tomaran de la siguiente tabla:

| Tipo         | LES (% de LPP) | BES (% de B) | HES(m)  |
|--------------|----------------|--------------|---------|
| Granelero    | 50             | 50           | 1 / 2   |
| C.General    |                |              |         |
| Pequeño      | 70             | 75 / 80      | 1 / 1,5 |
| Grande       | 50 / 60        | 50 / 70      | 1,2 / 2 |
| P.Contenedor |                |              |         |
| Pequeño      | 65 / 70        | 75 / 80      | 1,5 / 2 |
| Grande       | 70 / 75        | 83 / 87      | 1,5 / 2 |
| Frigorífico  | 25 / 35        | 30 / 45      | 1 / 1,5 |

Se tomarán los valores correspondientes al tipo granelero, ya que tanto el petróleo crudo como sus derivados, se consideran carga líquida a granel. Por tanto, se tiene:

$$V_{ES} = L_{ES} * B_{ES} * H_{ES}$$

Donde:

$$L_{ES} = 0.5 * 199.95 \text{ m} = 99.975 \text{ m}$$

$$B_{ES} = 0.5 * 33.33 \text{ m} = 16.665 \text{ m}$$

$$H_{ES} = 0.5 \text{ m}$$

Lo que da como resultado:

$$V_{ES} = 833.041 \text{ m}^3$$

Por último, se suman todos los volúmenes calculados para obtener un volumen total V:

$$V = V_{BD} + V_{BR} + V_{sup} + V_{ES} = 119542.011 \text{ m}^3$$

Arqueo bruto:

$$GT = K_1 * V$$

Donde:

$$K_1 = 0.3016$$

$$GT = 36053.87 \text{ m}^3$$

Arqueo Neto

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

Donde:

$$K_2 = 0.2 + 0.02 \log_{10} V_{car} = 0.29792$$

$$K_3 = \frac{1.25(GT + 10000)}{10000} = 5.757$$

$N_1 = \text{numero de pasajeros en camarotes, sin exceder 8 literas.}$

$N_2 = \text{número de los demás pasajeros.}$

Si  $N_1 + N_2 < 13$ , entonces ambas cifras se considerarán iguales a cero. Además, se tomará en cuenta lo siguiente:

- El factor  $(4T/3D)^2$  no se tomará superior a 1
- El término  $K_2 * V_{car} \left[ \frac{4T}{3D} \right]^2$  no se tomará inferior a 0.25GT
- NT no se tomará inferior a 0.30GT

El término  $V_{car}$ , se determinará de la siguiente manera:

$$V_{car} = 750 + 0.615(L_{pp} * B * D) = 78786.68$$

El paso siguiente será comprobar las condiciones de la fórmula, calculando los términos correspondientes:

$$(4T/3D)^2 = 0.55 < 1$$

$$K_2 * V_{car} \left[ \frac{4T}{3D} \right]^2 = 0.29792 * 78786.68 * 0.55 = 12909.67 > 9013 = 0.25GT$$

$$NT = 12915.43 \text{ m}^3$$

### 3.13.- Fuentes de Información.

- (1) Watson, D.G.M. (1998). Practical Ship Design. (Chapter 3). ELSEVIER.
- (2) Benítez Gasca, Antonio. (2016) Apuntes de clase. Diseño de Vehículos Marinos NVC-1016. Instituto Tecnológico de Boca de Río. Tecnológico Nacional de México.
- (3) Lamb, Thomas. (2003) Ship Design and Construction. (Chapter 11). SANAME.
- (4) An Evaluation of the Energy Efficiency Design Index. (2013). EEDI.
- (6) Schneekluth H, and Bertram V. (1998) Ship Design for Efficiency and Economy (Chapter 2). BUTTERWORTH HEINEMANN.
- (7) Ventura, Manuel. Estimation Methods for Basic Ship Design. Instituto Superior Técnico.
- (8) Kracht, Alfred M. (1978). Design of Bulbous Bows. SNAME.



PROYECTO DE TITULACIÓN EN INGENIERÍA NAVAL

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

APLICACIÓN DEL DISEÑO PARAMÉTRICO (DISEÑO DE EMBARCACIÓN TIPO TANKER PARA EL TRANSPORTE DE PRODUCTOS DE 50 000 DWT, DOBLE CASCO, DIMENSIONAMIENTO Y FORMAS DEL CASCO).



## Capítulo 4 ANEXOS

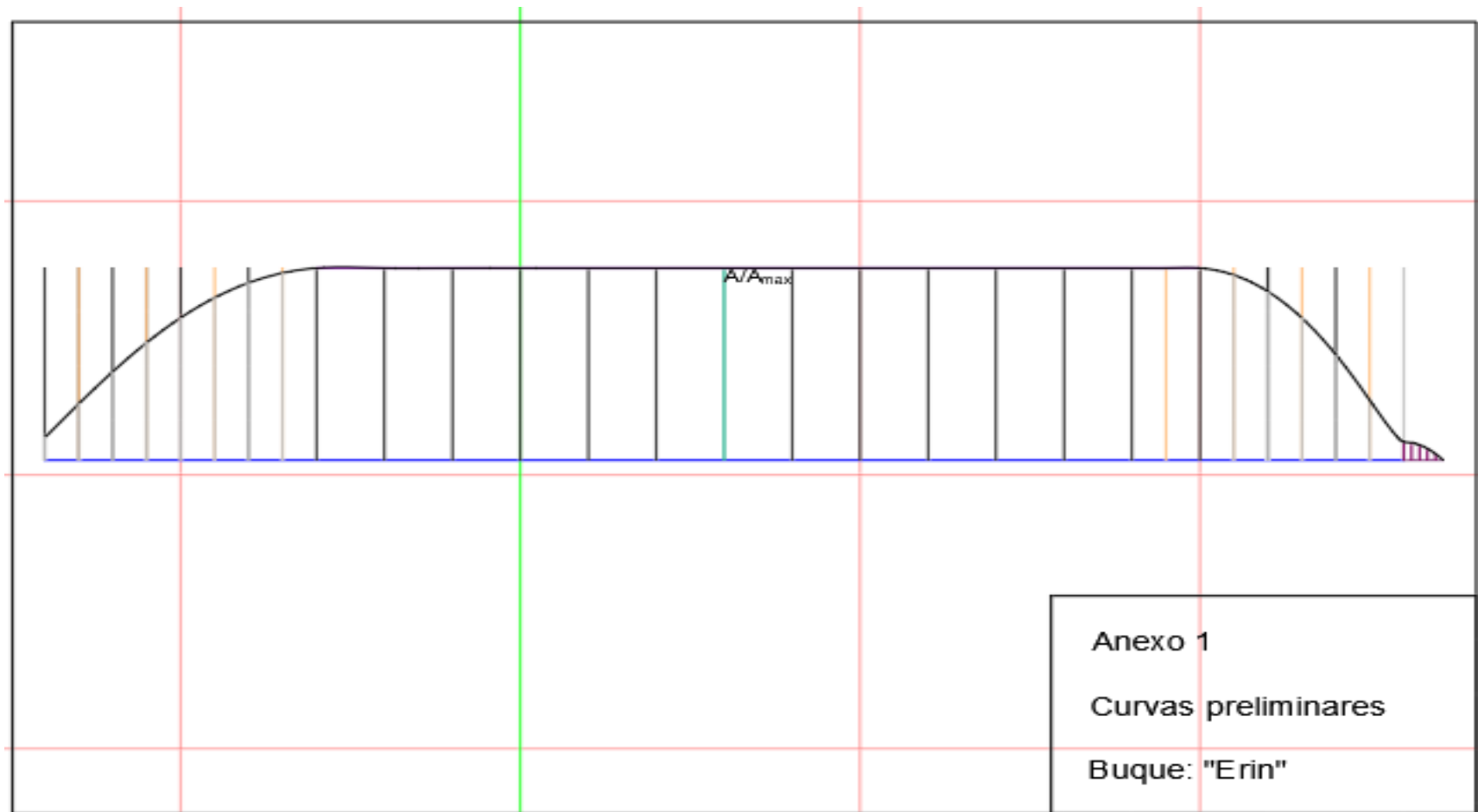
ASESOR:

ANTONIO R. BENÍTEZ GASCA

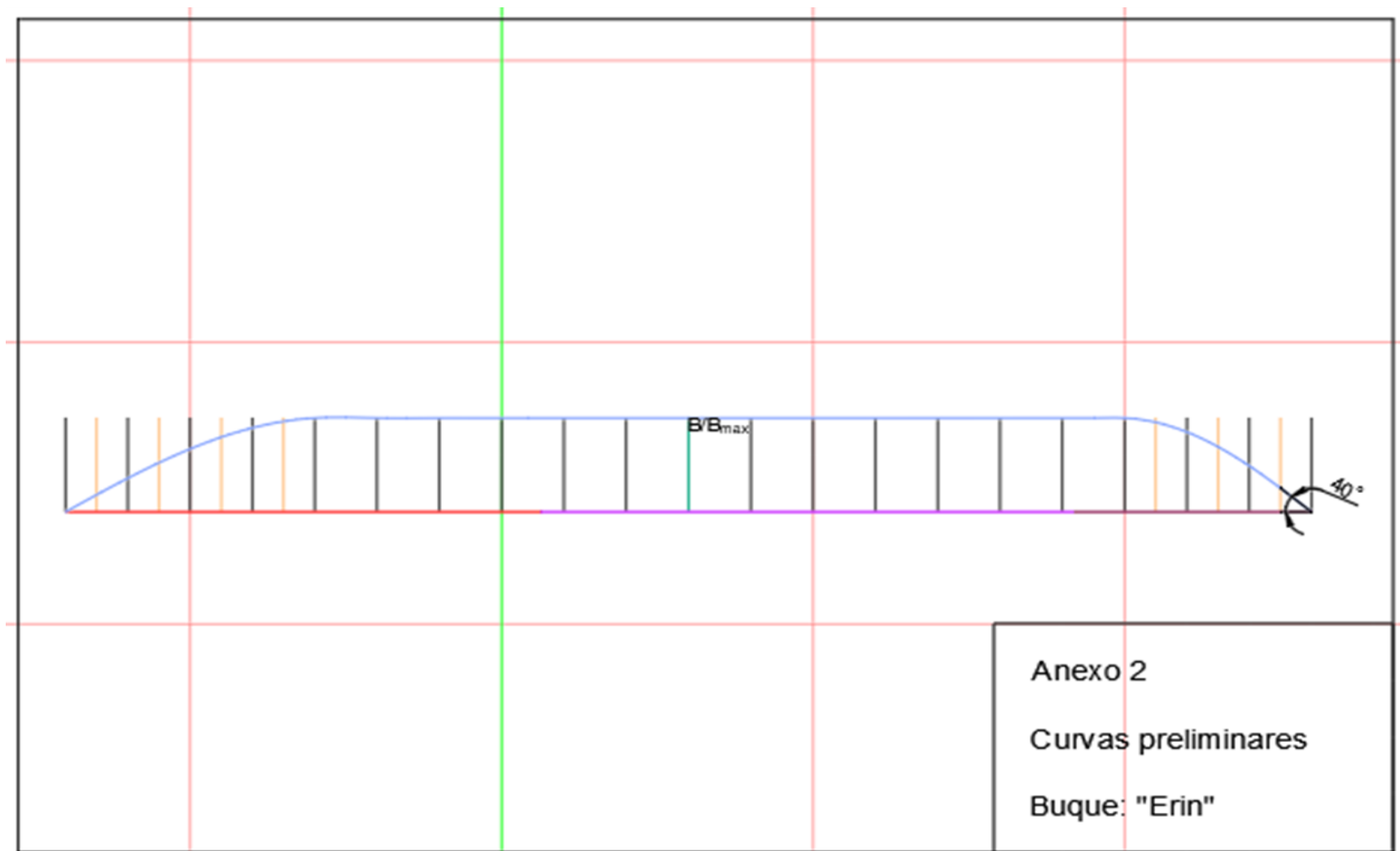
ESTUDIANTE:

DANIEL HERNÁNDEZ ARMENTA

## Anexo 1



## Anexo 2

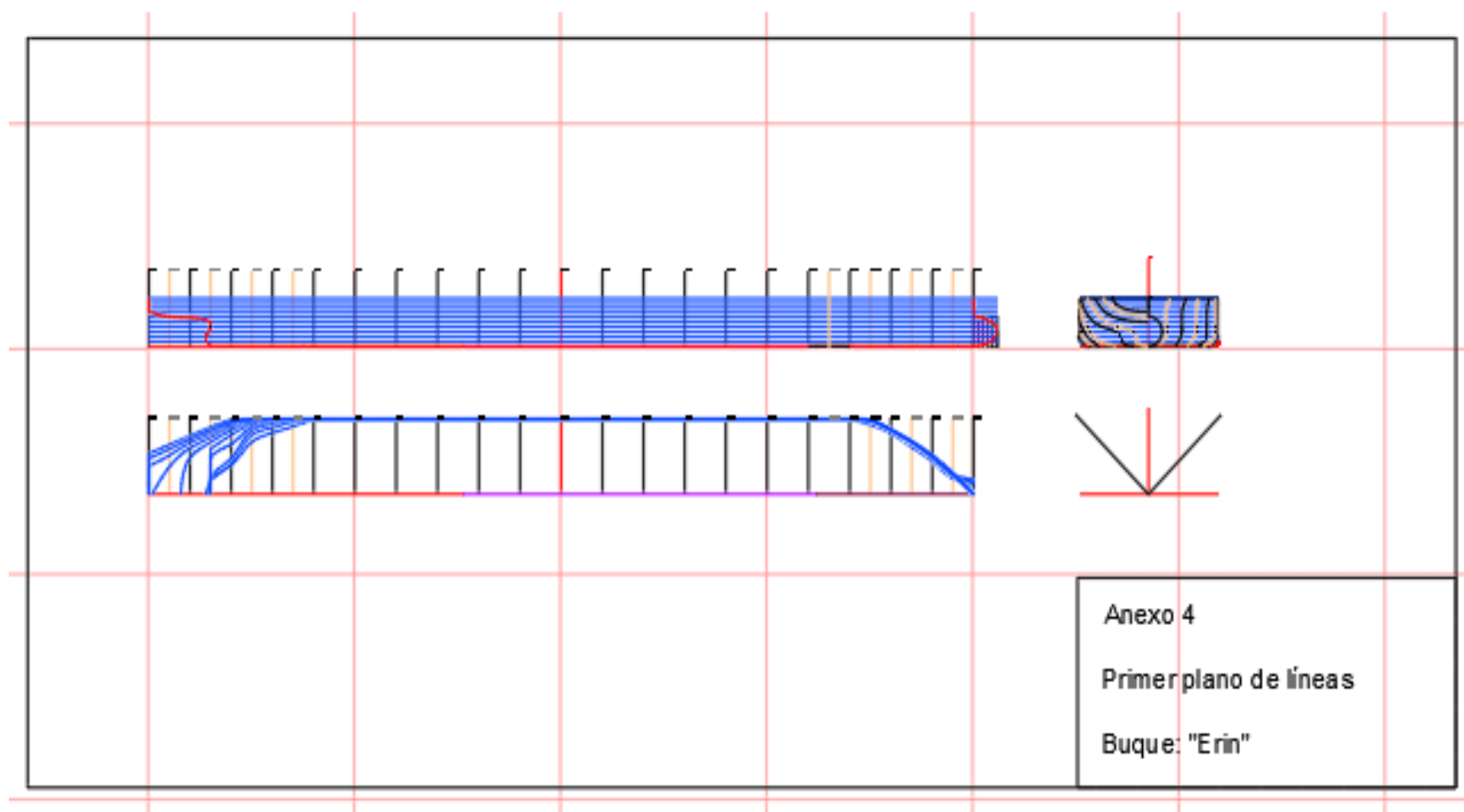


### Anexo 3

Tabla para curvas de Bonjean

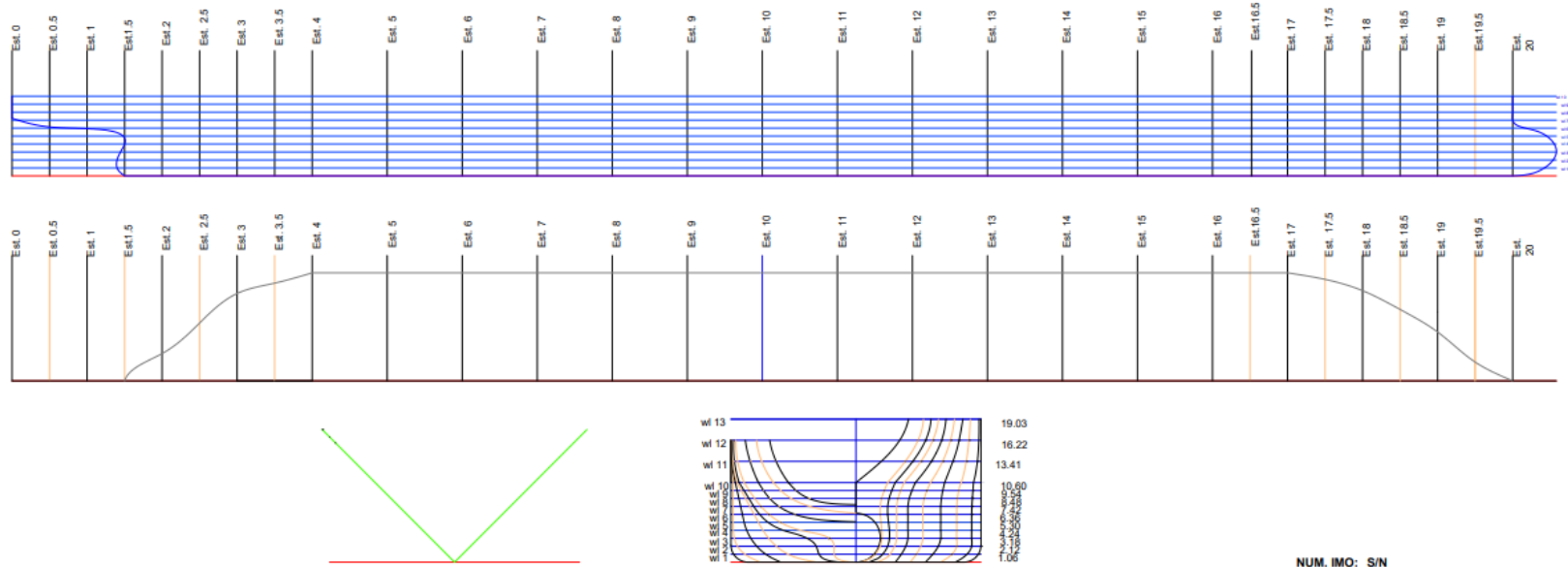
|      | wl 1   | wl 2  | wl 3   | wl 4   | wl 5   | wl 6   | wl 7   | wl 8   | wl 9   | wl 10  |
|------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Est. | Área T |       |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 0    | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 9.07   | 24.36  | 42.40  |
| 0.5  | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 7.58   | 23.43  | 43.25  | 65.54  |
| 1    | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 12.18  | 31.93  | 55.09  | 80.32  | 107.13 |
| 1.5  | 2.20   | 7.53  | 14.43  | 24.74  | 43.62  | 66.75  | 92.60  | 120.43 | 149.93 | 180.84 |
| 2    | 6.44   | 21.00 | 40.15  | 62.85  | 88.20  | 115.84 | 145.21 | 175.88 | 207.57 | 240.12 |
| 2.5  | 14.51  | 35.59 | 59.97  | 86.83  | 115.62 | 145.80 | 176.99 | 209.13 | 242.05 | 275.60 |
| 3    | 22.16  | 49.33 | 79.25  | 111.00 | 143.76 | 177.02 | 210.61 | 244.43 | 278.44 | 312.66 |
| 3.5  | 27.77  | 59.89 | 93.75  | 128.26 | 163.02 | 197.83 | 232.65 | 267.48 | 302.31 | 337.24 |
| 4    | 33.06  | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 5    | 33.06  | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 6    | 33.06  | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 7    | 33.06  | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 8    | 33.06  | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 9    | 33.06  | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 10   | 33.06  | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 11   | 33.06  | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 12   | 33.06  | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 13   | 33.06  | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 14   | 33.06  | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 15   | 33.06  | 68.11 | 103.47 | 138.79 | 174.12 | 209.45 | 244.78 | 280.11 | 315.45 | 350.78 |
| 16   | 29.70  | 62.28 | 95.84  | 129.37 | 162.95 | 196.59 | 230.32 | 264.14 | 298.02 | 332.03 |
| 16.5 | 25.39  | 54.09 | 84.31  | 114.73 | 145.17 | 175.68 | 206.31 | 237.11 | 268.07 | 299.22 |
| 17   | 21.21  | 45.16 | 70.58  | 96.62  | 122.94 | 149.43 | 176.10 | 202.99 | 230.10 | 257.55 |
| 17.5 | 17.21  | 36.85 | 57.30  | 77.90  | 98.73  | 119.87 | 141.34 | 163.07 | 185.14 | 207.88 |
| 18   | 12.83  | 28.14 | 44.41  | 60.80  | 77.10  | 93.40  | 109.82 | 126.59 | 144.03 | 162.51 |
| 18.5 | 8.41   | 19.64 | 32.00  | 44.71  | 57.45  | 70.06  | 82.51  | 95.24  | 108.63 | 123.25 |
| 19   | 6.33   | 15.17 | 24.85  | 34.66  | 44.37  | 53.92  | 63.56  | 73.51  | 84.13  | 95.84  |
| 19.5 | 4.99   | 12.29 | 20.20  | 28.10  | 35.51  | 42.47  | 49.25  | 56.22  | 63.79  | 72.21  |
| 20   | 3.13   | 8.97  | 15.67  | 22.42  | 28.46  | 32.32  | 33.10  | 33.10  | 33.10  | 33.10  |
| B1   | 1.96   | 6.36  | 11.39  | 16.45  | 20.97  | 23.96  |        |        |        |        |
| B2   | 1.39   | 5.93  | 10.98  | 16.04  | 20.62  | 23.93  |        |        |        |        |

## Anexo 4



## Anexo 5

### Plano 2da Iteración.



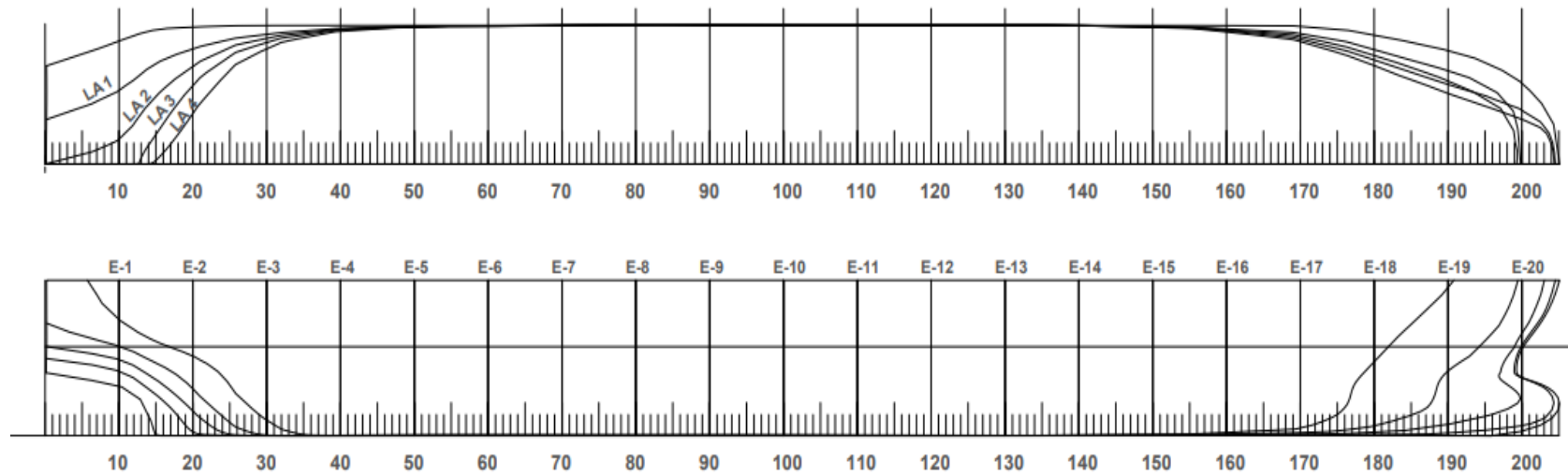
|                                                               |                         |                                    |                 |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-----------------|
| NUM. IMO: S/N                                                 |                         |                                    |                 |
| CONSTRUCTOR (BUILDER): DANIEL HERNÁNDEZ                       |                         |                                    |                 |
| ARMADOR: TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO<br>(OWNER): S.A. de C.V. |                         |                                    |                 |
| TÍTULO:<br>PLANO DE LINEAS                                    | NÚM. DE PLANO:<br>10.60 | ESCALA:<br>1:200                   | FECHA:<br>10.60 |
| DISEÑO:<br>J.R.M.D.                                           | REVISIÓN:<br>1          | RESPONSABLE DEL PROYECTO:<br>10.60 |                 |
| FECHA:<br>10.60                                               | REVISIÓN:<br>1          | FECHA IMPRIMIR:<br>10.60           |                 |

# Anexo 6: Tabla de Offsets (Segunda Iteración)

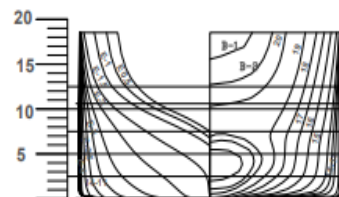
| Est. | h   | wl 0 (0 m) | wl 1 (1.06 m) | wl 2 (2.12 m) | wl 3 (3.18 m) | wl 4 (4.24 m) | wl 5 (5.30 m) | wl 6 (6.36 m) | wl 7 (7.42 m) | wl 8 (8.48 m) | wl 9 (9.54 m) | wl 10 (10.60 m) | wl 11 (11.66 m) | wl 12 (12.72 m) | wl 13 (13.78 m) |
|------|-----|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0    | 7.7 | 0          | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 6.27          | 8             | 9               | 10.64           | 11.5            | -               |
| 0.5  | 6.5 | 0          | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 6.1           | 8.61          | 10.02         | 11              | 12.56           | 13.25           | -               |
| 1    | 5.4 | 0          | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 8.13          | 10.29         | 11.5          | 12.31         | 13              | 14.11           | 14.75           | -               |
| 1.5  | 0   | 0          | 2.9           | 2.9           | 3.54          | 7.33          | 10.06         | 11.57         | 12.64         | 13.5          | 14.22         | 14.9            | 15.77           | 16              | -               |
| 2    | 0   | 2.12       | 4.92          | 5.29          | 6.49          | 9.65          | 11.71         | 12.83         | 13.62         | 14.27         | 14.92         | 15.57           | 16.2            | 16.3            | -               |
| 2.5  | 0   | 5.12       | 9.05          | 10.6          | 11.62         | 12.39         | 12.99         | 13.57         | 14.14         | 14.72         | 15.29         | 15.87           | 16.44           | 16.5            | -               |
| 3    | 0   | 10.03      | 12.03         | 13.21         | 14.01         | 14.56         | 14.9          | 15.14         | 15.37         | 15.6          | 15.84         | 16.07           | 16.59           | 16.66           | -               |
| 3.5  | 0   | 12.73      | 14.8          | 15.79         | 16.21         | 16.35         | 16.36         | 16.36         | 16.36         | 16.36         | 16.36         | 16.36           | 16.64           | 16.66           | -               |
| 4    | 0   | 14.37      | 16.31         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66           | 16.66           | 16.66           | -               |
| 5    | 0   | 14.37      | 16.31         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66           | 16.66           | 16.66           | -               |
| 6    | 0   | 14.37      | 16.31         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66           | 16.66           | 16.66           | -               |
| 7    | 0   | 14.37      | 16.31         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66           | 16.66           | 16.66           | -               |
| 8    | 0   | 14.37      | 16.31         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66           | 16.66           | 16.66           | -               |
| 9    | 0   | 14.37      | 16.31         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66           | 16.66           | 16.66           | -               |
| 10   | 0   | 14.37      | 16.31         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66           | 16.66           | 16.66           | -               |
| 11   | 0   | 14.37      | 16.31         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66           | 16.66           | 16.66           | -               |
| 12   | 0   | 14.37      | 16.31         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66           | 16.66           | 16.66           | -               |
| 13   | 0   | 14.37      | 16.31         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66           | 16.66           | 16.66           | -               |
| 14   | 0   | 14.37      | 16.31         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66           | 16.66           | 16.66           | -               |
| 15   | 0   | 14.37      | 16.31         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66         | 16.66           | 16.66           | 16.66           | 16.66           |
| 16   | 0   | 13.25      | 14.79         | 15.42         | 15.42         | 15.42         | 15.42         | 15.42         | 15.46         | 15.52         | 15.59         | 15.67           | 16.19           | 16.38           | 16.42           |
| 16.5 | 0   | 11.25      | 12.79         | 13.42         | 13.42         | 13.42         | 13.42         | 13.42         | 13.44         | 13.51         | 13.69         | 14.03           | 14.7            | 15.05           | 15.25           |
| 17   | 0   | 9.25       | 10.23         | 10.97         | 11.3          | 11.3          | 11.3          | 11.3          | 11.3          | 11.4          | 11.58         | 11.82           | 12.92           | 13.74           | 14.25           |
| 17.5 | 0   | 7.25       | 8.04          | 8.63          | 8.92          | 8.92          | 8.92          | 8.92          | 8.92          | 9.1           | 9.46          | 9.92            | 11.55           | 12.6            | 13.12           |
| 18   | 0   | 5.25       | 6.03          | 6.63          | 6.92          | 6.92          | 6.92          | 6.92          | 6.92          | 7.1           | 7.46          | 7.92            | 10.05           | 11.42           | 12              |
| 18.5 | 0   | 2.75       | 4.54          | 5.13          | 5.42          | 5.42          | 5.42          | 5.42          | 5.42          | 5.6           | 5.96          | 6.42            | 8.66            | 10.24           | 11              |
| 19   | 0   | 1.75       | 3.55          | 4.23          | 4.46          | 4.46          | 4.39          | 4.24          | 4.23          | 4.42          | 4.78          | 5.23            | 7.57            | 9.28            | 10              |
| 19.5 | 0   | 0.75       | 2.55          | 3.23          | 3.46          | 3.45          | 3.34          | 3.23          | 3.23          | 3.42          | 3.78          | 4.23            | 6.56            | 8.28            | 9               |
| 20   | 0   | 0          | 2.4           | 3.05          | 3.25          | 3.1           | 2.54          | 0.99          | 0             | 0             | 0             | 0               | 3.37            | 5.82            | 7               |

## Anexo 7

Plano de líneas Tercera iteración.



| REFERENCIA |                  |
|------------|------------------|
| CLAVE      | SIGNIFICADO      |
| E          | ESTACIÓN         |
| B          | ESTACIONES BULBO |
| LA         | LÍNEA DE AGUA    |
| SM         | SECCIÓN MEDIA    |



|                                                               |                                              |                                               |                  |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------|
| NUM. IMO: S/N                                                 |                                              |                                               |                  |
| CONSTRUCTOR (BUILDER): DANIEL HERNÁNDEZ                       |                                              |                                               |                  |
| ARMADOR: TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO<br>(OWNER): S.A. de C.V. |                                              |                                               |                  |
| TÍTULO:<br>PLANO DE LÍNEAS                                    | PAÍS DE ORIGEN:<br>ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA | ESCALA:<br>1:500                              | FECHA:<br>1/2000 |
| PROYECTO:<br>J.M.M.                                           | REVISIÓN:<br>0                               | AUTORIZACIÓN DEL PROYECTO:<br>(Firma y Sello) |                  |
| PLANO:<br>ESTADOS                                             | REVISIÓN:<br>0                               | FECHA DE LA REVISIÓN:<br>1 DE 1               |                  |

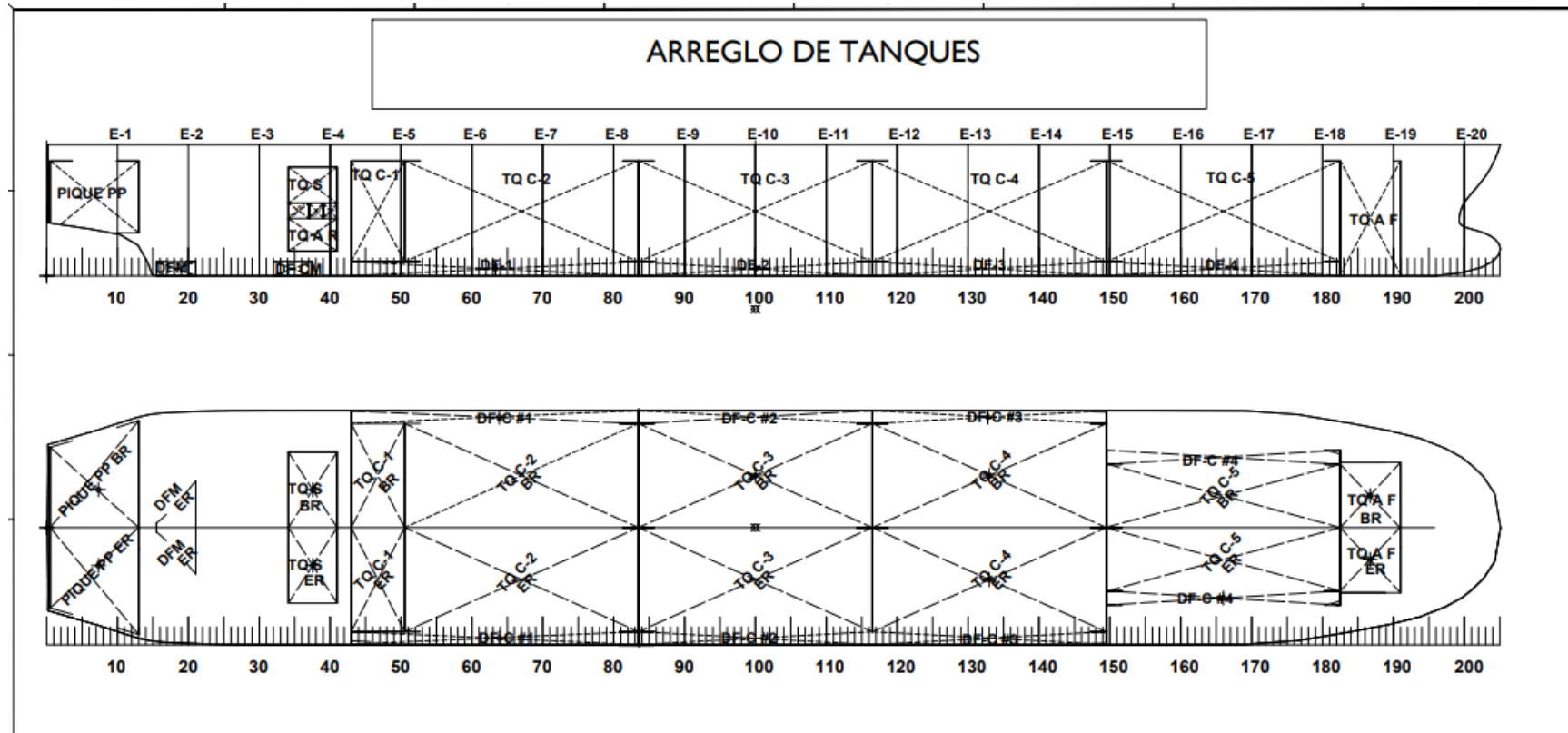
# Anexo 7-A Tabla de Offsets (Tercera Iteración)

|      | wl 0   | wl 1     | wl 2     | wl 3     | wl 4     | wl 5     | wl 6     | wl 7     | wl 8     | wl 9     | wl 10     | wl 11     | wl 12     | wl 13     |
|------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Est. | (0 m)  | (1.06 m) | (2.12 m) | (3.18 m) | (4.24 m) | (5.30 m) | (6.36 m) | (7.42 m) | (8.48 m) | (9.54 m) | (10.60 m) | (13.41 m) | (16.23 m) | (19.04 m) |
| 0    | 0.000  | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 6.250    | 7.980    | 8.980     | 10.660    | 11.480    | -         |
| 0.5  | 0.000  | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 6.080    | 8.590    | 10.000   | 10.980    | 12.540    | 13.230    | -         |
| 1    | 0.000  | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 8.130    | 10.270   | 11.480   | 12.290   | 12.980    | 14.090    | 14.730    | -         |
| 1.5  | 0.000  | 3.165    | 2.880    | 3.520    | 7.310    | 10.040   | 11.656   | 12.685   | 13.548   | 14.256   | 14.880    | 15.625    | 15.980    | -         |
| 2    | 2.100  | 5.688    | 5.488    | 6.687    | 10.751   | 12.285   | 13.417   | 14.120   | 14.700   | 15.137   | 15.550    | 16.081    | 16.280    | -         |
| 2.5  | 5.100  | 9.030    | 10.801   | 12.046   | 12.999   | 13.801   | 14.416   | 14.915   | 15.346   | 15.632   | 15.951    | 16.387    | 16.480    | -         |
| 3    | 10.010 | 12.251   | 13.607   | 14.713   | 15.299   | 15.600   | 15.774   | 15.902   | 15.999   | 16.091   | 16.197    | 16.527    | 16.645    | -         |
| 3.5  | 12.710 | 14.905   | 15.878   | 16.258   | 16.391   | 16.422   | 16.422   | 16.428   | 16.428   | 16.437   | 16.477    | 16.599    | 16.645    | -         |
| 4    | 14.370 | 16.310   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665    | 16.665    | 16.665    | -         |
| 5    | 14.370 | 16.310   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665    | 16.665    | 16.665    | -         |
| 6    | 14.370 | 16.310   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665    | 16.665    | 16.665    | -         |
| 7    | 14.370 | 16.310   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665    | 16.665    | 16.665    | -         |
| 8    | 14.370 | 16.310   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665    | 16.665    | 16.665    | -         |
| 9    | 14.370 | 16.310   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665    | 16.665    | 16.665    | -         |
| 10   | 14.370 | 16.310   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665    | 16.665    | 16.665    | -         |
| 11   | 14.370 | 16.310   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665    | 16.665    | 16.665    | -         |
| 12   | 14.370 | 16.310   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665    | 16.665    | 16.665    | -         |
| 13   | 14.370 | 16.310   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665    | 16.665    | 16.665    | -         |
| 14   | 14.370 | 16.310   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665    | 16.665    | 16.665    | -         |
| 15   | 14.370 | 16.310   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665   | 16.665    | 16.665    | 16.665    | 16.665    |
| 16   | 13.230 | 14.770   | 15.772   | 15.821   | 15.827   | 15.850   | 15.888   | 15.934   | 15.968   | 16.000   | 16.082    | 16.229    | 16.360    | 16.400    |
| 16.5 | 11.230 | 12.770   | 14.085   | 14.343   | 14.343   | 14.380   | 14.409   | 14.491   | 14.565   | 14.639   | 14.755    | 15.074    | 15.364    | 15.586    |
| 17   | 9.230  | 10.734   | 11.745   | 12.171   | 12.370   | 12.456   | 12.535   | 12.626   | 12.740   | 12.853   | 13.044    | 13.577    | 13.981    | 14.390    |
| 17.5 | 7.230  | 8.846    | 9.557    | 9.683    | 9.766    | 9.892    | 10.048   | 10.200   | 10.310   | 10.542   | 10.923    | 11.828    | 12.580    | 13.100    |
| 18   | 5.230  | 6.764    | 7.554    | 7.732    | 7.714    | 7.678    | 7.704    | 7.807    | 8.041    | 8.444    | 8.996     | 10.324    | 11.400    | 11.980    |
| 18.5 | 2.730  | 4.855    | 5.634    | 5.960    | 6.010    | 6.000    | 5.886    | 5.903    | 6.134    | 6.538    | 7.295     | 9.090     | 10.220    | 10.980    |
| 19   | 1.730  | 3.737    | 4.452    | 4.625    | 4.615    | 4.534    | 4.501    | 4.611    | 4.806    | 5.245    | 5.825     | 7.833     | 9.260     | 9.980     |
| 19.5 | 0.730  | 3.179    | 3.631    | 3.784    | 3.627    | 3.375    | 3.210    | 3.210    | 3.400    | 3.760    | 4.210     | 6.540     | 8.260     | 8.980     |
| 20   | 0.000  | 2.380    | 3.030    | 3.230    | 3.080    | 2.520    | 0.970    | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000     | 3.424     | 5.800     | 6.980     |

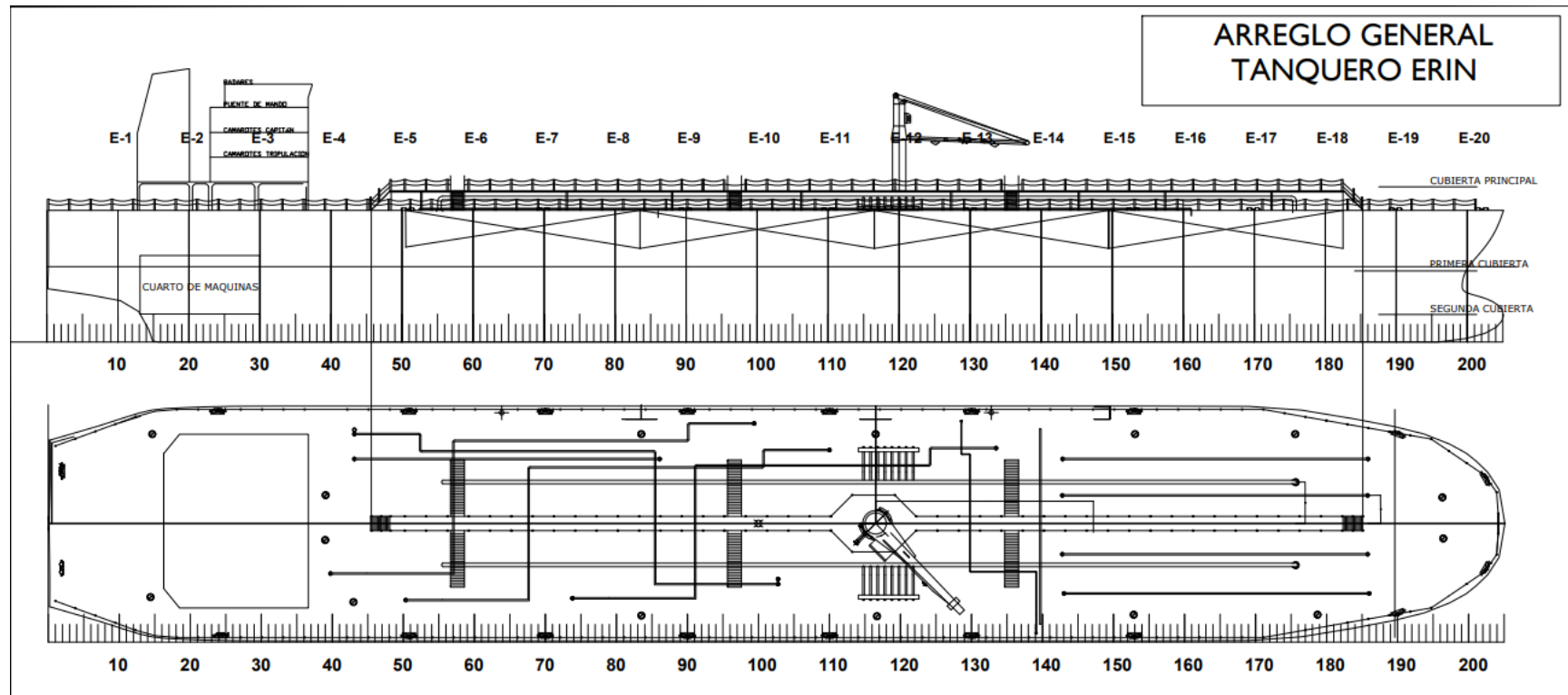
# Anexo 7-B: Tabla de Cálculos Hidrostáticos

| Calado | V         | $\Delta$  | TPC    | Ws       | Cwp   | Cb    | Cm    | Cp    | LCB    | KB    | BM     | KM     |
|--------|-----------|-----------|--------|----------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|
| 0.0    | 0.000     | 0.000     | 43.128 | 0.000    | 0.631 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000  | 0.000  |
| 1.1    | 4895.724  | 5018.117  | 51.554 | 5116.841 | 0.733 | 0.673 | 0.936 | 0.741 | 2.185  | 1.060 | 80.044 | 81.104 |
| 2.1    | 10362.869 | 10621.941 | 54.180 | 5624.847 | 0.770 | 0.713 | 0.964 | 0.761 | 2.041  | 1.780 | 41.436 | 43.216 |
| 3.2    | 16004.036 | 16404.137 | 54.920 | 6037.349 | 0.781 | 0.734 | 0.977 | 0.773 | 1.880  | 2.497 | 27.269 | 29.766 |
| 4.2    | 21724.903 | 22268.025 | 55.721 | 6488.988 | 0.792 | 0.747 | 0.982 | 0.783 | 1.602  | 3.211 | 20.423 | 23.635 |
| 5.3    | 27513.478 | 28201.315 | 56.229 | 6922.344 | 0.800 | 0.757 | 0.986 | 0.790 | 1.167  | 3.925 | 16.393 | 20.318 |
| 6.4    | 33357.487 | 34191.424 | 56.793 | 7398.015 | 0.808 | 0.765 | 0.988 | 0.796 | 0.616  | 4.639 | 13.750 | 18.389 |
| 7.4    | 39292.910 | 40275.232 | 57.997 | 7907.521 | 0.849 | 0.772 | 0.990 | 0.803 | -0.338 | 5.352 | 11.867 | 17.219 |
| 8.5    | 45341.450 | 46474.986 | 58.981 | 8381.169 | 0.863 | 0.779 | 0.991 | 0.809 | -1.007 | 6.067 | 10.461 | 16.528 |
| 9.5    | 51476.769 | 52763.688 | 59.675 | 8826.134 | 0.873 | 0.787 | 0.992 | 0.816 | -1.602 | 6.782 | 9.359  | 16.141 |
| 10.6   | 57684.998 | 59127.123 | 60.391 | 9267.741 | 0.884 | 0.793 | 0.993 | 0.822 | -2.094 | 7.498 | 8.498  | 15.996 |

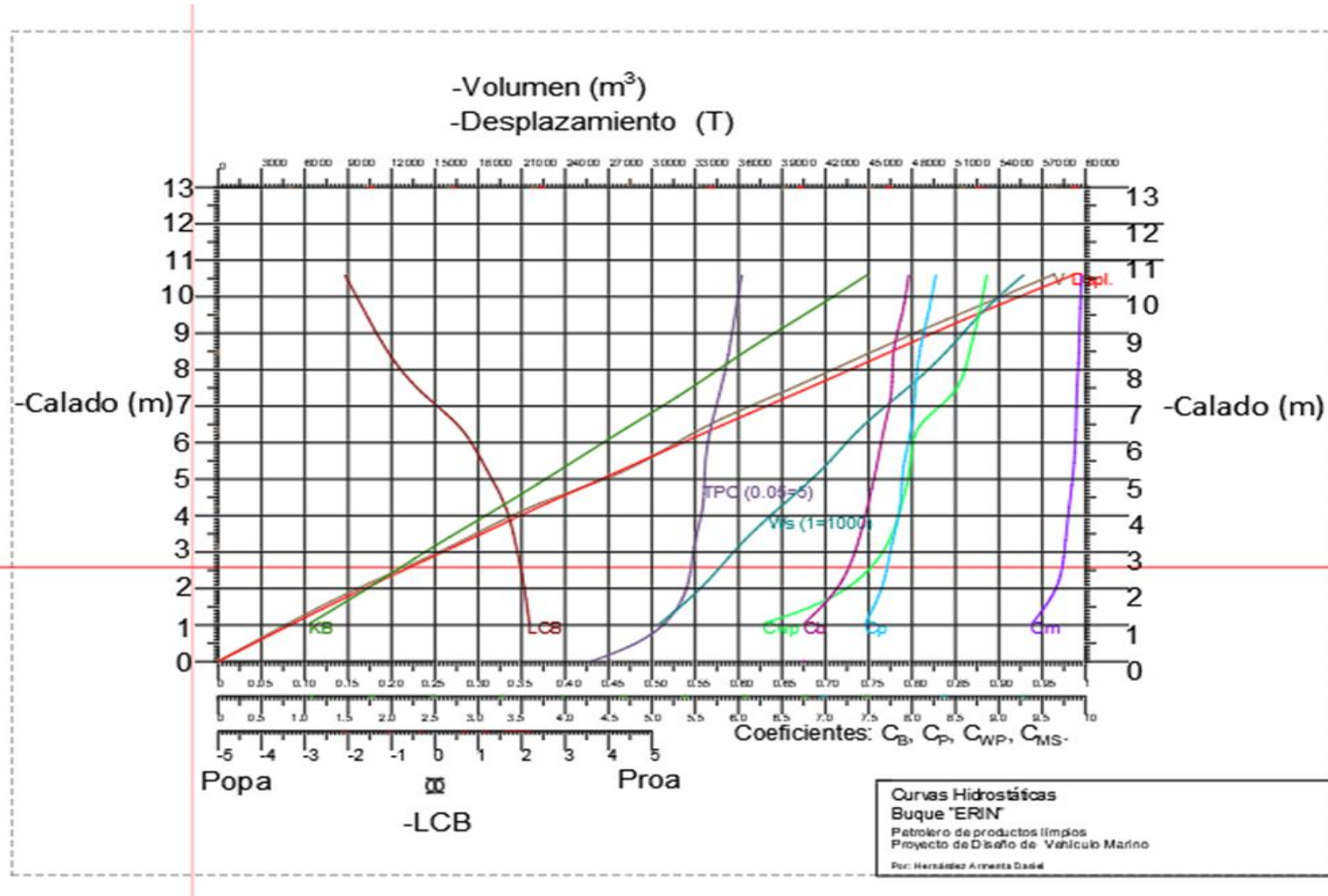
## Anexo 8 Disposición de tanques de carga



## Anexo 9 Disposición General



## Anexo 10 Curvas Hidrostáticas



## Anexo 11

