



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Ingeniería Naval

FACTIBILIDAD TÉCNICA DE RECREACIÓN DE NAVE HISTÓRICA

Tesis para optar al título de:

Ingeniero Naval

Mención: Arquitectura Naval

Profesor Patrocinante:

Dr. Richard Luco Salman.

Ingeniero Naval.

Licenciado de Ingeniería Naval.

Doctor en Ingeniería Naval.

BELFOR MAURICIO MUÑOZ PACHECO

VALDIVIA — CHILE

2010

Dedico esta tesis a todas las enormes personas que lograron hacer posible, con una especial agradecimiento a mis profesores, compañeros, amigos y familia, quienes se esforzaron y brindaron una ayuda importante. Espero culminar la primera de muchas etapas en mi vida profesional.

Sin duda tengo que agradecer a mis padres Belfor y Rosa, mi hermana Carola y los buenos amigos que forme en los años de estudiantes, que sin el apoyo de ellos en los momentos más duros de mi vida estudiantil supieron decir las palabras correctas en los momentos correctos, gracias a ustedes este momento que veía tan lejano hoy se concreta.

Gracias...

ÍNDICE

RESUMEN

Capítulo I.

Introducción.	5
---------------	---

Capítulo II.

Antecedentes Históricos Generales de Naves de Época.	6
--	---

<i>Antecedentes Históricos Generales de la Colonización Alemana en el Sur de Chile.</i>	6
---	---

<i>Madera usada en la Construcción de Naves.</i>	8
--	---

<i>Tipos de Madera.</i>	9
-------------------------	---

<i>Tabla de Densidades.</i>	9
-----------------------------	---

<i>Tipos de Construcción de Cuadernas.</i>	10
--	----

<i>Naves del Siglo XIX.</i>	13
-----------------------------	----

Capítulo III.

Propuesta Técnica.	21
--------------------	----

<i>Registro de Barcos de Viaje con Colonos Alemanes entre 1846 y 1852.</i>	22
--	----

Capítulo IV.

Desarrollo del Proyecto.	23
--------------------------	----

<i>Generación de Formas.</i>	23
------------------------------	----

<i>Estimación de Potencia.</i>	27
--------------------------------	----

<i>Selección del Motor.</i>	32
-----------------------------	----

<i>Cálculo del Propulsor.</i>	34
-------------------------------	----

<i>Cálculo Sistema de Gobierno.</i>	35
-------------------------------------	----

<i>Cálculo Escantillonado.</i>	40
--------------------------------	----

<i>Generación Arboladura.</i>	51
-------------------------------	----

Capítulo V.

Conclusión.	58
-------------	----

Resumen

La siguiente tesis tiene por objetivo analizar la factibilidad técnica de realizar el proyecto, diseño y construcción de una nave construida en el siglo XIX.

Además de los aspectos técnicos se estudiará brevemente el proceso de inmigración en el Sur de Chile, que gracias a relatos de los navegantes es posible hoy en día contar con un archivo histórico.

El objetivo es evaluar las facilidades y dificultades de la construcción de estas naves en la actualidad.

Summary

The objective of the present work is to analyze the technical feasibility of the project, design and construction of a ship built in the 19th century.

In addition to the technical aspects, it will be briefly discussed the immigration process in the South of Chile. The process is well documented thanks to the information gathered in a historic archive composed of sailors' stories.

The main objective is to evaluate the feasibility and challenges of the building process of this kind of vessels nowadays.

1.- Introducción

Los diseños de naves de la época de 1850 eran muy variados, estos poseían varios mástiles, en los cuales la disposición de las velas era muy relevante, además de la forma de sus cascos, ya que estos eran de formas bastantes llenas, llegaban fácilmente a coeficientes de bloque de 0,8, que hoy en día vemos con más frecuencia en buques tanque, pero no en veleros de altura. Es por esto que se procederá a dar una pequeña definición de cada tipo de nave usada para el transporte de pasajeros ya sea navegando en mares protegidos como en alta mar, sobre todo cruzando en Océano Atlántico en busca de nuevas fronteras y el comienzo de nuevas vidas.

Hoy en día ha cambiado bastante el perfil de un velero, es más bien una embarcación de lujo o de competencia, no un transporte de mercancías o de pasajeros.

En esta tesis, se describirá el proceso de diseño de una embarcación del tipo Barca, en particular, se busca crear una réplica de la embarcación que transporto a los primeros colonos alemanes a la zona de Valdivia, por lo que el proyecto no solo considera aspectos puramente técnicos, sino que además involucra un aspecto histórico a tomar en consideración.

A continuación se presentará un estudio en cuanto a las facilidades y dificultades de la construcción de una nave de época.

2.- Antecedentes Históricos Generales de Naves de Época.

El capítulo que a continuación se presenta, fue elaborado a partir de una extensa revisión bibliográfica cuyo contenido aborda el proceso y las condiciones de la inmigración Alemana en Chile durante el siglo XIX. Además del estudio de las construcciones de la época, en la que un punto importante a tomar son los tipos de maderas usadas en los navíos.

La inmigración de colonias Alemanas, trajo consigo un desarrollo económico, social, cultural, industrial y naval bastante importante en Valdivia y sus alrededores.

Para lo anterior se abordara un resumen de los antecedentes de la colonización, para luego revisar los tipos de construcciones y métodos utilizados, finalizando con una breve definición de cada tipo de nave propulsada a vela usada para el transporte de pasajeros ya sea navegando en mares protegidos como en alta mar, dando énfasis a aquellas que cruzaron el Océano Atlántico en busca de nuevas fronteras y el comienzo de nuevas vidas.

2.1.- Antecedentes Históricos de la colonización Alemana en el Sur de Chile

La política de inmigración que trajo a los colonos alemanes hasta las costas chilenas en el siglo XIX, son responsabilidad primera del Intendente Salvador Sanfuentes, que al recorrer la provincia de Valdivia, en 1848, se da cuenta del gran deterioro que la ciudad había sufrido desde su fundación y por tanto de la necesidad de inyectarle la energía necesaria para impulsarla y posibilitar su desarrollo. Esta inquietud, que fue a llegar a los gobernantes centrales de la nación, se vio paradójicamente potenciada por las gestiones que ya había comenzado un alemán alrededor del año 45.

Es así como este personaje, Bernhard Eunom Philippi, un joven oficial alemán que poseía amplios conocimientos científicos y tecnológicos adquiridos luego de variados viajes hasta estos territorios australes encargados por el Museo de Berlín, queda tan positivamente sorprendido por los parajes que visitó en sus viajes de estudio que gestionó con las autoridades chilenas una autorización para traer habitantes de su país hasta estas costas. Philippi se encarga directamente de contactar al gobierno local y por su intermedio al Supremo Gobierno, encabezado por Don Manuel Bulnes, y presentar un proyecto de colonización el que tuvo en 1845 una respuesta positiva. Fue así como en 1848, partió rumbo a Alemania, donde encontró tierra fértil a sus proposiciones dadas las complejas condiciones económicas y políticas que vivía el país del norte, Alemania pasaba por una

revolución que intentaba abolir la monarquía, cuestión que no prosperó, y que por el contrario trajo como consecuencia el endurecimiento político.

Franz Kindermann, propietario de extensos terrenos en la zona sur de Chile, se sumó a la idea del gobierno chileno y realizó sus propias gestiones con el fin de vender a buen precio sus propiedades. Viajó hasta Alemania el año 1849, donde transmitió, a través de la publicación de un documento que denominó "Chile con especial consideración de la provincia de Valdivia, como especialmente apropiada para la inmigración alemana", las bondades de estas regiones. Este documento se sumó a otras publicaciones que facilitaron el conocimiento de los alemanes de las características de la zona.

La presencia de los colonos en Chile, especialmente la zona sur, se debe no sólo a las condiciones y decisión histórica de los gobiernos de Chile, mencionadas en los párrafos anteriores, sino que también a una coyuntura política histórica en Europa, que indujo a millones de personas a abandonar su tierra natal buscando mejores formas y calidad de vida.

Entre 1815 y 1940 más de 50 millones de personas dejaron Europa para irse a otros países a comenzar una nueva vida. Se dice que un 21% de los europeos vivía fuera durante la 1ª Guerra mundial. La emigración no sólo modificó a las familias y ciudades sino que también transformó la historia y desarrollo de estas y los países que los recibieron.

La emigración se desarrolló de este a oeste.

En la primera mitad del siglo XIX los emigrantes venían de Gran Bretaña, Irlanda y escandinava. Luego la ola de emigrantes alcanzó a los países de habla germánica y finalmente vino el período de la emigración en masa del oeste y sur europeo.

Adjuntaremos un plano de ruta que seguían las naves en aquella época, este es una ruta aproximada.

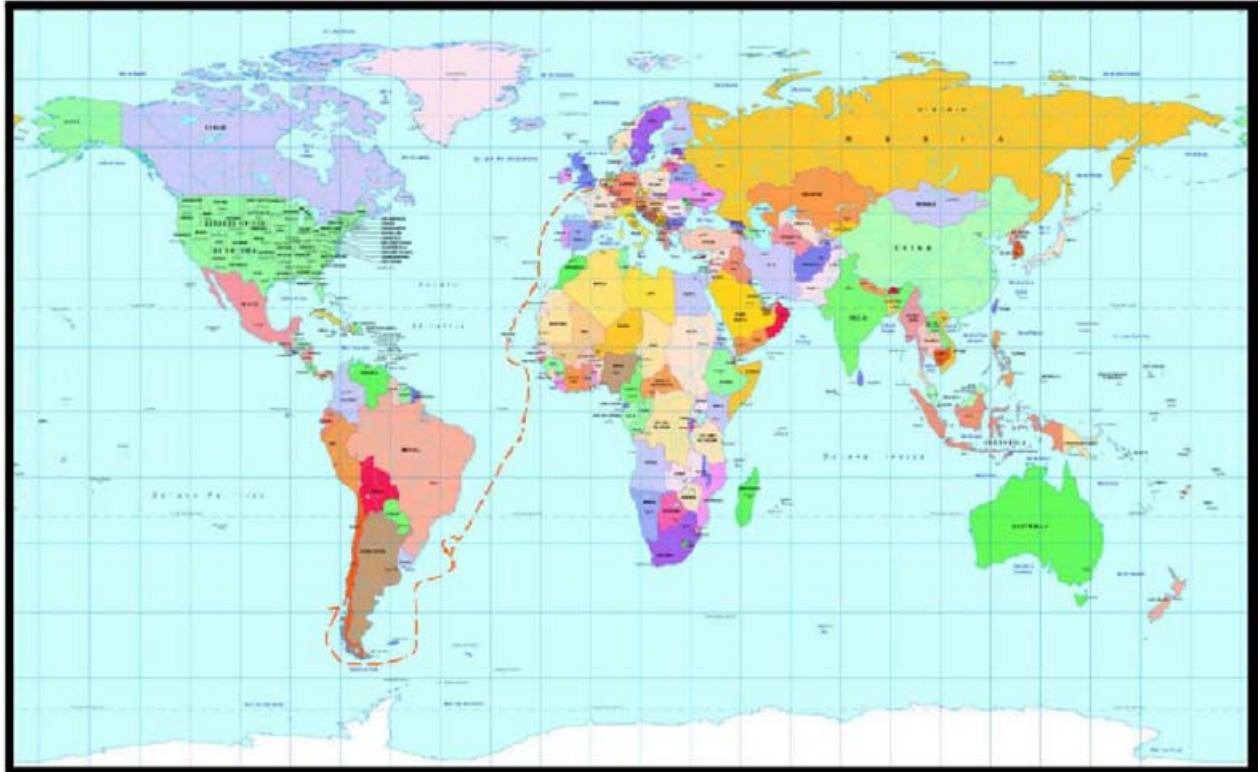


Figura 1, (Ruta de Navegación)

Las construcciones de la época del siglo XIX eran generalmente de maderas nativas, tales como el Roble, Olmo, etc. Nosotros tomaremos como la madera de construcción al Roble Europeo, la cual presenta mejores propiedades físicas y mecánicas de acuerdo a los esfuerzos sometidos por las naves. Otro punto por el que se utilizará como elemento estructural al Roble Europeo, es por el reglamento de casa clasificadora “*Reglamento para la Construcción y Clasificación de Buques de Pesca de Madera.*”, del Bureau Veritas.

Se presentará una introducción a los tipos de construcción especialmente de las cuadernas, por la dificultad de la formas de los cascos de estas naves.

2.2.- Madera Usada en Construcciones de Naves.

Hasta mediados del siglo XIX la madera fue el único material empleado en la construcción de cascos y estructura de los buques. Más ligera que el agua y muy resistente en relación con su peso específico, presenta grandes dificultades de ensamblaje, por lo que las dimensiones de los mayores buques de la época tuvieron un límite entre los 60 y los 70 metros de eslora.

Hoy día también se construyen cascos de madera, pero su empleo está restringido a las embarcaciones menores como yates, lanchones y pesqueros.

El forro exterior está compuesto de tablas de madera, cuya estanqueidad se consigue calafateando las juntas con algodón o estopa impregnados en compuestos de alquitrán o sebo. Entre las variedades de maderas adecuadas para forros y cubiertas de buques destacan el pino, el olmo, el roble, el cedro y la caoba, aunque estos dos últimos se reservan prácticamente para yates de lujo.

El Tipo de Madera, que fue la más utilizadas en la construcción en el siglo XIX, es el Roble Europeo, que a continuación se exhibirá una definición de sus propiedades.

2.3.- Tipo de Madera:

2.2.2.- ROBLE EUROPEO: La Madera de Roble alcanza alturas de hasta 40 m y diámetros de 3. Tiene albura blanca y duramen rojizo, con anchos diarios medulares y el conjunto adquiere una coloración parda clara. Es dura, resistente, tenaz, densa, poco alterable y de labra fácil. Es la Madera que mejor resiste las alternativas de sequedad y de humedad. Admite buen pulimento. Es cara, se resquebraja y es atacada por los gusanos.

Se emplea para toda clase de obras, por soportar grandes cargas, en carpintería de armar, obras hidráulicas, navales, carretería, etc. Su densidad oscila de 0,71 a 0,73 ton/m³.

2.4. Tabla de Densidades.

<i>Tipo de Madera</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>
Roble Europeo	710 – 730

Tabla 1 (Densidades)

Lo más complicado en la construcción de estas naves es dar la forma a las cuadernas, ya que poseemos curvas bastante pronunciadas y a esto tenemos que agregar la continuidad de la fibra de la madera, para evitar la concentración de tensiones y que esta no falle, por lo cual hay dos métodos de construcción para dichas cuadernas que se definirá a continuación.

Estas cuadernas deben ir ensambladas en la Quilla a través de un Alefriz, que es una ranura a lo largo de la quilla, para poder ensamblar las cuadernas y así generar una continuidad y unidad estructural. Ésta parte de la construcción no tiene mayor dificultad, pero si requiere precisión.

2.5.- Tipos de Construcción de Cuadernas:

2.5.1.- Curvadas al vapor: Suelen ser de roble u olmo, pero su tamaño viene limitado por el de los trozos de madera disponibles y por la dificultad de curvar piezas gruesas. La madera adquiere flexibilidad por el tratamiento al vapor y se curva con arreglo a plantillas o gálibos.

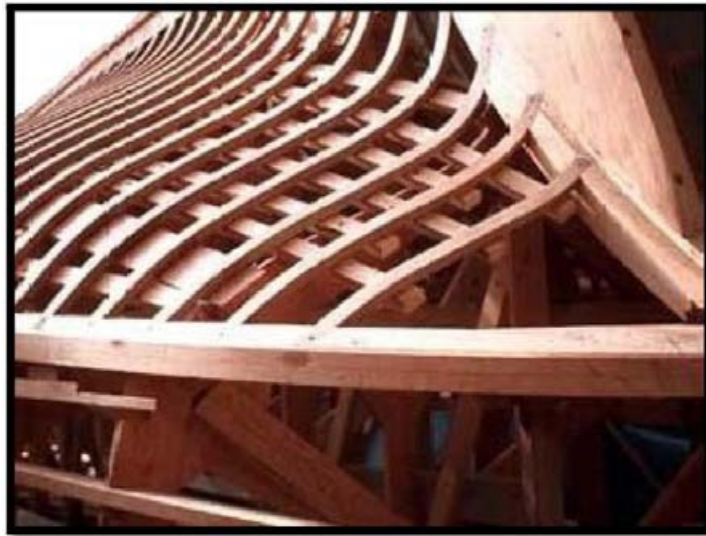


Figura 2, (Cuadernas Curvadas al Vapor)

2.5.2.- Labradas con reviro: Suelen ser también de roble u olmo y se emplean cuando su tamaño no permite la utilización de las curvadas al vapor. Se construyen en secciones llamadas genoles, varengas y barraganetes, ensambladas por medio de pernos o cabillas.



Figura 3, (Cuadernas Labradas con reviro)

La construcción en años anteriores de cualquier otro tipo de barco, de madera o de metal, puede complicarse por las diferentes curvas del casco, los ángulos compuestos que conforman los diferentes miembros estructurales, y por la necesidad de producir un barco que sea absolutamente simétrico y liso (con curvas regulares y superficies lisas). Debido a tales exigencias resulta complicada la construcción de embarcaciones, cualquiera sea su diseño, a partir de planos a escala como se opera en otros tipos de estructuras. En estos casos, el constructor, antes de empezar a trabajar debe recurrir a la práctica del trazado de Gálíbos, plantillas que configuran las líneas del buque.

El trazado de Gálíbos consiste en el dibujo exacto en tamaño natural del plano de las secciones del casco a construir. A partir de este plano, el constructor determina las dimensiones y formas del armazón y de las chapas o láminas.

El plano completo de la estructura del barco se extiende por un suelo plano en una habitación especial o edificio denominado Sala de Gálíbos. Los patrones de papel o de madera, de las diferentes partes del casco, se realizan a partir del plano, y después se emplean en los talleres para cortar y conformar las chapas y el armazón en la configuración proyectada. Cuanto más complejo sea el barco, más detallados serán las plantillas de trazado. Durante siglos, se utilizó este método, que vemos reemplazado por la nueva tecnología que poseemos, la cual nos permite hacer planos a escala reducida y así facilitar la lectura de estos y posterior construcción.

El forro exterior se hacía de varias formas, una de estas era el forro tinglado, o bien con las maderas a tope, estas siempre iban calafateadas con alguna resina, para poder dejar estanco el casco, hoy en día se utiliza bastante la lana mineral, ya que aún se construyen embarcaciones de madera, sobre todo en el sur de Chile.

Actualmente algunas de las maderas usadas, son las siguientes:

- Mañío
- Coigüe
- Ciprés de las Guaitecas
- Eucalipto

Todo esto dependiendo de la estructura de la embarcación.

Como mencionábamos anteriormente, existen dos tipos de forro de casco, las cuales se presentarán a continuación con una imagen y una breve descripción de cada una, en dichas imágenes se verá el proceso de calafateado, proceso fundamental dentro de la construcción en madera ya que evita el ingreso de agua al interior del casco, generando la estanqueidad necesaria.

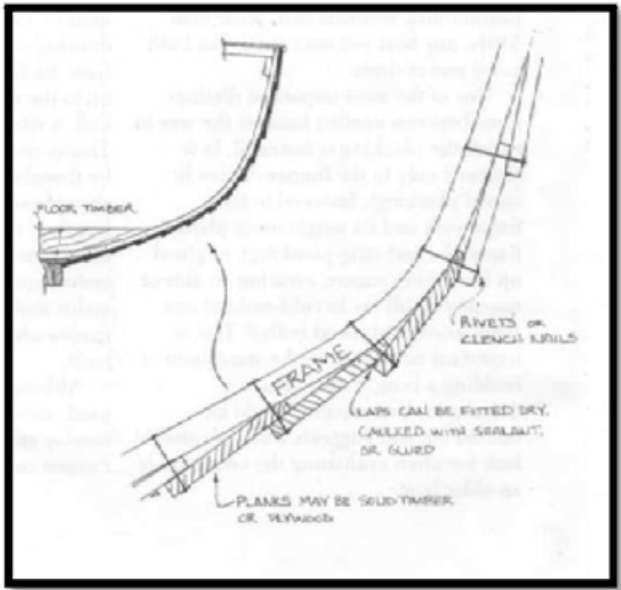


Figura 4, (Forro unido mediante Tinglado)



Figura 5, (Forro unido tope a tope)
Se muestra el calafateo de la tablazón.



Figura 6, (Herramientas para el calafateo).

2.6. Naves del siglo XIX.

Para los años de 1800 (siglo XIX), hubieron bastantes cambios en la navegación, las embarcaciones comenzaron a cambiar sus formas y así poder navegar en aguas abiertas con mayor seguridad y velocidad, acortando los tiempos de un continente a otro.

Se dará a conocer algunas definiciones de los barcos más típicos que en la época eran usados para las travesías de estos osados marineros.

2.6.1.- Tipos de Naves:

1. Bergantín
2. Goleta
3. Bergantín – Goleta
4. Barca
5. Clíper
6. Fragata
7. Corbeta
8. BricBarca

2.6.1.1.- Bergantín:

- Un **Bergantín** es un barco, generalmente de dos mástiles, con todo su aparejo formado por velas cuadradas; es decir, velas dispuestas en los

mástiles colgando de vergas transversales respecto al eje longitudinal de la nave

- El bergantín aparece en la segunda parte del siglo XVII y se empleó de forma generalizada hasta el siglo XIX. Se caracterizaba por la gran superficie velica que era capaz de desplegar para su desplazamiento, de hasta 600 toneladas, siendo los bergantines buques extremadamente rápidos y ágiles en la maniobra, y apropiados para tráfico entre continentes.
- Los bergantines fueron empleados como buques para tráfico mercante, pero también como corsarios, gracias a su gran velocidad, que les permitía escapar de navíos y fragatas, y alcanzar a toda clase de tráfico mercante. De esta forma las armadas incorporaron a su vez el bergantín, que portaba normalmente hasta una docena de piezas en cubierta, para exploración y lucha contra la piratería.



Figura 7, (Bergantín Irving Jhonson).

2.6.1.2.- Goleta:

- Una **goleta** es un buque de dos o más mástiles (las ha habido hasta de siete palos), siendo el mayor el de mesana, con el aparejo formado por velas áuricas (cangreja, escandalosa) y velas de cuchillo (foques, velas de estay); es decir, velas dispuestas en el palo siguiendo la línea de crujía, de proa a popa, en vez de montadas en vergas transversales como las velas cuadradas.
- La goleta aparece en el siglo XVIII y tiene características funcionales parecidas al bergantín, del que se diferencia principalmente por su aparejo.

Es un buque capaz de alcanzar gran velocidad en ceñida y través, y se empleó de forma parecida al bergantín, aunque por su menor tamaño se destinaba más a actividades mercantes de cabotaje. El aparejo de cuchillo requiere menos personal para su manejo. Las goletas solían ser de menor desplazamiento que los bergantines, aunque también las hubo de más tonelaje, que se emplearon en navegación entre continentes, y en algún caso hasta de tres palos.

- La goleta desaparece en el siglo XIX junto con la navegación a vela para el traslado de mercancías. Su aparejo tuvo gran influencia en las embarcaciones deportivas de vela actuales y en las construcciones modernas de grandes buques de vela, como buques escuela o para entretenimiento, que casi siempre emplean aparejos de tipo goleta o sus variantes.
- Embarcaciones con variantes del aparejo de la goleta, además del bergantín-goleta (palo trinquete aparejado de cruz, p. ej. Juan Sebastián Elcano) son la goleta de velacho, con una o dos de tales velas en el trinquete (el palo más cercano a proa); goleta de gavias (trinquete con cangreja, escandalosa y gavias en mayor); goleta-polacra, mayor aparejado de goleta y trinquete con dos velas cuadradas y cangreja, sin cofas ni cruceta. Pailebot (vela de gavia baja en trinquete); queche, con los mismos aparejos, siendo el trinquete el palo mayor.

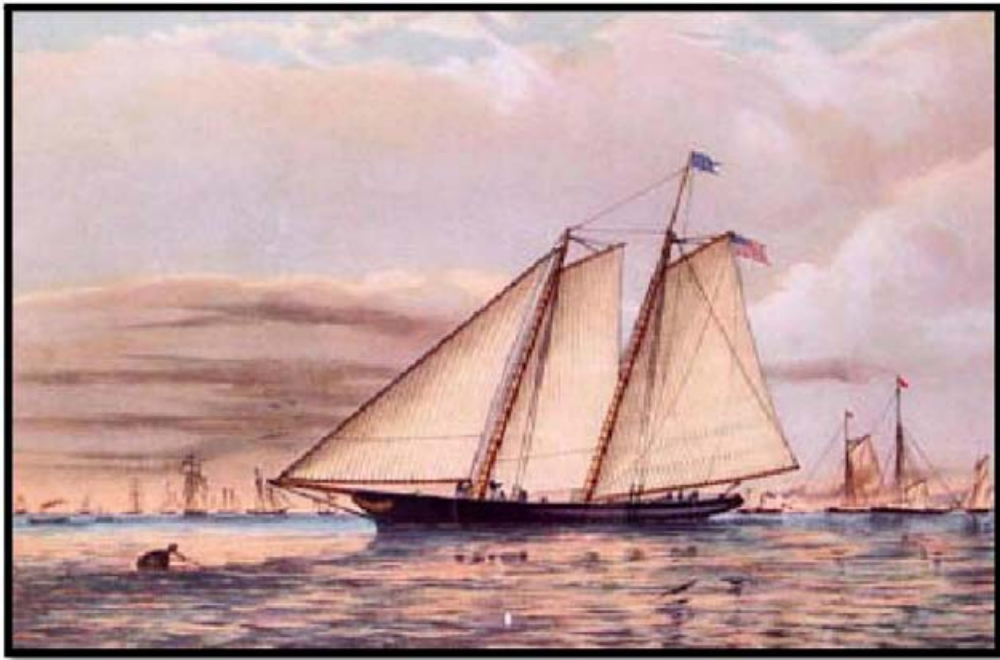


Figura 8, (Goleta América)

Dio nombre a la famosa America's Cup.

2.6.1.3.- Bergantín – Goleta:

- El **bergantín-goleta** es un buque de dos o más palos, que lleva un velamen mixto entre el del bergantín y el de la goleta; usualmente velas cuadradas en el trinquete (el mástil más próximo a proa) y el resto de los palos con velas de cuchillo. Otro derivado del aparejo de bergantín es el *bricbarca*, buque de tres o más palos con los dos primeros de aparejo cuadrado al estilo del bergantín y el resto de cuchillo, disposición usual en las corbetas. Por ejemplo, el Juan Sebastián Elcano, de la Armada española, y su Buque Escuela gemelo, La Esmeralda, de la Armada Chilena, es, por su velamen, un bergantín-goleta.



Figura 9, (Bergantín-Goleta), Juan Sebastián Elcano, Armada Española.



Figura 10, (Bergantín-Goleta), Esmeralda, Armada Chilena.

2.6.1.4.- Barca:

- Buque de tres o más mástiles, que lleva velas cuadras en los mástiles, y una vela cangreja (cuchillo) en la Mesana.



Figura 11, (Barca HERMINNE), construida en 1846.



Figura 12, (Barca Elissa).

2.6.1.5.- Clíper:

- El nombre *clíper* proviene del sustantivo inglés «*clip*», palabra informal que significa «índice de velocidad»; lo que procede bien rápido se dice en inglés que procede «at a good clip».¹ Los clíperes fueron el canto de cisne de la navegación a vela ante el acoso de los barcos de propulsión mecánica. Cambiando por completo los conceptos de diseño naval, en la década de los años 30 del siglo XIX, apareció en Escocia un intento de producir un barco que fuese rápido a pesar de ser movido por el viento. El secreto estaba en un radical rediseño del casco, que pasaría de una forma panzuda para albergar la carga, a una forma delgada haciendo barcos más largos y estrechos en vez de cortos y anchos. Comúnmente la «*Scottish Maid*», una goleta botada en Aberdeen en 1839 es considerada como la madre de los *clippers*, cuya máxima expresión fueron los grandes barcos construidos en el tercer cuarto del siglo XIX para la llamada «Carrera del té».
- Su capacidad de recorrer miles de millas sin tener que hacer escalas para recargar carbón, les otorgó cierta ventaja competitiva frente al barco de vapor que les hizo idóneos para las carreras de especulación por el transporte de cargamentos de té desde las costas del Océano Índico hasta los puertos de Gran Bretaña en el menor tiempo posible. Esto permitió que sobrevivieran prácticamente hasta el siglo XX.



Figura 13, (Clíper Stad Amsterdam).

2.6.1.6.- Fragata:

- El término **fragata** es muy anterior a la navegación a vapor y a las escuadras de naves blindadas de la segunda mitad del siglo XIX. Desde el siglo XVII las fragatas eran buques de tres palos, más ligeras que los navíos de línea que formaban el núcleo principal de las escuadras de vela, y que disponían como máximo de dos cubiertas y por lo normal artillada solo una o todo lo más con una pequeña batería en la segunda y con un número total de piezas que raramente excedía de 30, aunque en algún caso llegaba a 50.
- Su misión en la época de la vela era muy parecida a la del crucero protegido o ligero de finales del XIX: proteger el tráfico mercante ultramarino, siendo muy importante su participación en la lucha contra corsarios por su velocidad; atacar el tráfico del enemigo en caso de guerra y en las unidades más grandes y mejor preparadas combatir en auxilio de los navíos de línea; desempeñaba una importante misión destacada en exploración por delante y los flancos de la armada en una época en la que no existían radares ni radios para enterarse de dónde podía estar el peligro.
- Desaparecidas a mediados del XIX, en la Segunda Guerra Mundial vuelve a denominarse de esta forma a un tipo de nave algo más pequeña que el destructor, de 1.500-2.000 toneladas.



Figura 14, (Fragata Libertad), Armada Argentina.

2.6.1.7.- Corbeta:

- La **corbeta**, al igual que la fragata, es un nombre histórico que ya se aplicaba a buques ligeros de dos palos en la marina del siglo XVIII, que disponían de una única cubierta de combate con una única batería y raramente más de 20 cañones. Su misión era la escolta del tráfico mercante, vigilancia litoral y a veces exploración para las escuadras de guerra. Al igual que la fragata, desapareció a mediados del siglo XIX para volver a aparecer en la Primera Guerra Mundial.

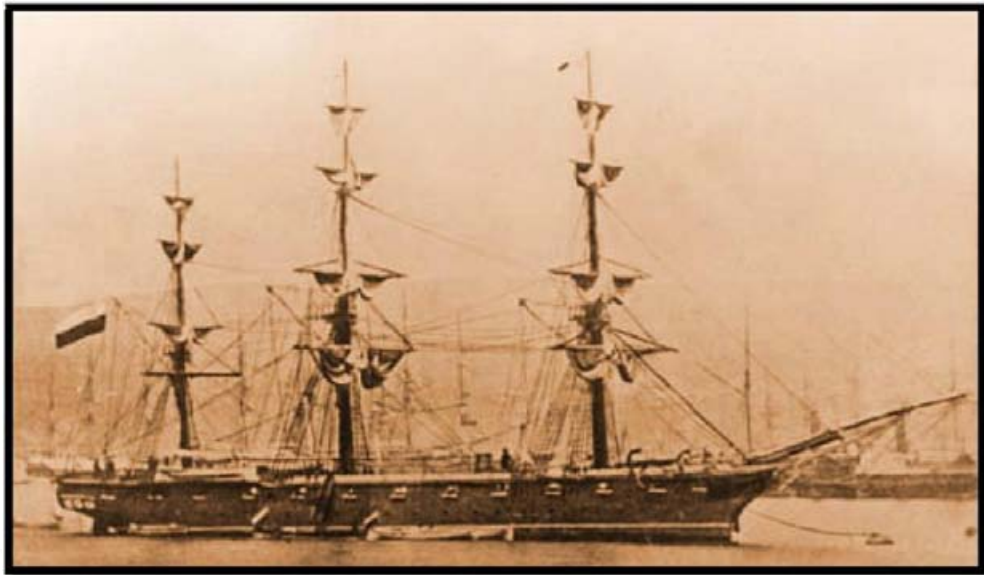


Figura 15, (Corbeta Esmeralda), Armada Chilena.

2.6.1.8.- BricBarca:

- Otro derivado del aparejo de bergantín es el *bricbarca*, buque de tres o más palos con los dos primeros de aparejo cuadrado al estilo del bergantín y el resto de cuchillo. Las bricbarcas son de velocidad media-lenta.



Figura 16, (Bricbarca SAGRES), Buque Escuela de la Marina Portuguesa.

3.- Propuesta Técnica de la Nave

Una cantidad importante de embarcaciones arribaron al puerto de Corral en la época de 1850, de la cual se pretende obtener datos de las dimensiones principales, para así proyectar una nave de las características de la época.

Esta nave recorrerá los canales valdivianos, hermosos por su flora y fauna natural, que es muy apetecida turísticamente.



Figura 17, Canales de la zona de Valdivia.

La embarcación será proyectada a modo de cumplir con los requerimientos actuales de maniobrabilidad, propulsión y por sobretodo de seguridad de los pasajeros y de la nave. En otras palabras, deberá poseer una planta propulsora y un conjunto de hélice timón que le permita maniobrar de manera segura en los estrechos ríos y canales presentes en la zona de Valdivia.

Otro aspecto importante a considerar es la presencia a bordo de la nave de instrumentos electrónicos de navegación que permitan plena seguridad en la navegación y operación de la maquinaria a bordo.

Durante el periodo de colonización alemana, arribaron a Valdivia las siguientes naves, los datos que se mostrarán a continuación fueron obtenidos en base a la investigación antropológica llevada a cabo por la antropóloga María Paz Salinas:

3.1.- Registro Barcos de Viaje con Colonos Alemanes entre los años 1846-1852:

• 1846 Velero Catalina	Capitán Petersen
• 1848 Velero Grabrook	
• 1849 Buque Inglés Middleton	
• 1849 Buque Sara	
• 1849 Buque sin Registro	7 a 9 personas, no mencionan el nombre
• 1849 Buque Noruego Elida	27 personas
• 1849 Buque sin Registro	2 personas
• 1850 Hermann	Eslora 33 m., Manga 8,1 m. calado 4,4 m. 86 personas, Tonnage = 275
• 1852 Bergantín Susana	Eslora 32 m., Manga 8 m., Puntal 10 m., tonelaje bruto 340 ton.
• 1850 Buque Alfred	26 personas
• 1850 Buque St. Pauli	46 personas
• 1851 Buque Adolph	57 personas
• 1851 Buque Victoria	38 personas
• 1851 Herman	26 personas

Como vemos en la lista de barcos, tenemos referencia más exacta de dos barcos ya que el resto de solamente tenemos la información del nombre y año del barco, además de la cantidad de Colonos que arribaron a las costas del sur de Chile.

El Sussane y el Hermann, son los barcos que poseen una información de la cual podemos obtener provecho en cuanto a las dimensiones principales, este último con datos sumamente importantes e influyentes en el diseño de estos tipos de embarcaciones, que hoy en día ya no se construyen. Gran parte de estos barcos los podemos ver como Buques Escuelas de algunas Marinas del Mundo.

4. Desarrollo del Proyecto

Las dimensiones principales de los barcos anteriormente nombrados son bastante útiles en este punto, ya que para generar las formas es necesario tener un coeficiente del tamaño del barco, a este medida lo llamamos *Tonnage*, que en los siguientes ítem lo definiremos con mayor precisión.

La nave recorrerá los canales de Valdivia, la cual necesita una gran maniobrabilidad, por lo que se incluirá a modo de prevención, un motor y su respectiva hélice.

El escantillonado será realizado por la Casa Clasificadora *Bureau Veritas* específicamente del *Reglamento para la Construcción y Clasificación de Buques de Pesca de Madera*, de este reglamento se obtendrán los principales elementos de estructura y de la unión de estas.

4.1.- Generación de Formas.

4.1.1.- Buques Base:

Tomaremos como buques bases los 2 anteriormente nombrados.

<i>Sussane</i>	L	=	32 m.
	B	=	8 m.
	D	=	10 m.
<i>Hermann</i>	L	=	33 m.
	B	=	8,1 m.
	T	=	4,4 m.
	Tonnage	=	275

En los diarios de viaje del *Sussane* y *Hermann*, daban a conocer las características de la nave, en ellos se detallaba la cantidad de mástiles, información fundamental para comenzar a conocer el tipo de nave.

Sin embargo se encuentra el registro del buque Hermann, el cual fue clasificado en la Casa Clasificadora Bureau Veritas, datos que se entregarán a continuación:

- *·Nombre del Barco* : *Hermann*
- *·Clasificación* : *Bureau Veritas*
- *·Tipo de Barco* : *Bark (Barca)*
- *·Año de Construcción* : *1849*
- *·Bandera* : *Hamburg.*
- *·Lugar de Construcción* : *Elbing (Actualmente Elblag, Polonia)*
- *·Tonnage* : *275.*
- *·Puerto de último registro:* *Hamburg, 1852*
- *·Tipo de Clasificación* : *Primera Clase*
- *·Tipo de Madera* : *Oak (Roble)*
- *·Propósito del Barco* : *Viajar a través del Atlántico hacia las costas del Este de América y hacia las costas de África.*

Mediante este documento podemos deducir el tipo de barco, en este caso es una Barca, la cual describimos en el capítulo anterior.

Con los antecedentes que poseemos de la Barca Hermann, se proyectará una nave con las referencias de este, por la claridad y confiabilidad de los datos.

Si bien las dimensiones principales se puede jugar bastante con las formas del casco, hay un valor que muy importante, el *Tonnage*, medida que hoy en día la conocemos como Arqueo de Naves, en la cual nos da una referencia del volumen del casco. Este se define de la siguiente manera.

$$Tonnage = \frac{L \times B \times D \times 0.75}{100}$$

Esta es la ecuación en la cual se medían las embarcaciones, pero el valor de 0,75 es el Coeficiente de Block de las Naves. Se tomaba este valor por la dificultad de medir este Coeficiente, es por esto que con los software que usamos para diseñar podemos obtener sin ninguna dificultad este valor, por lo tanto la ecuación a usar es la siguiente.

$$Tonnage = \frac{L \times B \times D \times C_b}{100}$$

Para poder ingresar a esta fórmula debemos seguir algunas recomendaciones que se pueden obtener del libro “Wooden Ship Building – By Charles Desmond”. Estas recomendaciones son las siguientes:

1. La Eslora, Manga y Puntal de la nave se mide de la siguiente manera.
2. La medida de la Eslora es tomada desde la cara de popa de la roda a la cara de proa del codaste. Medido en LC.
3. La Manga será medida en su parte más ancha.
4. La medición del Puntal, es tomada desde la parte superior de la sobrequilla hasta la parte inferior del bao de cubierta. Esta medida se hace en el extremo delantero de la escotilla principal.

Con estas recomendaciones podemos obtener un valor del *Tonnage*, el cual nos dará el volumen de nuestra embarcación. Para esto tenemos que tener el Escantillonado para saber los valores que nos piden para ingresar a la fórmula del *Tonnage*.

Para nuestra embarcación proyectaremos una volumen, el cual tendrá un *Tonnage* de 275, idéntico a la nave *Hermann*, todo esto para poder guiarnos de forma mejor en el diseño, siguiendo las dimensiones principales. Para esto se modelo un casco en un programa de arquitectura naval, este diseño se iteró varias veces para poder obtener el *Tonnage* que nos dimos como requisito.

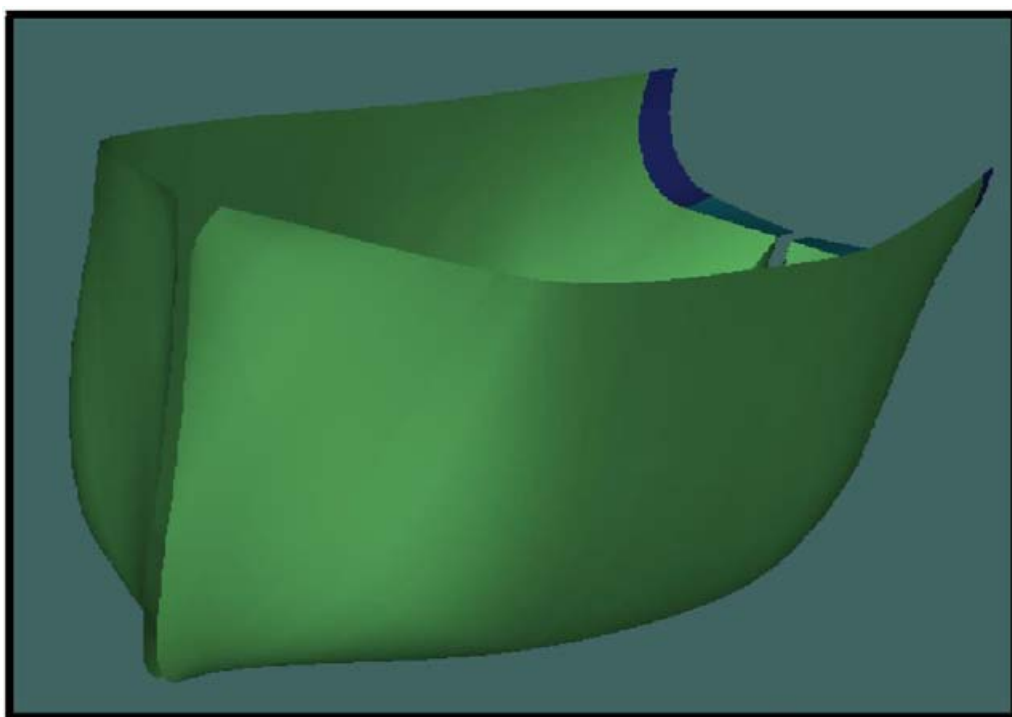


Figura 18, Modelo Formas en 3D.

Como vemos en la figura anterior, se modelo el casco sin bauprés ni arboladura. Este casco posee las siguientes dimensiones:

L_{TOTAL}	=	34.90 m
L_{WL}	=	31.96 m
B_{TOTAL}	=	8.11 m
$D_{Cub.Ppal.}$	=	6.29 m
T_{MAX}	=	4.38 m
Δ	=	763 ton.
C_b	=	0.665

La eslora total de la embarcación con bauprés incluido es de 44.3 m.

El plano de formas se encuentra en el anexo 1.

A partir del casco generado se obtuvieron los datos hidrostáticos del modelo, asignándose un centro de gravedad conveniente para el cumplimiento de los criterios de estabilidad tanto para el área bajo la curva de brazos adrizantes como para el valor mínimo de la altura metacéntrica, este fue tomado del ensayo de Límite de KG en el programa de arquitectura naval Hydromax. El ensayo de Límite de KG es efectuado para poder obtener un valor de la altura metacéntrica máxima para cumplir los criterios de estabilidad de acuerdo a la Autoridad Marítima.

- Análisis con trimado = 0m
- Densidad = 1.025 ton./m^3
- Máximo KG = 3.3m
- Calado máxima carga = 4.38m

4.1.2.- Hidrostáticas para calado máxima carga:

Calado en Sección Media (max. Carga)	4,38
Desplazamiento (ton)	764,30
Ángulo de Escora (+ a Eb)	0,00
Calado en Proa (m)	4,38
Calado en Popa (m)	4,38
Calado en LCF (m)	4,38
Trimado (+ a Proa) (m)	0,00
Eslora en Línea de Agua (m)	31,96
Manga en Línea de Agua (m)	8,00
Superficie Mojada (m2)	395,28
Área Línea de Agua (m2)	211,39
Coficiente Prismático	0,722

Coeficiente de Bloque	0,661
Coeficiente de Cuaderna Maestra	0,921
Coeficiente de Línea de Agua	0,826
LCB desde Sección Media. (+ a Proa) (m)	-0,519
LCF desde Sección Media. (+ a Proa) (m)	-0,821
KB (m)	2,45
KG (m)	3,30
BMt (m)	1,24
BML (m)	18,41
GMt (m)	0,40
GML (m)	17,57
KMt (m)	3,70
KML (m)	20,87

Tabla 2, (Datos Hidrostáticos)

Según Criterios generales de estabilidad sin avería para todos los buques, La altura metacéntrica inicial GM_0 no será inferior a 0,15m.

$$GMt = 0.402m > 0.15m$$

Recordar que estos cálculos están basados en un $KG = 3.3m$ de acuerdo al cálculo del límite de KG, el cual está sujeto a posibles cambios durante la distribución de pesos.

4.1.3.- Curvas Hidrostáticas y de Coeficientes.

Estas curvas se encuentran en los anexos 2 y 3 respectivamente.

4.2.- Estimación de Potencia.

El presente informe llevará a cabo el cálculo de Resistencia al Avance de la Barca “Hermann”, en la cual a daremos a conocer las características principales de la embarcación.

1. Plano de Líneas.
2. Características Principales:

- $L = 34,90 \text{ m}$
- $L_{WL} = 31,96 \text{ m}$
- $B = 8,11 \text{ m}$

- $D = 6,29 \text{ m}$
- $T = 4,38 \text{ m}$
- $\Delta = 763 \text{ ton}$
- $V_b = 6 \text{ kn}$

Primeramente se utiliza un software de Arquitectura Naval, el cual nos entregará las curvas de Resistencia/Velocidad y Potencia/Velocidad, a través del Método Numérico Holtrop-Mennem. Teniendo en cuenta que el método nos da la estimación de resistencia en aguas tranquilas para velocidades bajas, teniendo validez solamente hasta un número de Froude de 0,45.

4.2.1.- Curva de Resistencia/Velocidad

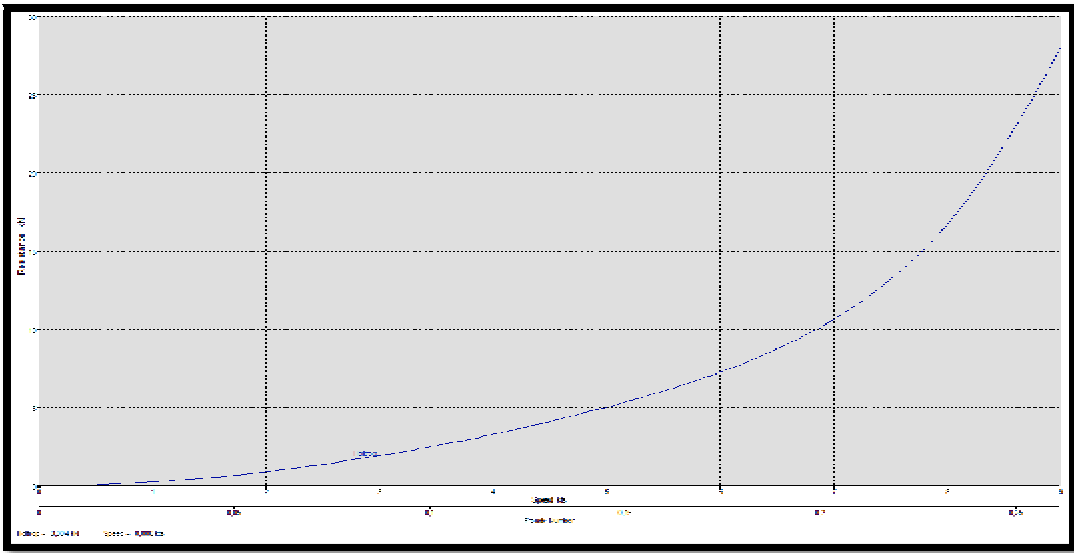


Figura 19, (Curva de Resistencia/Velocidad).

4.2.2.- Curva de Potencia/Velocidad

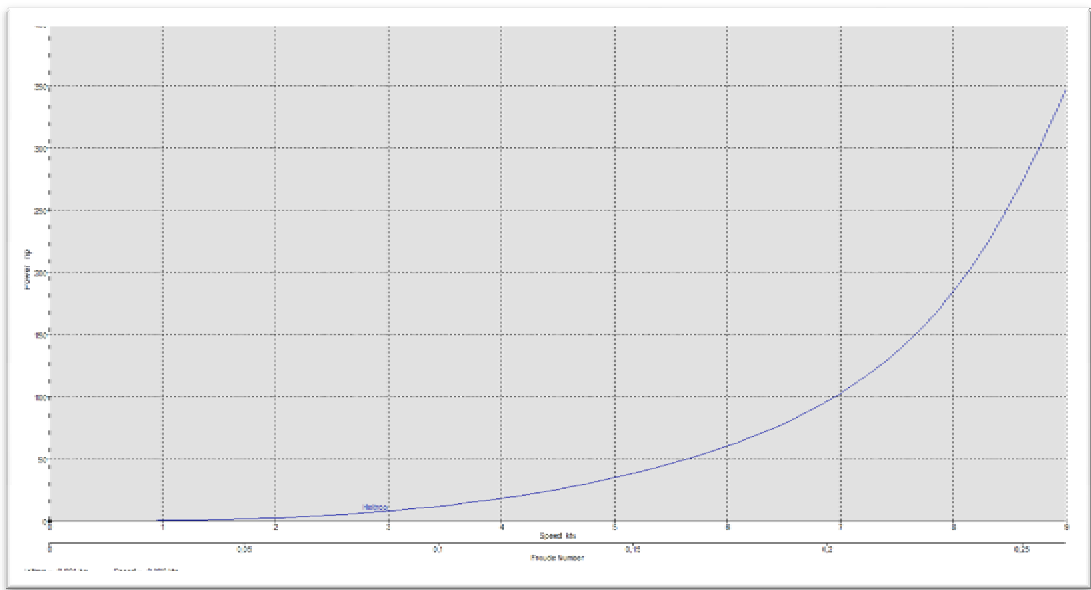


Figura 20, (Curva de Resistencia/Velocidad).

4.2.3.- Cuadro Resumen de las curvas.

Velocidad (kn)	1	2	4	6	7
Resistencia (kN)	0,90	3,3	7,26	16,72	28,01
Potencia (KW)	2,49	18,19	60,13	184,55	347,83

Tabla 3, (Cuadro de resumen de las Curvas).

Con los datos adquiridos anteriormente mediante el software, tomando como referencia la Velocidad de la embarcación ($V_b = 6 \text{ kn}$), obtendremos la potencia necesaria para que este pueda navegar a la velocidad solicitada.

Sin embargo para la búsqueda de un motor óptimo, se aumentará la potencia en un porcentaje adecuado. Todo esto seguido por el motivo del funcionamiento del motor, ya que debería funcionar a un 80% de su capacidad de carga.

Comprobación a través de fórmulas tomadas del apunte de Resistencia a la Propulsión para verificar los datos obtenidos del cálculo anterior hecho por el software.

Método a utilizar, Holtrop-Mennen que se definieron los datos a utilizar en un principio del informe.

$$R_{t_{NH}} = R_f + R_r$$

(1)

- $R_{t_{NH}}$

:

Resistencia Total casco desnudo
- R_f

:

Resistencia a la Fricción
- R_r

:

Resistencia Residual

$$R_f = \frac{1}{2} * \rho * S * V^2 * [C_f + C_a]$$

(2)

- ρ

:

$104,6 \left(\frac{kg * seg^2}{m^4} \right)$
- S

:

Superficie Mojada en agua tranquila (m^2)

- V : Velocidad del Barco ($\frac{m}{s}$)
- Cf : Coeficiente de fricción.

$$Cf = \frac{0,075}{(\log_{10}R_n - 2)^2}$$

(3)

$$R_n = \frac{V * L}{\nu}$$

(4)

Donde Rn, Número de Reynold

- V : Velocidad del Barco ($\frac{m}{s}$)
- L : Eslora de la Línea de agua (m)
- ν : Viscosidad cinemática de agua salada, a 15° C, $1,2226 \times 10^{-6}$ ($\frac{m^2}{s}$)

Por lo tanto:

$$Cf = 2,06148 \times 10^{-3}$$

- Ca : Factor de correlación.

Valores típicos de Factor de Correlación (Ca), se obtuvieron según P. Van Oossamen.

Lwl	Ca
12,5	0,00060
25,0	0,00055
31,96	0,000522
50,0	0,00045
100,0	0,00035

Tabla 4, (Cuadro Coeficiente Ca)

Superficie Mojada.

$$S_m = 402,6 \text{ m}^2$$

Por lo tanto:

$$R_f = 920,81 \text{ kg.}$$

Normalmente no se usa el factor de formas para ser agregado al C_f ya que los valores de R_r (Resistencia Residual) se supone que ya traen incluido el efecto de la R_{pv} (Resistencia por Presión Viscosa). Para este cálculo se usará para llegar a tener una mejor estimación de la resistencia.

Factor de Formas: $1+k$

$$1+k = 1,448$$

Este valor se multiplica con el C_f , para este caso en particular tenemos un incremento en el C_f de un 44,8%

Con el C_f , aumentado en un 44,8% procedemos al cálculo de la Resistencia por Fricción.

$$R_f = 1.250,4 \text{ kg}$$

A continuación se obtendrá el valor de R_r .

$$\frac{R_r}{\Delta} = C * e^{(m_1 * F_n^d + m_2 * \cos \lambda * F_n^{-2})} \quad (5)$$

$$C = 24,67$$

$$m_1 = -2,83$$

$$m_2 = -0,138$$

$$d = -0,9$$

$$F_n = 0,232$$

$$\lambda = 0,9227$$

$$\Delta = 763 \text{ ton.}$$

$$R_r = 522,45 \text{ kg}$$

Luego de obtener R_r , podremos tener el cálculo de la Resistencia Total del buque a casco desnudo.

$$R_t = 1.772,9 \text{ kg}$$

A modo de conclusión podemos determinar una diferencia de un 3,9 %, por lo cual se toma como R_t a casco desnudo el valor obtenido por el software ($R_t = 1704 \text{ kg}$)

4.3.- Selección del Motor.

Una vez obtenida la potencia total a través del método utilizado en el programa de arquitectura naval y por el método numérico de Holtrop-Mennen, para poder generar una velocidad crucero de 6 kn.

Con esta información podemos buscar y seleccionar el motor apropiado para la nave.

El motor seleccionado es el siguiente:

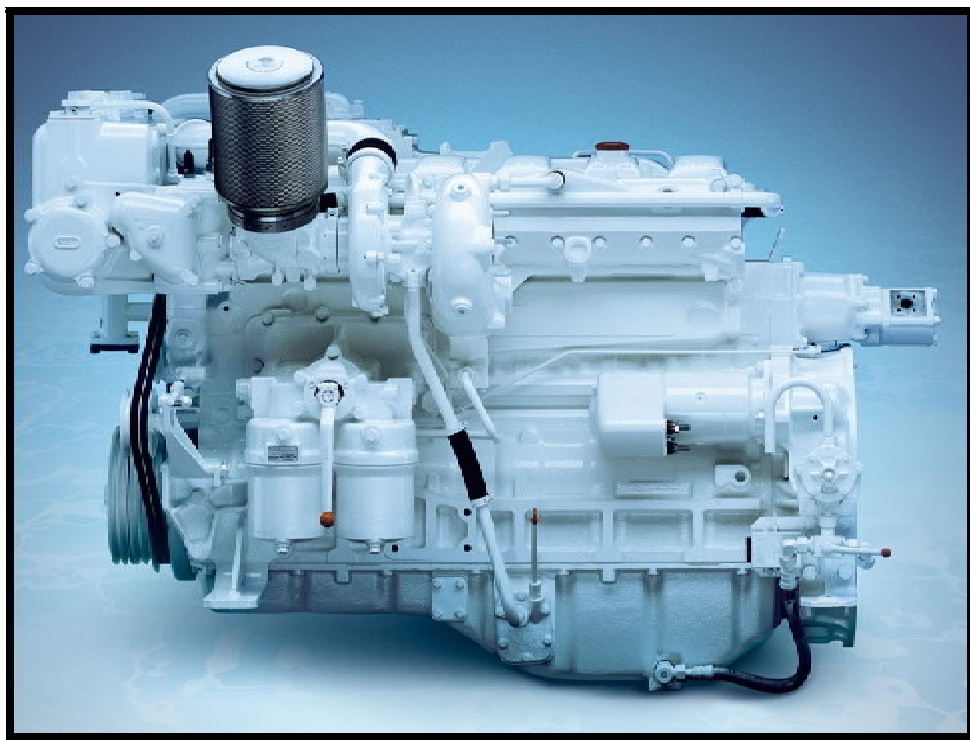


Figura 21, (Motor MAN D-2866-E)

Datos Motor MAN D-2866-E

Technical data D2866				
Type of engine		LXE40	LXE40	LXE40
Bore	mm	128	128	128
Stroke	mm	155	155	155
Displacement	l	11.97	11.97	11.97
Compression ratio		15.5:1	15.5:1	15.5:1
Rotation looking on flywheel		left	left	left
Flywheel housing		SAE1	SAE1	SAE1
Nominal rating ¹	kW (mhp)	190 (256)	250 (340)	279 (379)
Rated speed	rpm	1 800	1 800	1 800
Torque at rated speed	Nm	1 008	1 326	1 480
Maximum torque	Nm	1 070	1 406	1 564
at speed	rpm	1 400	1 500	1 500
Specific fuel consumption ²	g/kWh	210	207	206
Fuel consumption ²	l/h	48	69	89
Classifiable		✓	✓	✓
¹ The rating is according to DIN ISO 3046/I. ² Consumption at rated power.				

Figura 22, (Datos Motor MAN D-2866-E)

Medidas principales del Motor.

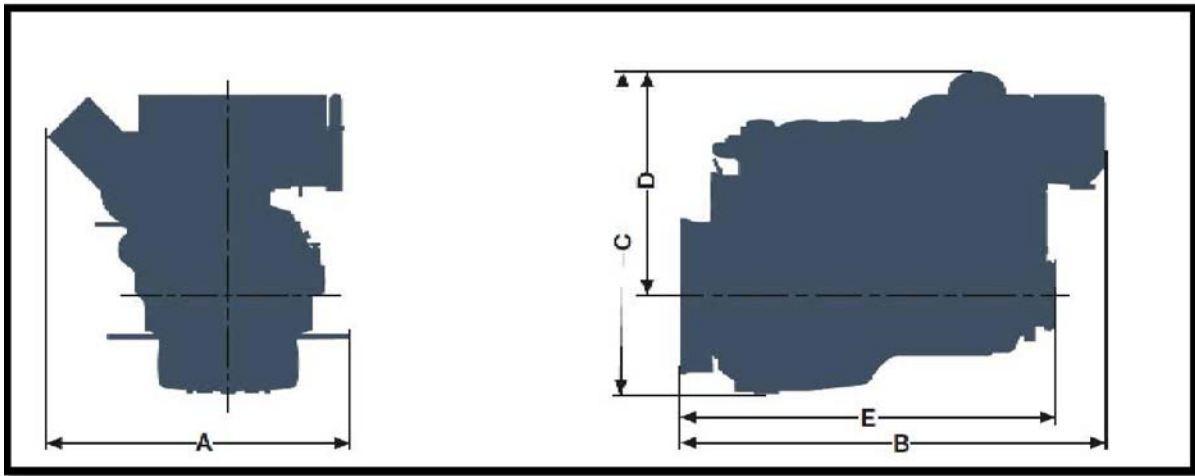


Figura 23, (Medidas Principales Motor MAN D-2866-E)

Dimensions D2866		
A-Overall length of engine	mm	1 448
B-Overall width of engine	mm	897
C-Overall height of engine - flat oil pan	mm	1 148
- deep oil pan	mm	1 357
D-Top of engine to crankshaft centre	mm	817
E-Length of engine from front end to edge of flywheel housing	mm	1 448
Average weight of engine ready for installation (dry)	kg	1 020
For detailed examinations of installation dimensions, please order drawings from our factory.		

Figura 24, (Medidas Principales Motor MAN D-2866-E)

Para conectar el eje porta hélice con el motor es necesario conectar una caja reductora, en esta ocasión utilizaremos una Twin Disc MG – 5114 SC con una reducción 3:1.



Figura 25, (Caja Reductora Twin Disc).

A continuación se presentará un plano en el cual se ve la posición longitudinal de los equipos en la sala de máquinas como es el caso del motor, caja reductora, etc.

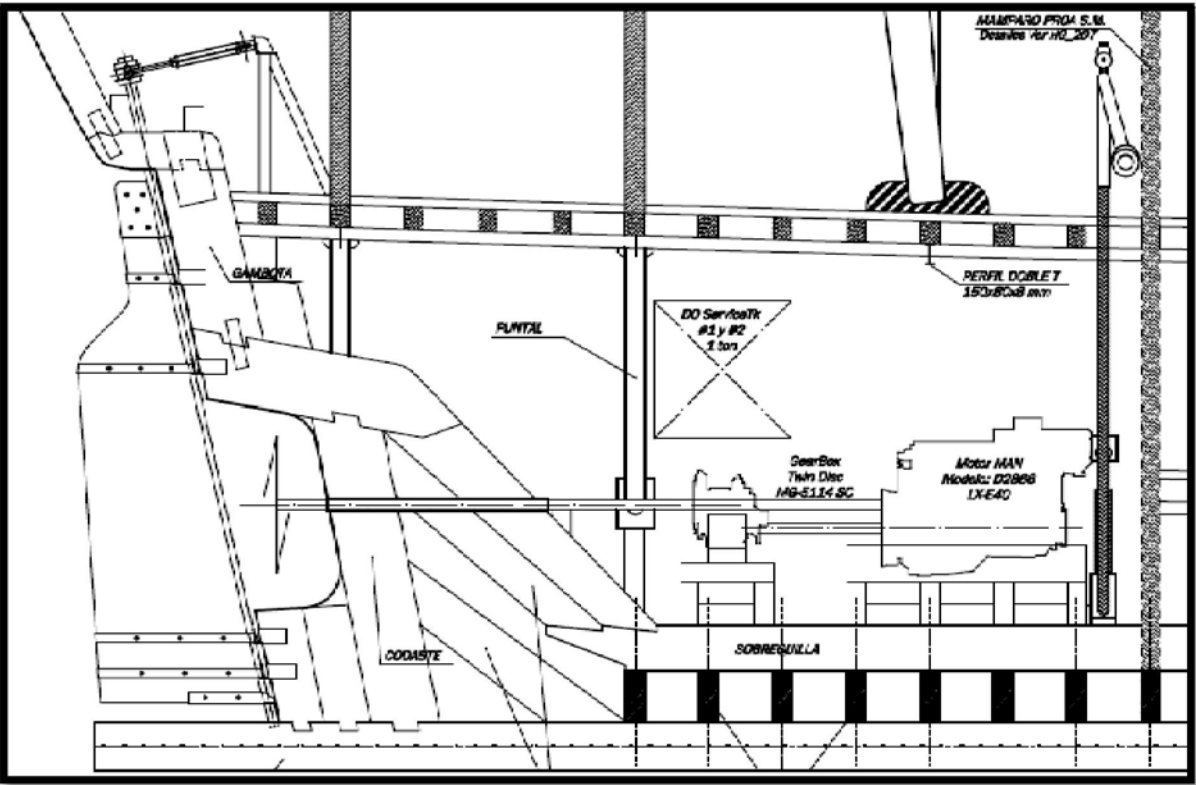


Figura 26, (Posición Long. De los Equipos)

4.4.- Cálculo del Propulsor.

Este se efectuará a través del programa POP (*Propeller Optimization Program*) de la Universidad de Michigan, del cual se puede obtener datos preliminares para el propulsor.

La mayor limitación del propulsor era el diámetro de éste, por lo que se tuvo que limitar a 1100 mm, razón por la cual no es el propulsor optimo, sin embargo para efectos de aproximación en los cálculos, es bastante valida. Estos datos arrojados por el programa son los siguientes.

Diámetro del Propulsor	=	1,1	m
Paso (Pitch)	=	0,76	m
RPM	=	600	
A _e /A _o	=	0,5028	

4.5.- Cálculo Sistema de Gobierno

Al realizar el cálculo del timón se tomará en cuenta un área específica, esta es de AR = 2,81 m², una vez obtenido este valor de área podemos comenzar a diseñar nuestro timón.

El timón que se usaba en esa época no es el habitual que poseemos hoy en día, por tanto siguiendo otros patrones de barcos llegamos a un modelo del siglo XIX, el cual mostramos en una imagen 2D y 3D.

4.5.1.- Resumen cálculo de timón.

El cálculo de fuerzas del timón es según los polinomios de THIEME, además de las recomendaciones dada por LAMB y COOK para el área mínima del perfil longitudinal del timón comprendida entre 1,6 a 1,9% de la eslora por el calado (L*T). En nuestro caso tenemos un área de 2,81 m², la cual corresponde al 2 %.

Siguiendo con lo planteado por THIEME, tenemos el siguiente resumen de cálculo.

Datos Timón:

A	=	2,65	=	Relación de Aspecto.
α	=	35°	=	Ángulo a calcular.
ρ	=	104.6 $\left(\frac{kg*s^2}{m^4}\right)$	=	Densidad del agua a 15°.
Área	=	2,81 m ²	=	Área lateral timón.

$$Rn = \frac{V_R \cdot \rho \cdot C}{\mu} = \text{Número de Reynold.}$$

$$V_b = 6 \text{ kn} = 3,0864 - \text{Velocidad del buque.}$$

$$V_R = K(1+S_a)V_b = \text{Vel. de entrada del flujo axial al timón.}$$

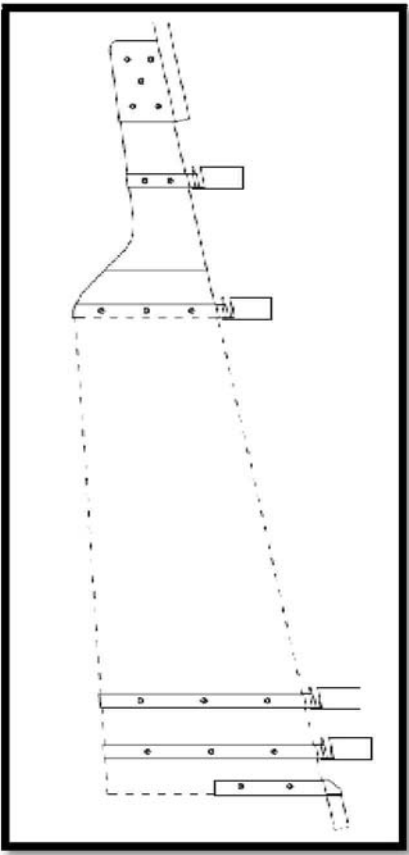


Figura 27, (Plano General del Timón)

Datos Hélice.

$$P = 0,76 \text{ m.} = \text{Paso.}$$

$$S_a = \frac{(P \cdot n - V_b)}{P \cdot n} = \text{Resbamiento hélice.}$$

$$n = 10 \text{ rps.} = \text{Revoluciones por segundo de la hélice.}$$

$$K = 0.8 = \text{Factor que depende de la carga de empuje, varía entre 0.8 para hélices de baja carga a 1.2 para hélices de alta carga.}$$

Una vez obtenido los datos necesarios podemos obtener los coeficientes para luego obtener las fuerzas de *LIFT* y *DRAG*, del timón en estudio.

$$C_L = 2\pi \frac{\Lambda(\Lambda + 0,7)}{(\Lambda + 1,7)^2} \sin \alpha + C_Q \sin \alpha |\sin \alpha| \cos \alpha$$

$$C_D = \frac{C_L^2}{\pi * \Lambda} + C_2 |\sin \alpha|^3 + C_{D0}$$

$$C_{Do} = 2,5 \frac{0,075}{(\log R_n - 2)^2}$$

El valor de C_Q según el autor es aproximadamente 1.

Por lo tanto a continuación se presentará el esquema de cálculos para las fuerzas que genera el timón. En este punto el ángulo al cual nos referiremos en los cálculos es de 35°, pero al realizar una estimación del ángulo de stall respecto al flujo mediante BALAU, para hélice dextrógira. Nos damos cuenta que el ángulo es menor como veremos a continuación, antes de proceder en el cálculo.

Estimación del Angulo de stall según BALAU.

$$\delta_{STALL} = 34 - 4*\Lambda \qquad \text{a Bb.}$$

$$\delta_{STALL} = 45 - 5,2*\Lambda \qquad \text{a Eb.}$$

$$\delta_{STALL} = 23,4^\circ \qquad \text{a Bb.}$$

$$\delta_{STALL} = 31,22 \qquad \text{a Eb.}$$

Datos Timón				Datos Hélice		
Λ	2.65			P	0,76	m
α	35°			n	10	rps
R_n	2021			S_a	1,41	
ρ	104,6	$\frac{kg * s^2}{m^4}$		k	0,8	
Área	2,81	m^2				
V_B	3,09	m/s				
V_R	5,94	m/s				

Tabla 5, (Datos del Timón y Hélice).

Por consiguiente obtenemos los valores de los coeficientes Lift (C_L) y Drag (C_D)

$$C_L = 1,96$$

$$C_D = 0,57$$

$$C_{Do} = 0,11$$

Una vez que obtenemos estos valores de coeficientes podemos obtener las fuerzas que genera el timón, para posteriormente diseñar el mecanismo a usar en esta embarcación.

En la imagen a continuación vemos las fuerzas resultantes en un perfil hidrodinámico, con una cierta velocidad y ángulo en el flujo de entrada.

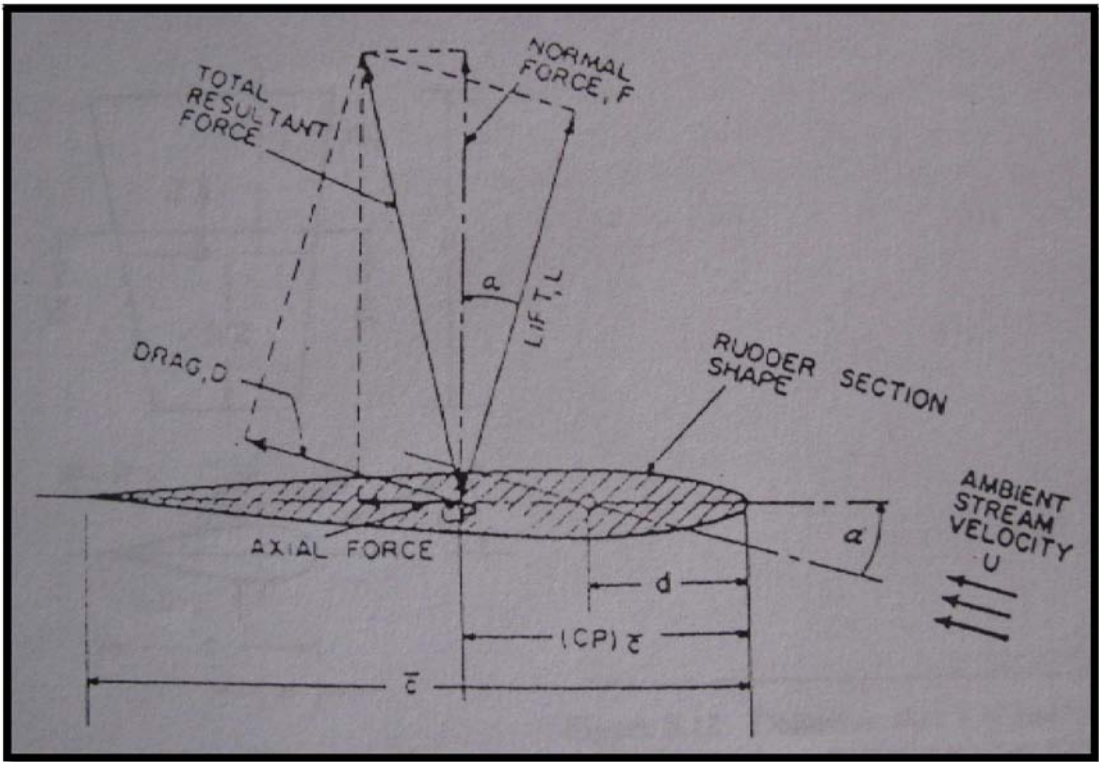


Figura 28, (Fuerzas Resultantes de un Perfil Hidrodinámico).

Fuerza de Sustentación o Lift (perpendicular al flujo)

$$F_L = \frac{1}{2} \rho A_R V_R^2 C_L$$

$$F_L = 10168 \, kg$$

Fuerza de Arrastre o Drag (tangente al flujo)

$$F_D = \frac{1}{2} \rho A_R V_R^2 C_D$$

$$F_D = 2965 \, kg$$

Para poder obtener el momento que se genera en la mecha del timón, necesitamos la Fuerza Normal al perfil, la cual se calcula de la siguiente manera.

$$F_N = F_L \cos \alpha + F_D \sin \alpha$$

$$F_N = 10030 \, kg$$

La distancia desde el centro de presión del timón al eje es de d=40 cm, por lo que el Momento Torsor a calcular es el siguiente.

$$M_T = F_N \cdot d$$

Luego de obtener este momento torsor, procedemos a buscar un par de cilindros hidráulicos para poder generar este torque.

El motivo por el cual se utiliza un par de cilindros hidráulicos en este sistema es por la seguridad que demanda tener a esta embarcación en los canales del río Valdivia.

El modelo que se busco y eligió es un JASTRAM ENGINEERING LTD., Steering Gear Model S2-50, Cylinder Model S-400-19, el cual genera un torque de 5 ton*m, suficiente para el momento requerido.

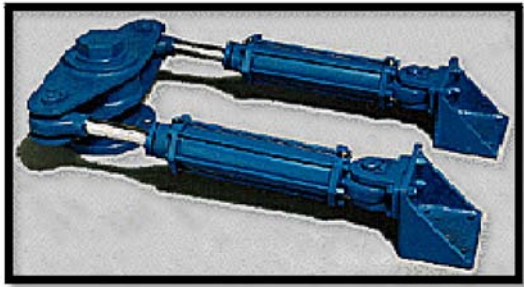


Figura 29, (Cilindros Hidráulicos para el sistema de gobierno)

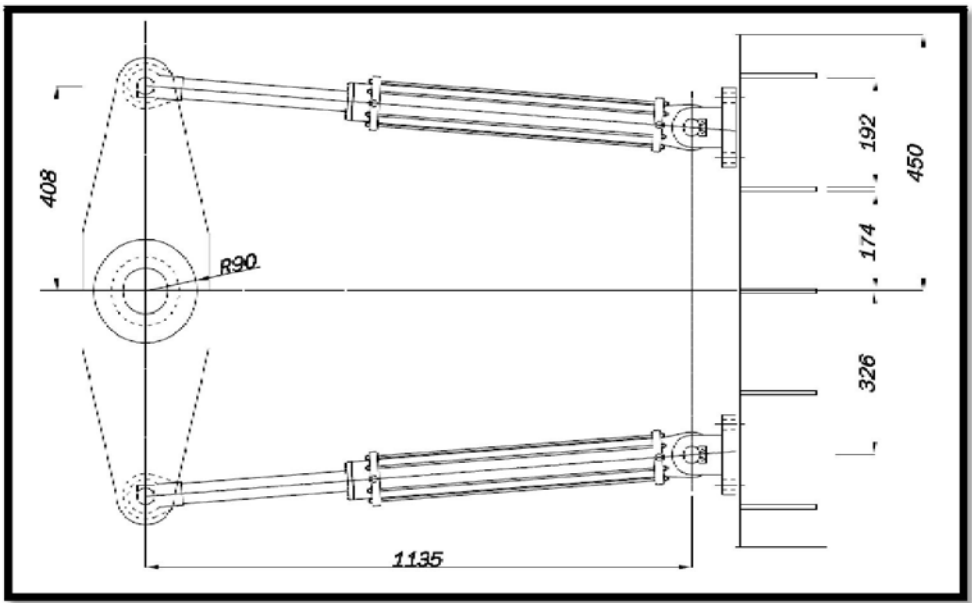


Figura 30, (Medidas Principales Cilindros Hidráulicos)

En la imagen que se ve a continuación, podemos ver el ángulo en el cual trabaja el cilindro, para contrarrestar el ángulo de la mecha del timón, y así poder trabajar en forma perpendicular a ésta.

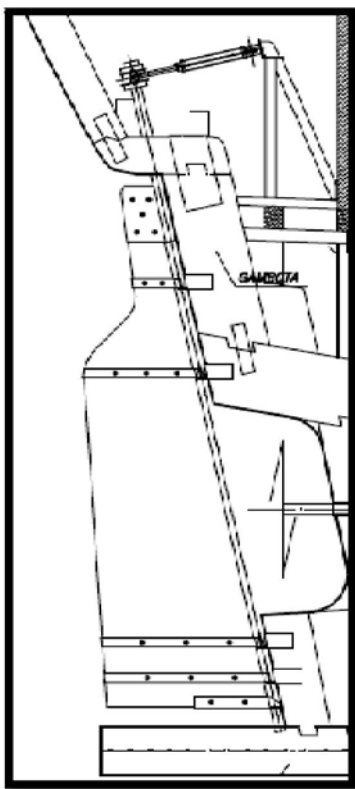


Figura 31, (Disposición general Sistema de Gobierno)

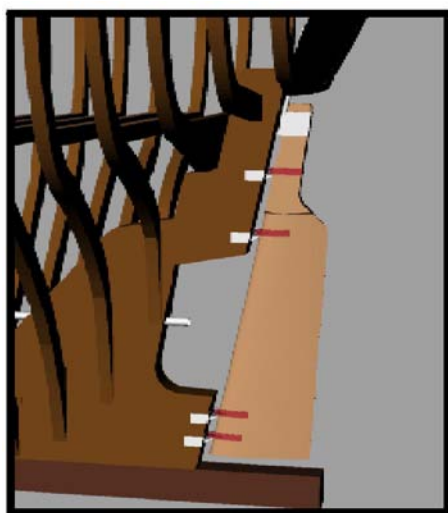


Figura 32, (Vista 3D Sistema de Gobierno)

Para este tipo de embarcación y la velocidad que desarrolla, no es necesario que el timón posea un perfil hidrodinámico, por lo que se puede claramente usar una plancha plana para el gobierno.

4.6.- Cálculo de Escantillonado.

El siguiente informe de escantillonado será obtenido a través de la Casa Clasificadora *Bureau Veritas* específicamente del *Reglamento para la Construcción y Clasificación de Buques de Pesca de Madera*.

Para hacer dicho cálculo de la estructura del barco es necesario tomar ciertas disposiciones generales que se detallarán a continuación:

Campo de Aplicación:

- 1. El presente Reglamento y sus tablas se aplican a buques de características normales, destinados a ser clasificados bajo vigilancia especial, con la marca F.
- 2. Los buques que tengan una eslora entre perpendiculares superior a 30 m., o cuyas dimensiones no permitan entrar en las tablas y gráficos o cuya estructura presente disposiciones no tradicionales, serán objeto, en cada caso, de un examen particular de la Administración.

Dimensiones Principales:

- 1. La eslora entre perpendiculares en la flotación en carga, desde la cara de proa de la roda al eje de la mecha del timón.
La eslora L, utilizada para determinar los escantillones, es igual al mayor de los dos valores siguientes: La eslora entre perpendiculares o los 7/8 de la eslora máxima (87,5%)
- 2. La manga B se mide en la sección transversal situada en el centro de la eslora entre perpendiculares. En esta sección se toma la manga máxima fuera de los miembros.
- 3. El puntal C se mide en la misma sección transversal que la manga. Es la distancia desde la cara superior del bao en el costado, hasta la horizontal que pasa por el canto inferior del alefriz de la quilla.
- 4. El puntal auxiliar H, medido como el anterior, es la altura entre la cara superior del bao en el costado y el punto del contorno fuera de miembros situado a una distancia del plano de crujía igual a un cuarto de la manga B.

4.6.1.- Memoria de Cálculo.

Características Principales:

Item	Dimensiones	Unidades
Eslora de Reglamento (L)	32,5	m
Manga de Reglamento (B)	8,11	m
Puntal de Reglamento (C)	6,29	m
Puntal Aux. de Regl. (H)	6,14	m

Tabla 6, (Dimensiones Generales de Escantillonado).

El escantillonado de los diversos elementos de la estructura, indicados en las tablas 2, 5, 7, 8 y 9, se deducen mediante un numeral N, igual al producto L x B x C de las tres dimensiones principales definidas anteriormente, expresado en metros cúbicos.

Las tablas de escantillonado se aplican a buques contruidos en roble, cuya densidad sea por lo menos igual a 0,70 con un 15% de humedad, que tengan formas normales y las siguientes relaciones entre dimensiones:

$\frac{L}{C} = 7$

$\frac{B}{C} = 2$

$\frac{H}{C} = 0,8$

Para los cascos con proporciones diferentes, el escantillonado será objeto de las correcciones definidas en las tablas y gráficos 3, 4 y 6, para determinar partes de la estructura.

Relaciones entre dimensiones del buque en estudio:

$\frac{L}{C} = 5,17$

$\frac{B}{C} = 1,29$

$\frac{H}{C} = 0,97$

El cálculo de Numeral N nos arrojo un valor de 1658 m³, para ingresar a las tablas de escantillonado.

PIEZAS PRINCIPALES

N	QUILLA		SOBREQUILLA		SECCIÓN TOTAL	RODA – CODASTE	
	Ancho cm	Altura cm	Ancho cm	Altura cm	cm ²	Ancho cm	Altura Cm
940 – 1030	29	36	32	31	2020	29	44
1030 - 1140	30	36	33	32	2140	30	45
1140 – 1250	31	37	34	33	2270	31	47
1250 – 1370	32	38	36	33	2400	32	48
1370 – 1480	33	39	37	34	2525	33	50
1480 – 1593	34	39	38	35	2652	34	51
1593 - 1706	36	40	40	36	2779	35	53

Sección obtenida 2880 m³

Tabla 7, (Piezas Principales).

CUADERNAS ARMADAS DOBLES

N	CUADERNAS Y VARENGAS		ALTURA DE LAS CUADERNAS En:			ALTURA DE LAS VARENGAS EN EL CENTRO
	Clara cm	Ancho cm	Cubierta cm	Pantoque cm	El pie cm	Con Sobrequilla cm
940 – 1030	54	13	14,5	21	25	33
1030 - 1140	54	13	15	21	25	34
1140 – 1250	55	14	15	22	26	35
1250 – 1370	56	14	16	22	27	36
1370 – 1480	57	14	16,3	23	28	37
1480 – 1593	58	15	17	23	28	38
1593 - 1706	59	15	17,2	23	29	40

Tabla 8, (Cuadernas Armadas Dobles).

FORRO EXTERIOR

N	ESPESOR		DESARROLLO	
	Forro ordinario cm	Forro Reforzado Cm	Cintas cm	Pantoque cm
940 – 1030	6,6	8,5	123	93
1030 - 1140	6,8	8,8	127	95
1140 – 1250	7,0	9,0	131	98
1250 – 1370	7,2	9,3	135	102
1370 – 1480	7,4	9,5	139	104,5
1480 – 1593	7,6	9,8	143	107,5
1593 - 1706	7,8	10,0	147	110,5

Tabla 9, (Forro Exterior).

DURMIENTES Y TRANCANIL (construcción con trancanil estrecho)

N	DURMIENTE		SOTADURMIENTE (Cada traca)		CONTRADURMIENTE		TRANCANIL
	Ancho cm	Altura cm	Ancho Cm	Altura cm	Ancho cm	Altura cm	Altura Cm
940 – 1030	26	10	26	8,2	17,5	11,5	8,2
1030 - 1140	27	10	27	8,5	18	12	8,5
1140 – 1250	28	10,5	28	8,8	18,5	12,5	8,8
1250 – 1370	29	10,5	29	9	19	12,5	9
1370 – 1480	30	10,75	30	9,15	19,5	13	9,3
1480 – 1593	31	10,95	30	9,32	20	13,35	9,57
1593 - 1706	32	11,15	31	9,57	20,5	13,7	9,84

Tabla 10, (Durmientes y Trancanil).

ESTRUCTURA DE LA CUBIERTA

N	BAOS ORDINARIOS			FORRO DE LA CUBIERTA
	Ancho Cm	Distancia media Cm	Distancia Máxima cm	cm
940 – 1030	22	81	104	6,5
1030 - 1140	22	81	104	6,5
1140 – 1250	23	82,5	104	6,5
1250 – 1370	24	84	104	6,5
1370 – 1480	24,5	84,75	112	6,8
1480 – 1593	25,2	85,8	112	6,8
1593 - 1706	26	86,85	112	7,0

Tabla 11, (Estructura de la Cubierta).

4.6.2.- Resumen Escantillonado

ITEM	GEOMETRÍA POR REGLAMENTO (hxb, etc)	GEOMETRÍA A UTILIZAR EN TERRENO (hxb, etc)
QUILLA	36x40 cm	36x40 cm
SOBREQUILLA	40x36 cm	40x36 cm
RODA	35x53 cm	35x53 cm
CONTRARODA	35x35 cm	35x35 cm
CODASTE	35x53 cm	35x53 cm
CUADERNA		
CLARA	59 cm	59 cm
ANCHO	15 cm	15 cm
ALTURA		
CUBIERTA	17,2 cm	17 cm
PANTOQUE	23 cm	23 cm
PIE	29 cm	29 cm
VARENGA		
ANCHO	15 cm	15 cm
ALTURA	40 cm	40 cm
BAO ORDINARIO		
ANCHO	26 cm	26 cm
DISTANCIA MEDIA	86,85 cm	87 cm
DISTANCIA MÁX.	112 cm	112 cm
DURMIENTE	32x11,15 cm	32x11,5 cm
SOTADURMIENTE	31x9,57 cm	31x9,5 cm
CONTRADURMIENTE	20,5x13,7 cm	20,5x13,5 cm
TRANCANIL	9,84x9,84	9,8x9,8 cm
FORRO CUBIERTA	7,0 cm	7,0 cm
FORRO EXTERIOR		

FORRO ORD.	7,8 cm	8 cm
FORRO REFOR.	10 cm	10 cm
DESARROLLO		
CINTAS	147 cm	150 cm
PANTOQUE	110,5 cm	110 cm
LONGITUDINALES	150x100 cm	150x100 cm

Tabla 12, (Resumen Escantillonado).

Nota1: la sección de la contraroda fue tomada del capítulo 5 (5-11 Roda, párrafo 3), en la cual especifica que la roda en caso de ser reforzada deberá tener una “contraroda” de sección cuadrada del mismo ancho que la roda.

Nota 2: La disposición de longitudinales de cubierta se ve en el capítulo 5 (5-41 Baos Ordinarios, párrafo 3-33 Disposición del apuntalado)

Nota 3: se adjunta un plano de detalles para cada pieza.

Para este caso se instalarán puntales, los cuales tienen el objetivo de disminuir el espacio no apoyado, y así evitar la flexión excesiva de los baos en los entrepuentes y cubiertas. El dimensionamiento del diámetro de este puntal, será del mismo ancho que el bao, y a continuación se presentan imágenes esquemáticas de las uniones entre los baos, longitudinales y dichos puntales.

Otro punto importante es la unión de las cuadernas con los puntales, este será hecho con una placa de acero en la cual a través de un perno atravesará en forma longitudinal a la cuaderna.

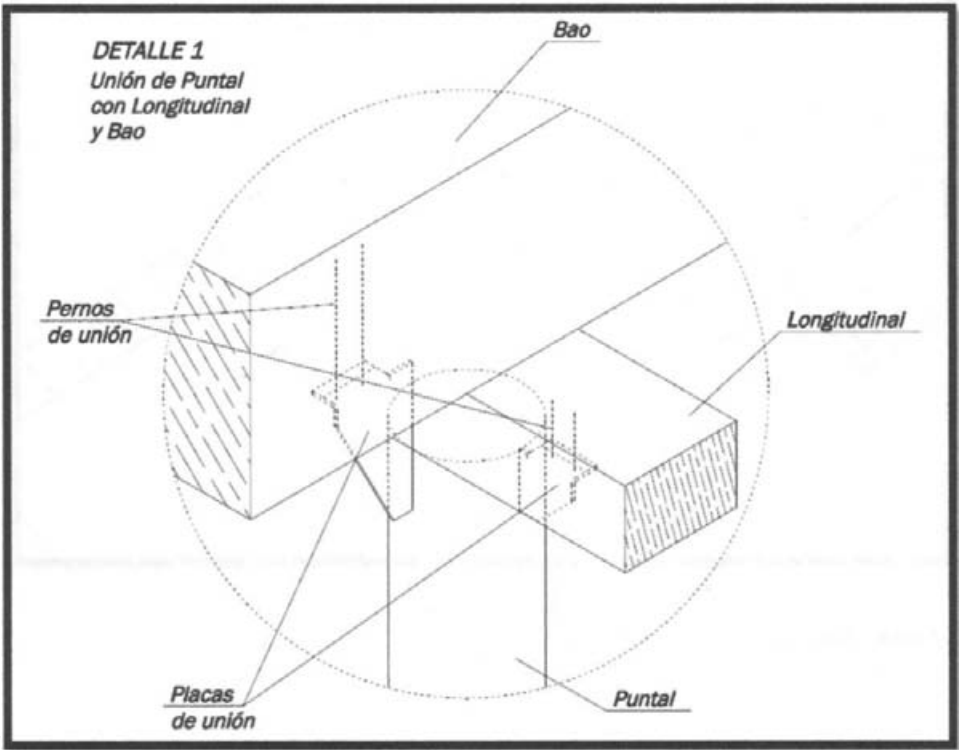


Figura 33, (Unión Puntal con Longitudinal y Bao).

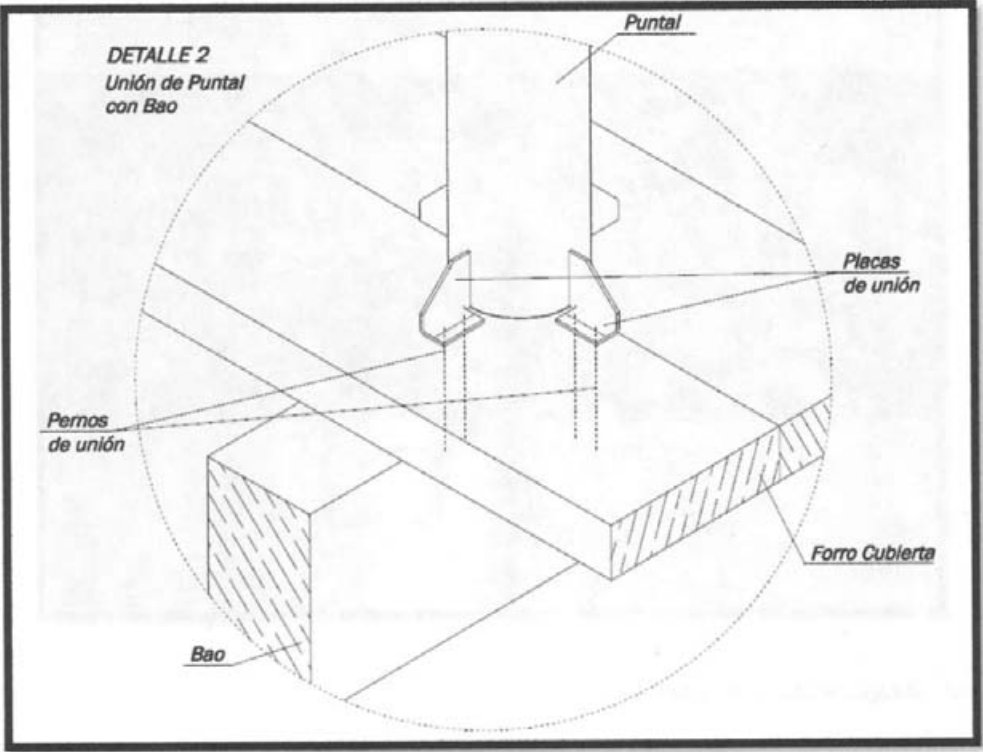


Figura 34, (Unión Puntal con Bao).

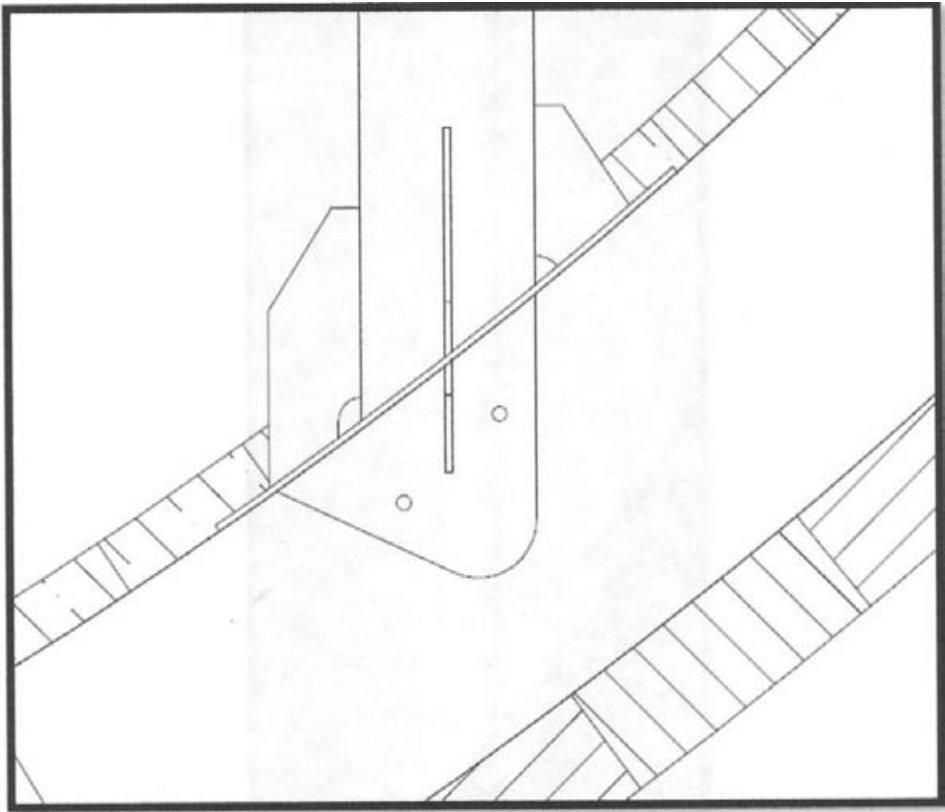


Figura 35, (Detalle llegada Puntal a Fondo Cuaderna).

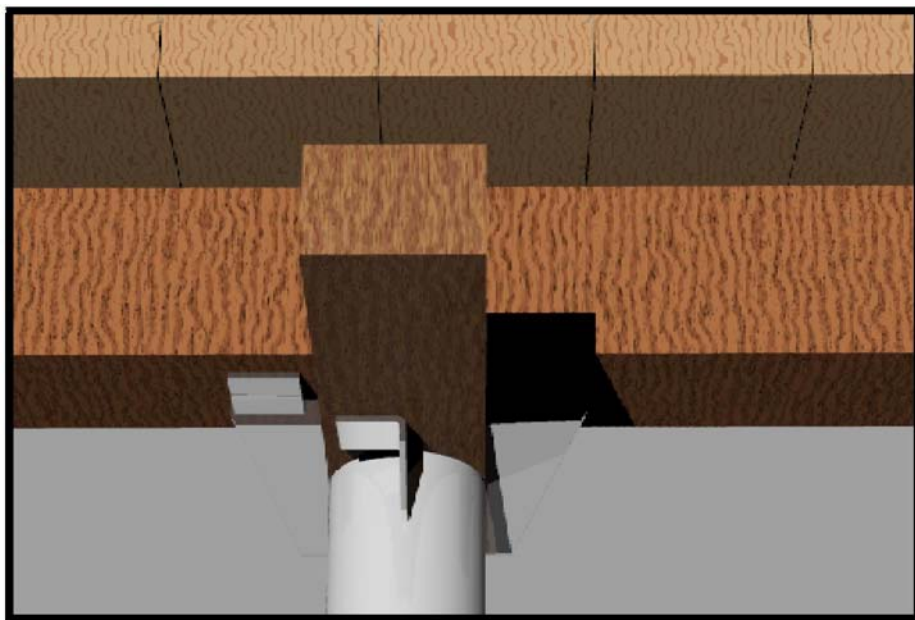


Figura 36, (Detalle llegada Puntal a Bao).

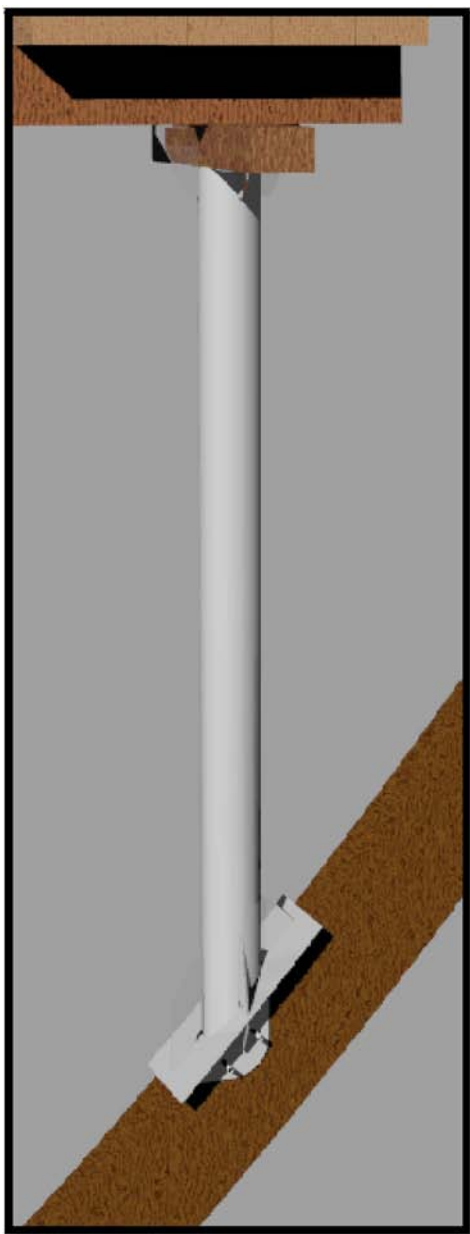


Figura 37, (Detalle Puntal).

4.6.3.- Principales elementos de unión

El escantillonado de estos elementos de unión están basados en la estructura correspondiente a la cuaderna maestra, los cuales se aplicarán de igual forma a la totalidad de cuadernas tanto hacia proa como a popa.

Los elementos de unión están calculados según el reglamento Bureau Veritas, escogiéndose el uso de pernos y clavos, todos dimensionados según este.

A continuación se entregan las dimensiones de las respectivas uniones, para mayor detalle véase el plano de cuaderna maestra y los de detalle.

4.6.3.1.- Quilla – Sobrequilla – Varenga

La unión de estos tres elementos será mediante un perno que los atraviese desde la sobrequilla hasta la quilla, pasando por la varenga, en la quilla se debe realizar una perforación inferior de diámetro mayor para fijar este con una correspondiente tuerca y luego sellar el orificio, recordar que el perno no sobresale de la quilla.

	Diámetro (mm)	Longitud (cm)
Perno	30	110

Tabla 13, (Dimensión Perno Unión Quilla-Sobrequilla).

4.6.3.2.- Trancanil estrecho

Deberá ir ligado a la cuaderna por medio de un perno horizontal que lo atraviese incluyendo el forro exterior. Además deber ir unido al bao y durmiente por medio de un perno vertical.

	Diámetro (mm)	Longitud (cm)
Perno (vertical)	20	64.5
Perno (horizontal)	14	37

Tabla 14, (Dimensión Perno Unión Trancanil-Cuaderna).

* La longitud de los pernos está basada en planos constructivos y es referencial, esta puede variar según cada cuaderna o las variables presentes en la construcción.

4.6.3.3.- *Durmiente*

El durmiente debe ir unido mediante un perno horizontal al contradurmiente, cuaderna y al forro exterior, además de un clavo que una solo al durmiente y cuaderna.

En el caso del segundo entrepuente, no hay contradurmiente por lo que el perno tomara una longitud diferente.

La unión vertical con el bao forma parte de la unión con el trancanil estrecho, siendo detallada anteriormente.

	Diámetro (mm)	Longitud (cm)
Perno (cubierta principal)	21	35 + ancho cuaderna
Perno (2º entrepuente)	21	50
Perno (1º entrepuente)	21	64
Clavo	21	25

Tabla 15, (Dimensión Durmientes).

* La longitud de los pernos está basada en planos constructivos y es referencial, esta puede variar según cada cuaderna o las variables presentes en la construcción.

* La longitud del perno de cubierta principal varía debido al cambio de geometría de cada cuaderna en la sección de las cintas.

4.6.3.4.- Contradurmiente

Este deberá ir unido verticalmente mediante un perno al bao además de una unión horizontal al durmiente, cuaderna y forro exterior la cual se encuentra explicada en la unión horizontal del durmiente.

	Diámetro (mm)	Longitud (cm)
Perno (cubierta principal)	20	54
Perno (1º entrepuente)	20	46

Tabla 16, (Dimensión Contradurmientes).

* La longitud de los pernos está basada en planos constructivos y es referencial, esta puede variar según cada cuaderna o las variables presentes en la construcción.

4.6.3.5.- Sotadurmiente

Cada sotadurmiente deberá unirse con dos clavos horizontales a la cuaderna y además la unión entre sotadurmientes y el sotadurmiente con el durmiente se realizara con dos clavos.

	Diámetro (mm)	Longitud (cm)
Clavo (vertical)	16	15
Clavo (horizontal)	16	21

Tabla 17, (Dimensión Sotadurmientes).

* La longitud del clavo vertical está basada en planos constructivos y es referencial, esta puede variar según las condiciones constructivas.

4.6.3.6.- Forro exterior

Deberá ir unido a la cuaderna mediante 2 clavos.

	Diámetro (mm)	Longitud (cm)
Clavo	17	22

Tabla 18, (Dimensión Forro Exterior).

4.6.3.7.- Forro interior

Deberá ir unido a la cuaderna mediante 2 clavos.

	Diámetro (mm)	Longitud (cm)
Clavo	17	11

Tabla 19, (Dimensión Forro Interior).

4.7.- Generación de la Arboladura.

Como mencionamos anteriormente, se trata de una embarcación del tipo “Barca”, que se define como *“Buque de tres o más mástiles, que lleva velas cuadras en los mástiles, y una vela cangreja (cuchillo) en la Mesana”*.

Para el diseño de los mástiles y vergas, no se cuenta con algún reglamento para poder realizar este cálculo, es por esto que se hizo una estimación del diámetro de este, mediante métodos de resistencia de materiales, al igual que el cálculo de los obenques.

Se procederá a realizar un listado con la nomenclatura de cada parte de la arboladura.

- *Mesana:* mástil que se encuentra más a popa de la embarcación.
- *Mayor:* mástil que se encuentra ubicado por lo general en el centro del barco, además de ser el más alto.
- *Trinquete:* mástil que se encuentra más a proa de la embarcación.
- *Bauprés:* es uno de los mástiles que sobresale entre 10° y 45° con la horizontal en proa, y sirve para sostener la arboladura del palo trinquete. Este está unido al casco y termina en otro palo llamado Botalón.
- *Botalón:* palo que ayuda a extender el bauprés.
- *Velas Cuadras:* estas se denominan según su disposición sobre el mástil.
- *Foques:* velas triangulares que se amuran en el bauprés y botalones.
- *Cangreja:* vela trapezoidal que se ubica en el mástil de mesana.

- *Jarcias Móviles:* o de labor, son cabos o cuerdas que pueden maniobrase.
- *Jarcias Fijas:* o muertas, es el conjunto de cables o cabos que se disponen a mantener fijos y tensados a los mástiles, en forma lateral.
- *Obenques:* cables o cabos que sujetan la cabeza de los masteleros y van a la banda de la embarcación.
- *Cofa:* cada uno de los cabos horizontales que, unidos a los obenques, a una distancia de alrededor de 0,5 metros, sirven de escala para que los tripulantes puedan subir a realizar maniobras en lo alto del palo.

Cada uno de los mástiles esta seccionado, por lo general en 3 partes. En la unión de estos se instala una Cofa, además de sus respectivos obenques que pasan por las cofas. En la siguiente imagen se mostrará la disposición de un mástil típico seccionado en 3 partes.

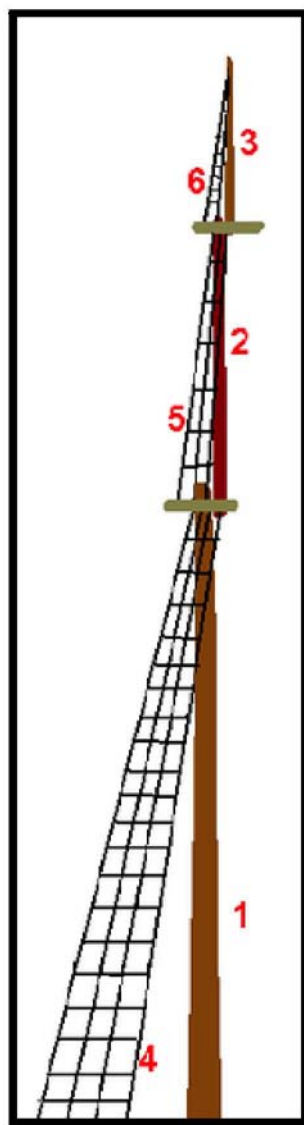


Figura 38, (Distribución de Arboladura).

1. Palo Macho.
2. Mastelero.
3. Mastelerillo.
4. Obenque de Palo Macho.
5. Obenque de Mastelero.
6. Obenque de Mastelerillo.

- **Vergas:** se llama verga de un mástil a las perchas perpendiculares de los mástiles de una embarcación a vela, en éstas vergas se aseguran los gratiles de las velas.



Figura 39, (Vergas típicas de un mástil).

Estas poseen distintos nombres para poder diferenciar las distintas vergas que existen en estos tipos de naves.

A continuación presentaremos un listado de los distintos nombres de vergas separadas por cada palo.

Comenzaremos a nombrar desde la cubierta hacia el extremo superior del palo.

- Palo Mesana
 - § Verga seca de Mesana.
 - § Verga de Gavia.
 - § Verga Juanete.
 - § Verga Juanetillo.
- Palo Macho
 - § Verga Mayor.
 - § Verga Gavia Baja.
 - § Verga Gavia Alta.
 - § Verga de Juanete.
 - § Verga de Sobrejuanete.
- Palo Trinquete
 - § Verga Trinqueta.
 - § Verga Gavia Baja.
 - § Verga Gavia Alta.
 - § Verga de Juanete.
 - § Verga de Sobrejuanete.

Luego de nombrar las partes más relevantes de la arboladura, se procede a realizar un cálculo básico para la obtención de las principales medidas de los mástiles. Este se realizará mediante resistencia de materiales, se tomará como datos de entrada, una velocidad de viento de 30 kn.

Con esta velocidad de viento se estima una fuerza de 6000 kg. con un velamen de 400 m² aproximadamente. Se utiliza esta cantidad de metros cuadrados por seguridad, ya que la embarcación es muy difícil que pueda navegar con un viento a la cuadra, ya que sería esta posición de navegación en la que quede expuesto los 400 m² de vela.

Mediante el diseño preliminar de la arboladura y velamen, se estima un centro de presión de 9,9 m sobre cubierta. Para este caso y con un diagrama de cuerpo libre (DCL),

obtenemos un momento flector de 5940000 kg*m, el cual evaluamos mediante esfuerzo de flexión. Este último tiene como valor máximo del esfuerzo de fluencia de 950 kg/m².

$$\sigma_F = 950 \frac{kg}{cm^2}$$
$$\sigma_F = \frac{32 M_F}{\pi d^3}$$
$$\therefore 950 = \frac{32 * 5940000}{\pi d^3}$$
$$d = 39,9 \text{ cm}$$

Resumen de los 3 mástiles, los diámetros van respecto a una referencia del mástil del palo mayor.

Palo Macho Mayor	
<i>Ø inicial</i>	<i>= 400 mm</i>
<i>Ø Final</i>	<i>= 320 mm</i>
<i>Largo</i>	<i>= 13.2 m</i>
<i>Angulo de inclinación medido desde cubierta</i>	<i>= 92 °</i>
Palo Mastelero Mayor	
<i>Ø inicial</i>	<i>= 330 mm</i>
<i>Ø Final</i>	<i>= 250 mm</i>
<i>Largo</i>	<i>= 10.65 m</i>
<i>Angulo de inclinación medido desde cubierta</i>	<i>= 92 °</i>
Palo Mastelerillo Mayor	
<i>Ø inicial</i>	<i>= 250 mm</i>
<i>Ø Final</i>	<i>= 150 mm</i>
<i>Largo</i>	<i>= 8.2 m</i>
<i>Angulo de inclinación medido desde cubierta</i>	<i>= 92 °</i>

Figura 40, (Dimensiones Palo Mayor).

Palo Macho	
Mesana	
<i>Ø inicial</i>	= 380 mm
<i>Ø Final</i>	= 360 mm
<i>Largo</i>	= 11.4 m
<i>Angulo de Inclinación medido desde cubierta</i>	= 97°
Palo Mastelero	
Mesana	
<i>Ø inicial</i>	= 300 mm
<i>Ø Final</i>	= 200 mm
<i>Largo</i>	= 11.7 m
<i>Angulo de Inclinación medido desde cubierta</i>	= 97°

Figura 41, (Dimensiones Palo Mesana).

Palo Macho	
Trinquete	
<i>Ø inicial</i>	= 350 mm
<i>Ø Final</i>	= 300 mm
<i>Largo</i>	= 11.2 m
<i>Angulo de Inclinación medido desde cubierta</i>	= 90°
Palo Mastelero	
Mesana	
<i>Ø inicial</i>	= 300 mm
<i>Ø Final</i>	= 250 mm
<i>Largo</i>	= 9.6 m
<i>Angulo de Inclinación medido desde cubierta</i>	= 90°
Palo Mastelero	
Mesana	
<i>Ø inicial</i>	= 250 mm
<i>Ø Final</i>	= 120 mm
<i>Largo</i>	= 8.2 m
<i>Angulo de Inclinación medido desde cubierta</i>	= 90°

Figura 42, (Dimensiones Palo Trinquete).

Para la determinación de los obenques, también se realizará mediante resistencia de materiales, es ente caso se obtiene el ángulo ($\alpha=22^\circ$) formado entre el mástil y el obenque.

Por lo tanto la fuerza con la cual se mantendrá en forma recta el mástil con una velocidad de viendo de 30 kn. es de 16016 kg, una vez que se obtiene este valor podemos dimensionar los obenques, lo cuales serán de cables de acero inoxidable. En este cálculo es

evidente que obtendremos valores de diámetros pequeños, por lo cual se tendrán en cuenta alrededor de 3 obenques por mástil, aunque por diseño se tienen de 4 a 7 obenques. Es decir que quedarán entre 1 a 4 obenques que serán de cabos simplemente, pero que también logran un gran aporte en el soporte del mástil.

El esfuerzo de tracción del cable de inox es de $\sigma_T = 160 \frac{kg}{mm^2}$.

Mediante la expresión $\sigma_T = \frac{P}{A}$ de resistencia de materiales, obtenemos los siguientes valores.

Para 1 obenque, el diámetro es de 11,3 mm, y para 3 obenques el diámetro es de 3,8 mm, aproximadamente. Como vemos los valores que nos dan son aproximados, por lo que ocuparemos un diámetro de 5 mm para cada obenque.

A continuación se anexan los siguientes planos:

1. Plano de Arreglo General.
2. Planos Curvas Hidrostáticas y Coeficientes.
3. Plano de Cuaderna Maestra.
4. Plano de Secciones Típicas.
5. Plano de Arboladura:
 - a. Plano de Mástiles.
 - b. Plano de Vergas.
 - c. Plano del Bauprés.
 - d. Plano de Maniobras.

5.- Conclusión.

Hoy en día la construcción en madera es poco habitual para embarcaciones de este tamaño, sin embargo aun quedan artesanos o artistas para el diseño y construcción, limitándose a embarcaciones de pesca, o yates de lujo, etc.

Sí bien con toda la tecnología actual se pueden generar enormes proyectos, este conlleva una dificultad mayor, la construcción de las cuadernas, las cuales serían las más complicadas, por la importancia de estas en el sentido de las fibras y además de cualquier parte estructural de la embarcación. ¿Por qué la dificultad?, podemos ver como se encuentra las fibras por fuera de la madera pero ¿Qué pasa interiormente?, son las dificultades máximas de este tipo de construcción.

La explotación del bosque nativo nos lleva a otra dificultad, necesitamos las maderas exactas, para determinados puntos. Es por esto que una opción de construcción son las maderas laminadas, las cuales podemos generar casi cualquier tipo de curvatura e ir inspeccionando su construcción y así su resistencia estructural.

La mayor parte de la madera usada en embarcaciones es para terminaciones de lujo en yates de placer, tales como la teca, roble, caoba y muchos otros.

Las partes estructurales se refuerzas con epoxi, con la cual se logra una mayor durabilidad de la madera en uso.

Un punto importante en resaltar, son los mástiles, los cuales no pueden tener nudos ni mucho menos poseer curvaturas, lo que hace muy difícil su construcción.

Las maderas que se emplean en la construcción de estas embarcaciones son escasas por lo que aumentan en precio, por lo que no son muy convenientes de proyectar en naves mayores.