

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO PRELIMINAR DE UN CATAMARÁN PARA
SERVICIO TURÍSTICO EN MAR PERUANO**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO NAVAL**

AUGUSTO FERNANDO SALAZAR SILVA

PROMOCIÓN 2007 - II

LIMA-PERÚ

2013

ÍNDICE

PRÓLOGO

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1	ANTECEDENTES	2
1.2	OBJETIVOS	3
1.3	JUSTIFICACIÓN	3
1.4	ALCANCES	4
1.5	LIMITACIONES	4

CAPÍTULO 2

CONSIDERACIONES PRELIMINARES

2.1	ALCANCE DEL PROYECTO	5
2.2	REQUERIMIENTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO	7
	2.2.1. Zonas de Recorridos	7
	2.2.2. Condiciones Ambientales	8
	2.2.3. Requerimientos propios de Catamarán	9
2.3	RESTRICCIONES DEL DISEÑO	9

CAPÍTULO 3

DISEÑO CONCEPTUAL

3.1	REQUERIMIENTO DE ÁREA DE CUBIERTA Y DIMENSIONES	11
3.2	DISPOSICIÓN GENERAL	19
3.3	ESTIMACIÓN CONCEPTUAL DE POTENCIA DE PROPULSIÓN	21
3.4	ESTIMACIÓN DE PESOS	23
3.4.1	Peso de Casco y Superestructura	23
3.4.2	Peso de Combustible y Agua	24
3.4.3	Peso Total	25
3.5	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO CONCEPTUAL	27

CAPÍTULO 4

DISEÑO PRELIMINAR

4.1	DESARROLLO DE LÍNEAS DE FORMAS Y CÁLCULOS HIDROSTÁTICO	28
4.1.1	Características Principales	34
4.1.2	Curvas Hidrostáticas	34
4.1.3	Resumen de Cálculos Hidrostáticos y Comparación con el Diseño Conceptual	36
4.1.4	Disposición General	36
4.2	CÁLCULO ESTRUCTURAL	39
4.2.1	Estructura de Unión entre cascos	47

4.2.2	Pesos Estructurales	49
4.3	ESQUEMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES	51
4.3.1	Sistema de Agua dulce	51
4.3.2	Sistema Eléctricos	53
4.3.3	Sistema de Gobierno	55

CAPÍTULO 5

SEGUNDA FASE DEL DISEÑO PRELIMINAR

5.1	CÁLCULO DE RESISTENCIA Y PROPULSIÓN	56
5.2	ESTIMACIÓN DE COSTOS	61

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

ρ	Densidad
∇	Volumen de carena
Δ	Desplazamiento en toneladas
ζ	Amplitud de ola
AR	Área proyectada de la pala
B	Manga de semicasco
BHP	Potencia al freno
BML	Radio metacéntrico longitudinal
BMT	Radio metracéntrico transversal
C _b	Coefficiente de bloque
CG	Centro de gravedad
C _p	Coefficiente prismático
C _w	Coefficiente de plano de agua
C _m	Coefficiente de sección media

D	Puntal
Δ	Desplazamiento
F_n	Número de Froude
ft	Pies (feet)
g	Aceleración de la gravedad
gal	Galones
GM	Altura metacéntrica
h	Hora
Hum	Humedad
I	Inercia total
KB	Posición vertical del centro de boyantez
KG	Posición vertical del centro de gravedad
KML	Altura del metacentro longitudinal
KMT	Altura del metacentro transversal
kn	Nudos (knots)
KW	Kilovatios
L	Eslora

lb	Libras
LCB	Posición longitudinal del centro de boyantez
LCF	Posición longitudinal del centro de flotación
LCG	Posición longitudinal del centro de gravedad
L_{pp}	Eslora entre perpendiculares
L_w	Eslora de flotación
m	Metros
m/s	Metros sobre segundo
mm	Milímetros
MS	Módulo seccional (SM)
OMI	Organización Marítima Internacional
P/D	Paso / Diámetro
Re	Número de Reynolds
RPM	Revoluciones por minutos
S	Ancho de la estructura de unión transversal
SHP	Potencia al eje
SM	Superficie mojada

T	Calado
t	Espesor del estructural
TCB	Posición transversal del centro de boyantez
Ton	Toneladas
USD	Dólar norteamericano
V	Velocidad
VCB	Posición vertical del centro de boyantez
W	Peso del Catamarán
X	Distancia desde popa (AP) hasta el punto donde se quiere realizar el análisis

PRÓLOGO

En el presente trabajo se desarrollan dos niveles de diseño: Conceptual y Preliminar. Se pone especial énfasis en el dimensionado del casco, cálculo estructural, la estimación de la resistencia y cálculo propulsivo.

El primer capítulo trata temas referentes a los antecedentes históricos, objetivos, justificación, alcances, y limitaciones del presente trabajo.

El segundo capítulo presenta conocimientos y consideraciones previas que se deben tener antes de comenzar con el diseño y que servirán como punto de partida de éste.

El tercer capítulo trata de un diseño conceptual basado principalmente en datos históricos y concluye con un análisis de los resultados.

El cuarto capítulo comprende un reajuste del diseño anterior asistido por software, seguido del diseño de algunos sistemas del buque

El quinto capítulo abarca una comprobación del diseño del casco en base a la cual le sigue el diseño final de la propulsión.

Al final se presentan las conclusiones y las recomendaciones.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.- ANTECEDENTES

Actualmente en el Perú existen numerosos propietarios de embarcaciones de recreo, de los cuales, muchos de ellos les dan un uso particular y solo unos cuantos prestan servicios de renta para travesías cortas. La gran mayoría de estas embarcaciones son del tipo monocasco y hechos de fibra de vidrio; la minoría restante consiste en yates de tipo catamarán (doble casco) hechos también de fibra de vidrio.

El mercado de la construcción de catamaranes en el Perú lo lidera Sudamerican Cats E.I.R.L., empresa en la cual el autor de este trabajo tuvo el honor de laborar unos años atrás. Esta empresa emplea material compuesto (fibra de vidrio, resina y espuma de PVC) en la construcción de estos yates, sin embargo, en 2006 el astillero Maggiolo construyó el Spondylus, un catamarán de acero naval para travesía corta y con una configuración de pasajeros tipo bus.

1.2 OBJETIVOS

Dado que a nivel nacional no hay mucha experiencia previa sobre este tipo de embarcación, el objetivo principal de este trabajo es diseñar, en forma preliminar, una embarcación de tipo catamarán con casco de acero, adecuado para proveer servicio turístico en el mar peruano en largas travesías, con una acomodación adecuada para 20 pasajeros, 6 tripulantes y el Capitán y con un eficiente consumo de combustible.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La industria turística del Perú requiere de alternativas en el diseño de sus embarcaciones, para reducir costos de operación (combustible), y aminorar problemas de estabilidad, y una de las opciones para lograr estos objetivos es la de emplear catamaranes. Además de las ventajas mencionadas, la utilidad de este tipo de embarcaciones es que tiene más área de cubierta para la misma eslora.

Cabe mencionar también que los diseños construidos actualmente por Sudamerican Cats son de diseño holandés y con eslora de hasta 58 pies únicamente. El diseño de un catamarán para travesías largas en mar peruano hará posible el turismo marítimo, en una misma excursión, por diversas reservas marítimas naturales de nuestro país desde los más conocidos, como

las Islas Ballestas, hasta las no muy visitadas y muy bellas, como las Islas Huampanú, Loberas y Mazorca.

1.4 ALCANCES

Cabe resaltar con cierta redundancia que los cálculos, esquemas y planos que conlleva el diseño mostrado en este informe solo alcanzan el nivel de un diseño preliminar, mas no un diseño final detallado, el cual se efectúa cuando ya se tiene la aprobación del presupuesto por parte del armador en respuesta al diseño preliminar.

1.5 LIMITACIONES

Para la elaboración de este informe se emplearon datos técnicos históricos de otros catamaranes obtenidos de un papel adquirido legalmente del SNAME, así como también nomas técnicas del ABS para embarcaciones de acero menores de 90 m de eslora.

Se emplearon además los siguientes programas computacionales:

AutoCAD

Rhinoceros

Maxsurf (Maxsurf Pro, Hydromax, Hullspeed)

Microsoft Excel

CAPÍTULO 2

CONSIDERACIONES PRELIMINARES

2.1 ALCANCE DEL PROYECTO

En el diseño de embarcaciones tipo Catamarán no hay muchas experiencias previas en el medio, por lo que el proceso de planear las secuencias de trabajo será fundamental. Para este estudio se va aplicar la espiral de diseño convencional, tal como se describe en "*Ship Construction*", [1], pág. 4

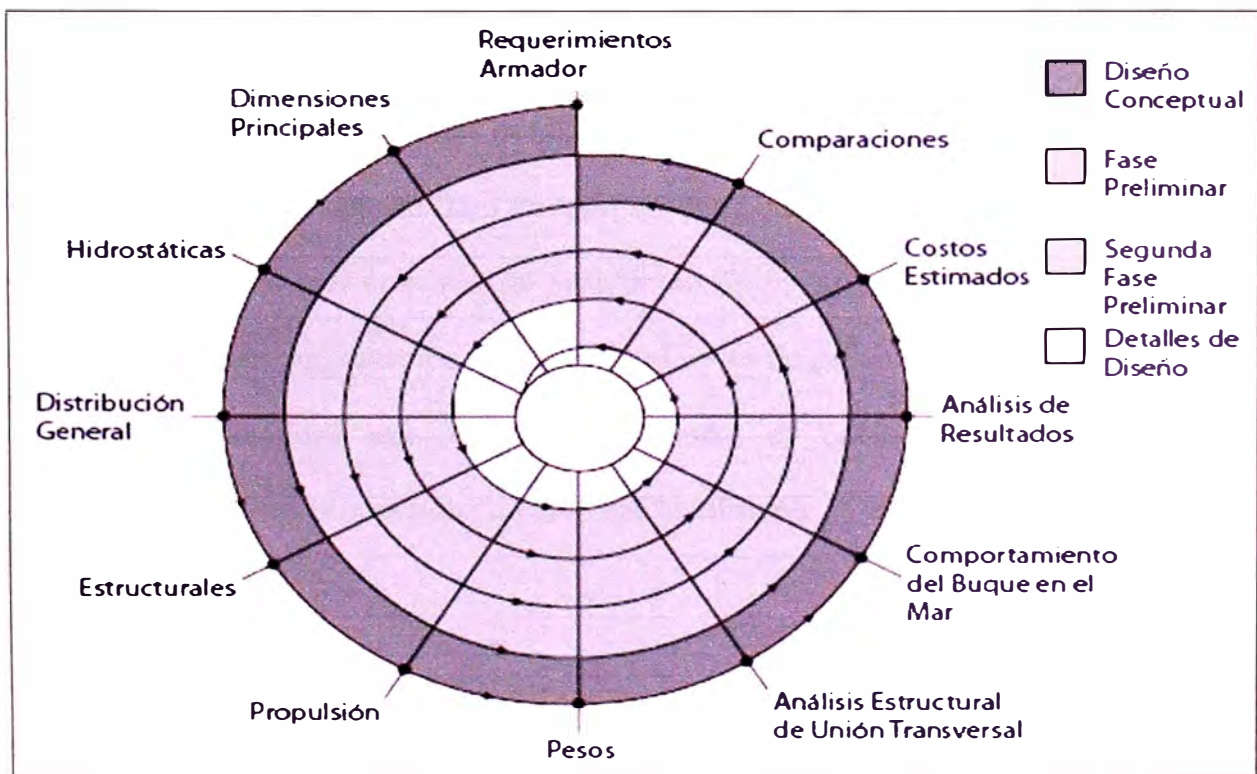


Figura 2.1 Espiral de diseño

En este trabajo se desarrollarán las fases de diseño conceptual y preliminar siguiendo la espiral de diseño, en las cuales se incluirán los siguientes aspectos:

Fase conceptual: Determinación de las dimensiones principales, preparación de una distribución general inicial, estimación de pesos y de propulsión, y para concluir esta fase se hará un análisis de los resultados obtenidos y se determinará los cambios a realizarse en la siguiente fase.

Primera fase del diseño preliminar: Se obtendrán las formas de la embarcación y se desarrollarán los cálculos hidrostáticos, luego se incluirá una mejora en la distribución general respecto del diseño conceptual, se desarrollarán también los cálculos estructurales, y por último se esquematizarán los diferentes sistemas auxiliares del buque.

Segunda fase de diseño preliminar: Se calculará la resistencia al avance y propulsión, se desarrollará un análisis detallado tanto del comportamiento del buque en la mar con olas de proa como de la estructura de unión transversal del Catamarán; también se estimará el costo de casco. Para terminar el trabajo se desarrollará una comparación entre el catamarán diseñado y una embarcación monocasco construida localmente, y de un segundo catamarán en construcción.

2.2 REQUERIMIENTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO

2.2.1 Zonas de recorridos

El catamarán operará en la zona del mar territorial de la costa peruana, y realizará el siguiente recorrido de 3 días:

Tabla N°2.1 Recorrido

RECORRIDO
Puerto del Callao - Huampanú, Loberas y Mazorca
Isla Mazorca – Islas Sangayan
Isla Sangayan – Islas Ballestas
Recorrido por las Islas Ballestas
Islas Ballestas – Isla San Lorenzo
Isla San Lorenzo – Puerto del Callao
Total Recorrido: 40 millas náuticas

La autonomía requerida para este recorrido será entonces de 400 millas náuticas (741 km). La siguiente figura nos muestra los recorridos que se harán:



Figura 2.2 Zonas de recorridos

2.2.2 Condiciones Ambientales

Las condiciones ambientales promedio que muestran las grandes áreas de operación del Catamarán a diseñarse, son aquellas dadas por la Dirección Hidrografía y Navegación de la Marina y que se muestran en la tabla 2.2.

De esta información se deduce que las condiciones extremas en las cuales el Catamarán va a operar son: estado de mar 3 en la escala de Beaufort, con vientos alrededor de 4.4 m/s y con olas de alrededor de 0.8 m de altura.

En el Apéndice A se muestra al detalle los estados de mar existentes según la escala de Beaufort.

2.2.3 Requerimientos propios del Catamarán

- Se desarrollará el cálculo estructural para cada casco siguiendo las reglas de la ABS para Barcos de Acero Menores de 90 m, [2].
- Por Habitabilidad: Transportará 20 pasajeros, 6 tripulantes, y el capitán.
- Por autonomía: Deberá contar con las capacidades de agua y combustible necesarias para cubrir la autonomía antes mencionada, y tendrá una velocidad de crucero máxima de 12 nudos.
- La estructura del casco y cubierta será de acero naval, sin embargo, la superestructura será considerada de material compuesto de fibra de vidrio y espuma de PVC, cuyo diseño no será propósito de este trabajo.

Tabla N°2.2 Condiciones climatológicas de las potenciales áreas de operación.

SECTOR	ESTADO DE MAR	VIENTO
		[m/s]
La Punta	2.00	3.000
Isla San Lorenzo	3.00	3.500
Isla de Sangayan	3.00	5.200
Islas Ballestas	3.00	4.500

2.3 RESTRICCIONES DEL DISEÑO

La restricción principal es la limitación del calado cerca de algunas islas porque no disponen de área de fondeo establecidas.

También se debe considerar el efecto de las corrientes que ocasionan el movimiento de bajos, bancos de arena, y que las cartas cartográficas no indican, sino que previenen como aviso a los navegantes.

En cuanto a los puertos del Callao, los barcos de menos de 2 m de calados no presentan ningún inconveniente. En el caso de catamaranes el calado suele ser muy bajo, ya que se trata de un barco de semi-desplazamiento.

Si se asume un calado mínimo de 2.0 m como restricción de diseño, se estaría guardando un razonable factor de seguridad, manteniendo siempre al menos agua bajo la quilla.

CAPÍTULO 3

DISEÑO CONCEPTUAL

3.1 REQUERIMIENTOS DE ÁREA DE CUBIERTA Y DIMENSIONES

Para la obtención del área total de Cubierta requerida y por medio de ella estimar las dimensiones principales de la embarcación, se ha tomado como referencia diferentes valores de área por pasajero presentadas en el libro El Proyecto Básico del Buque Mercante, [3], pág. 530. Se complementó esta información con las dimensiones de algunos espacios del Yate Ocean Jedi, de Sudamerican Cats E.I.R.L. (Apéndice B). En la tabla 3.1 se presenta los principales compartimentos en que estará dividido el catamarán, el parámetro área/pasajero de cada uno de ella, y el área total requerida para un total de 20 pasajeros, 6 tripulantes y el capitán.

Tabla N°3.1 Área requerida de cubierta

ESPACIO	ÁREA / PASAJ	N° ESPACIOS	N° PASAJ / ESPACIO	ÁREA
	[m ²]			[m ²]
Camarotes dobles de pasajeros	8.5	10	2	85
Camarotes de tripulación	7.5	2	3	15
Camarote de Capitán	7.5	1	1	7.5
Puente de Mando	7	1	-	7
Cocina	12	1	-	12
Comedor	12.5	1	-	12.5
Salón	12.5	1	-	12.5
Pasillo de servicios	15.21	1	-	15.21
Espacios públicos	7.61	1	-	7.61
Área Total en m²				174.32
Área Total en pies²				1876.32

Una vez calculada el área requerida de cubierta y utilizando el gráfico de Área de cubierta vs eslora presentada en "Design and Application of Modern High Speed Catamarans", [4], pág. 54, y que se presenta a continuación, se obtiene la eslora de la embarcación que es de 70 pies ó 21.34 m.

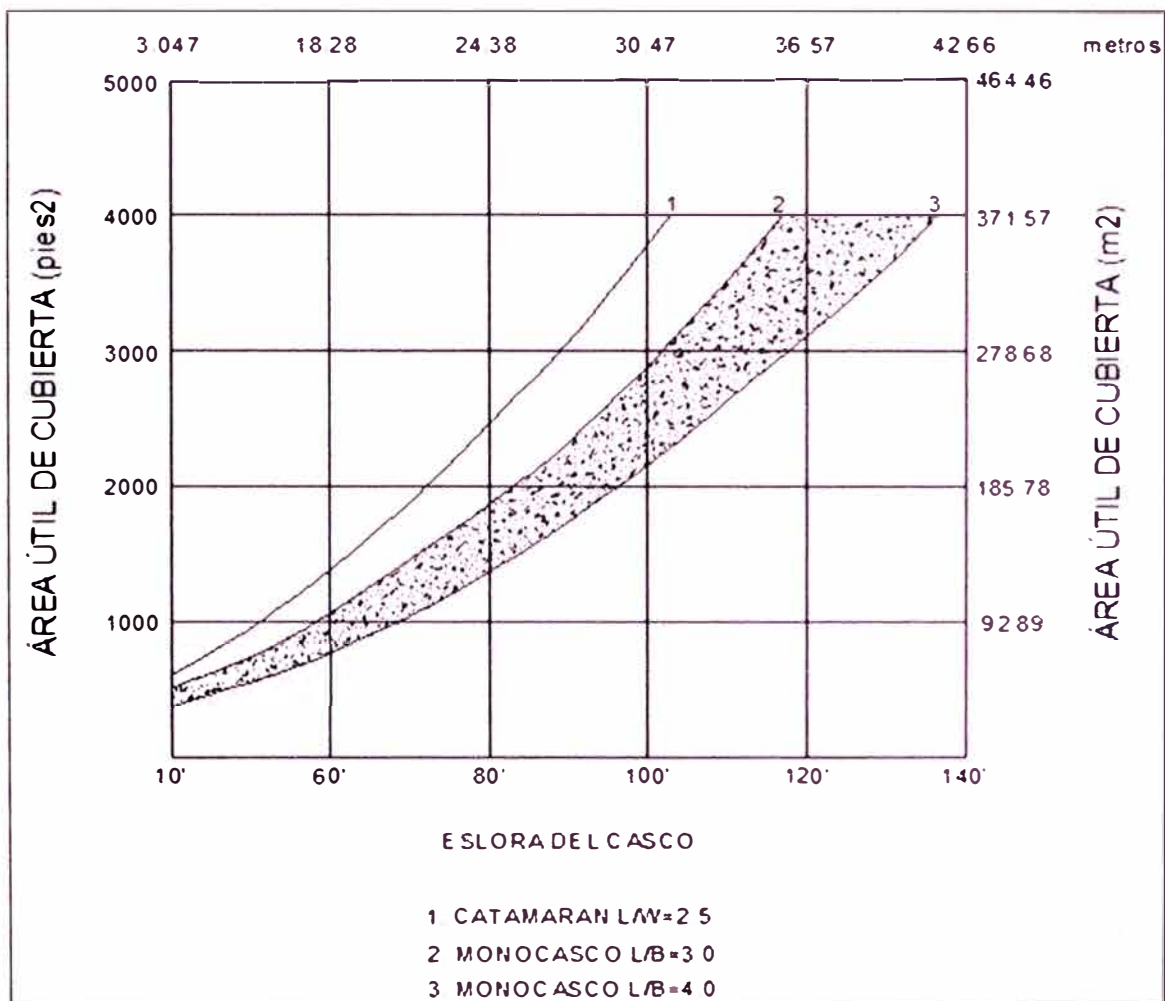


Figura 3.1 Área de cubierta vs eslora [3].

Luego para la obtención de las dimensiones restantes se utilizaron datos de catamaranes ya construidos que se presentan en [4], pág. 348. La siguiente tabla muestra estos datos:

Tabla N°3.2 Dimensiones principales de catamaranes construidos.

CATAMARÁN	L	L _{wl}	W	B	(W- 2B)/L _{wl}	B/T	Δ	C _b	C _m	C _p	C _{wp}
	[pies]	[pies]	[pies]	[pies]			[lb]				
Johnson	50	44	17.5	5		4	46300				
Survey Montereal	50.7	47.1	20	7	0.128	4	50000				
Shuman	65	60	26	9	0.133	3	80000	0.430	0.571	0.753	0.850
Double Eagle	65	60	26	9	0.133	3	65000	0.363	0.490	0.741	0.835
Double Eagle II	65	58.5	26	9	0.137	3	62400	0.408	0.530	0.769	0.849
H & M Speed Twin	65	60	26	9	0.133	3	90000	0.431	0.557	0.775	0.845
Rainbow	68.8	62	29	10	0.145	3.2	82600	0.347	0.518	0.670	0.816

W: Manga Total del Catamarán

B: Manga del semicasco

W-2B/L: relación entre estructura de unión y eslora

Se graficaron los datos de la tabla 3.2 con respecto de la eslora de las embarcaciones, y se desarrollaron ecuaciones de regresión lineal.

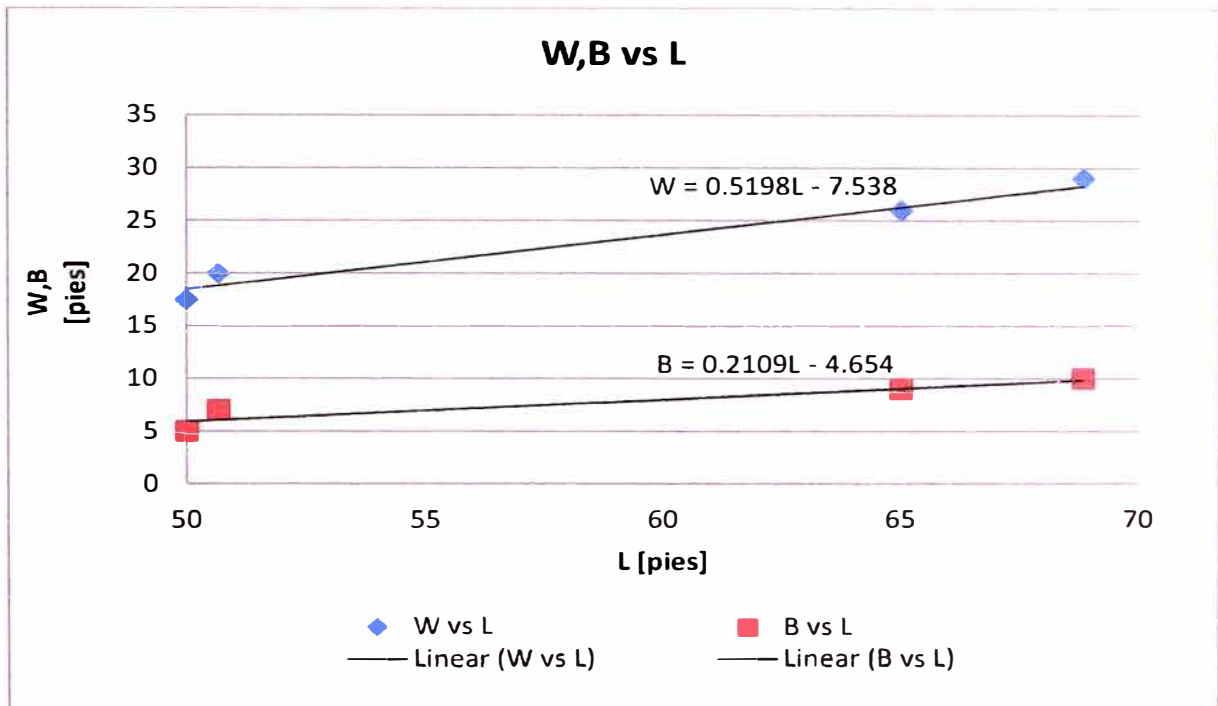


Figura 3.2 Variación de la manga máxima y de cada semicasco vs eslora

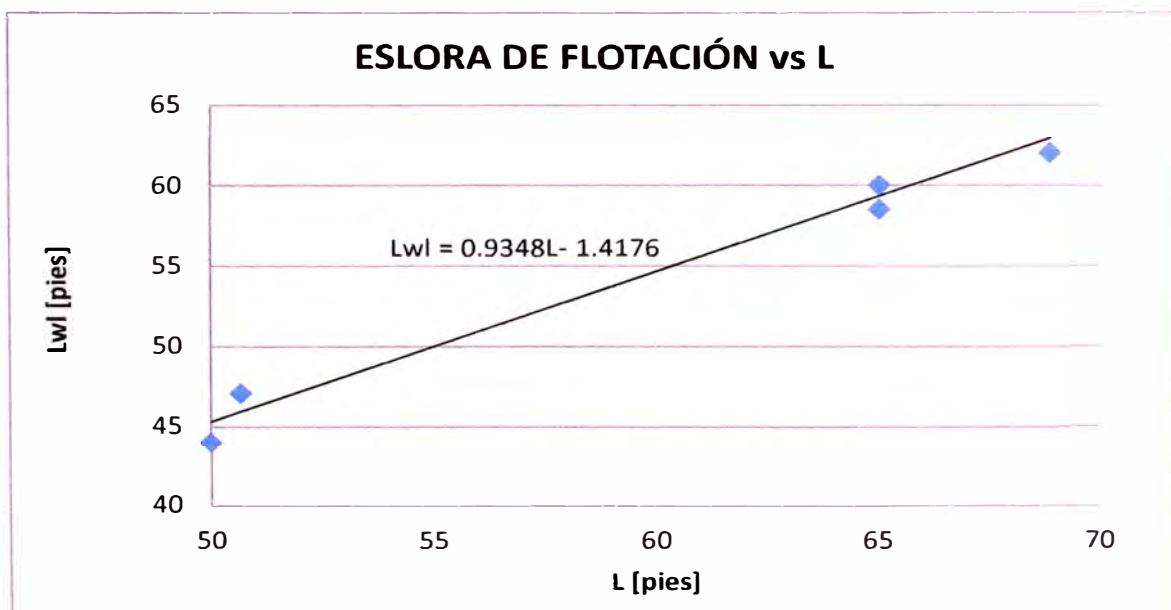


Figura 3.3 Variación de la eslora de flotación vs la eslora

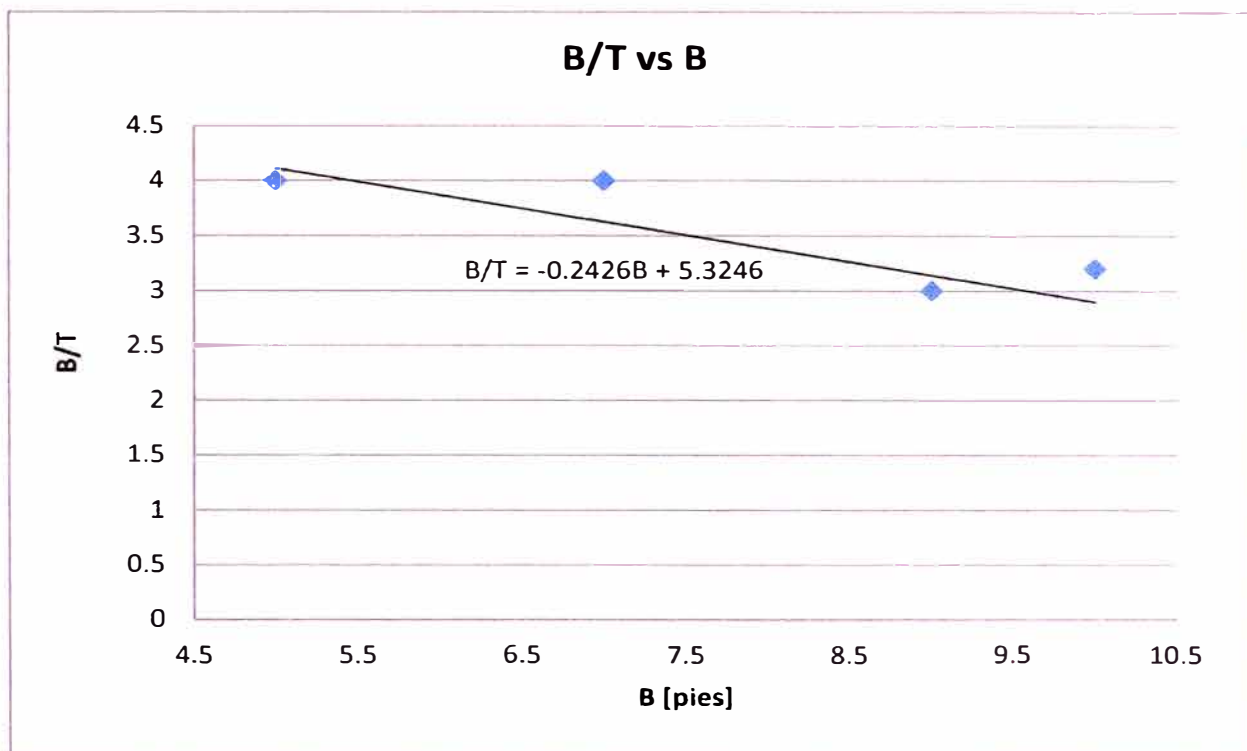


Figura 3.4 Variación de la razón B/T vs la eslora

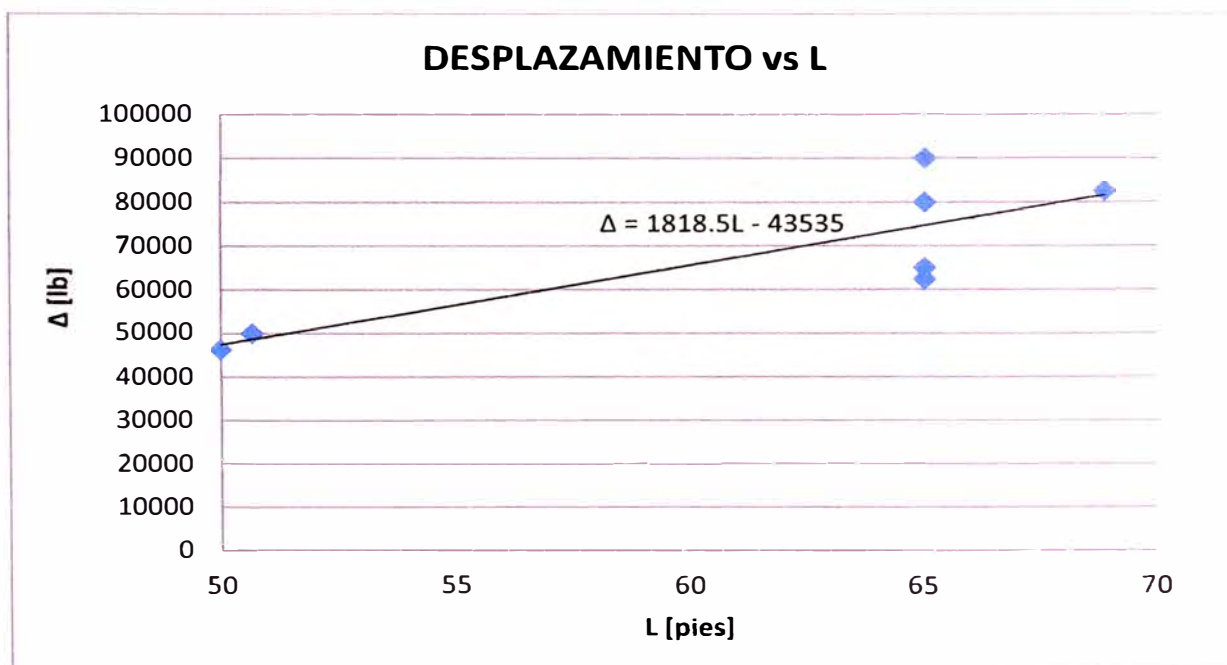


Figura 3.5 Variación del desplazamiento vs la eslora

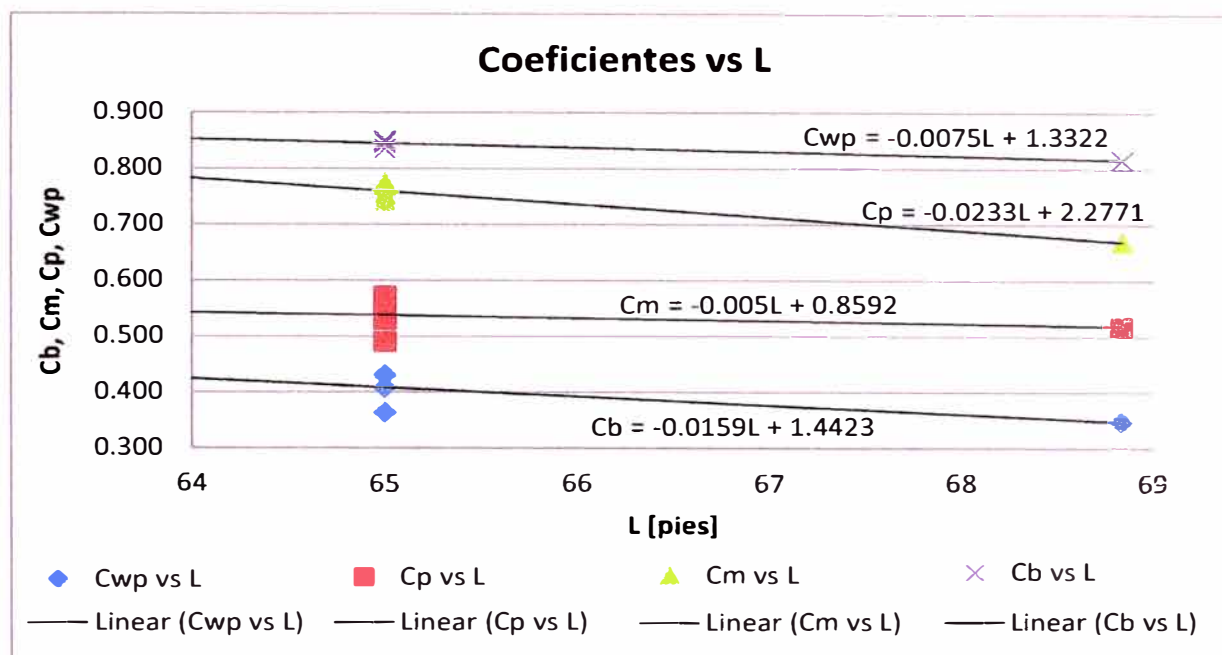


Figura 3.6 Variación de los coeficientes de formas vs la eslora

Una vez establecidas las ecuaciones de regresión y con la eslora ya determinada para la embarcación se puede interpolar y obtener las restantes dimensiones principales que son:

Tabla N°3.3 Dimensiones principales de la embarcación

DIMENSIÓN	SÍMBOLO	VALOR	
		[pies]	[m]
Eslora	L	70.00	21.34
Eslora de Flotación	L _{wl}	64.02	19.51
Manga máxima	W	28.85	8.79
Manga semicasco	B	10.11	3.08
Puntal	D	9.84	3.00
Calado	T	3.52	1.07
		[lb]	[Ton]
Desplazamiento	Δ	83725	37.98
Coeficiente de Bloque	C _b	0.33	
Coeficiente de S.M.	C _m	0.51	
Coeficiente Prismático	C _p	0.65	
Coeficiente Plano de Agua	C _{wp}	0.81	

Para la determinación del puntal (D) que aparece en la tabla anterior se utilizaron las dimensiones de dos catamaranes construidos por Sudamerican Cats E.I.R.L. y una simple extrapolación lineal, lo cual se muestra a continuación.

Tabla N°3.4 Eslora y puntal de otros catamaranes de recreo

CATAMARÁN	L [m]	D [m]
Soyus III	11.71	2.05
Ocean Jedi	17.74	2.65

En la siguiente figura se muestran las áreas disponibles en la embarcación, a partir de las dimensiones principales determinadas utilizando las ecuaciones de regresión descritas anteriormente:

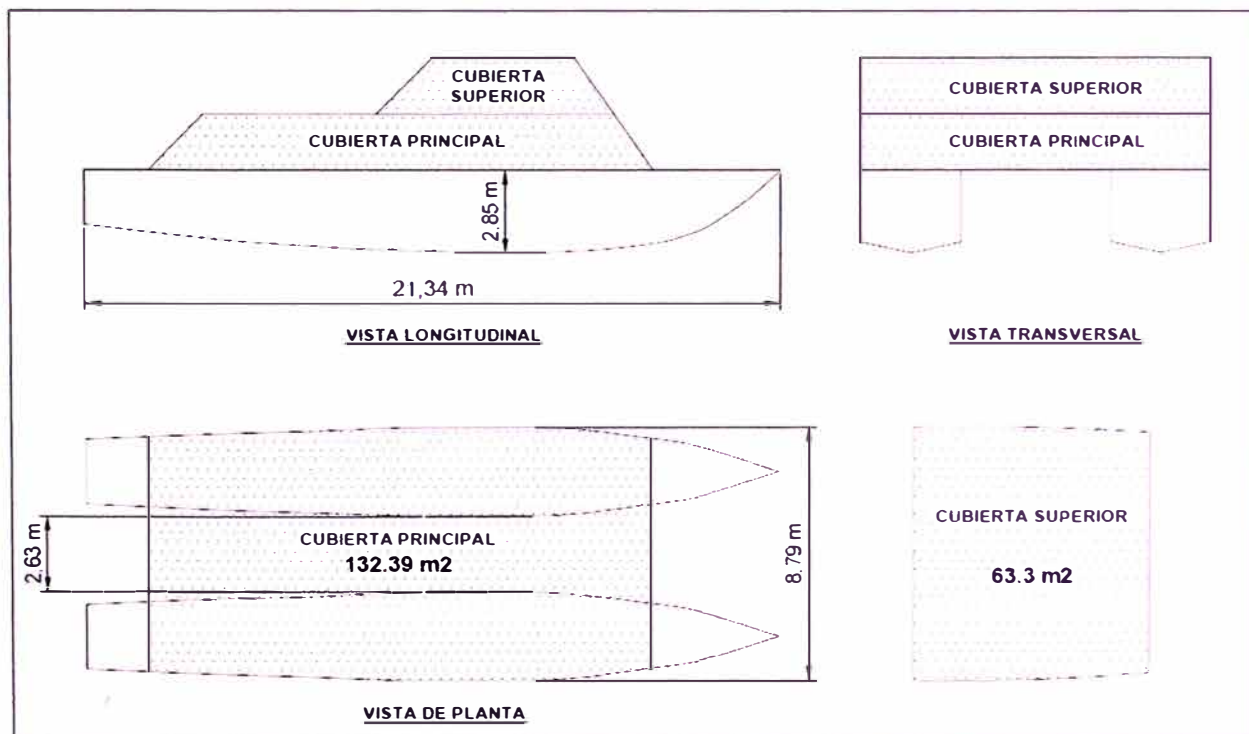


Figura 3.7 Dimensiones principales y área total de cubierta.

3.2 DISPOSICIÓN GENERAL

Se preparó un esquema de la embarcación, con las dimensiones principales ya obtenidas, considerándose los siguientes compartimientos:

Bajo Cubierta Principal:

Sala de Máquinas

Camarote de Tripulantes

Tanque de Combustible

Tanque de Agua

Cubierta Principal:

Camarotes de Pasajeros

Camarote de Capitán

Cocina

Comedor

Salón

Cubierta Superior:

Puente de Gobierno

El siguiente gráfico nos muestra la ubicación de cada compartimiento y esquema del Catamarán:

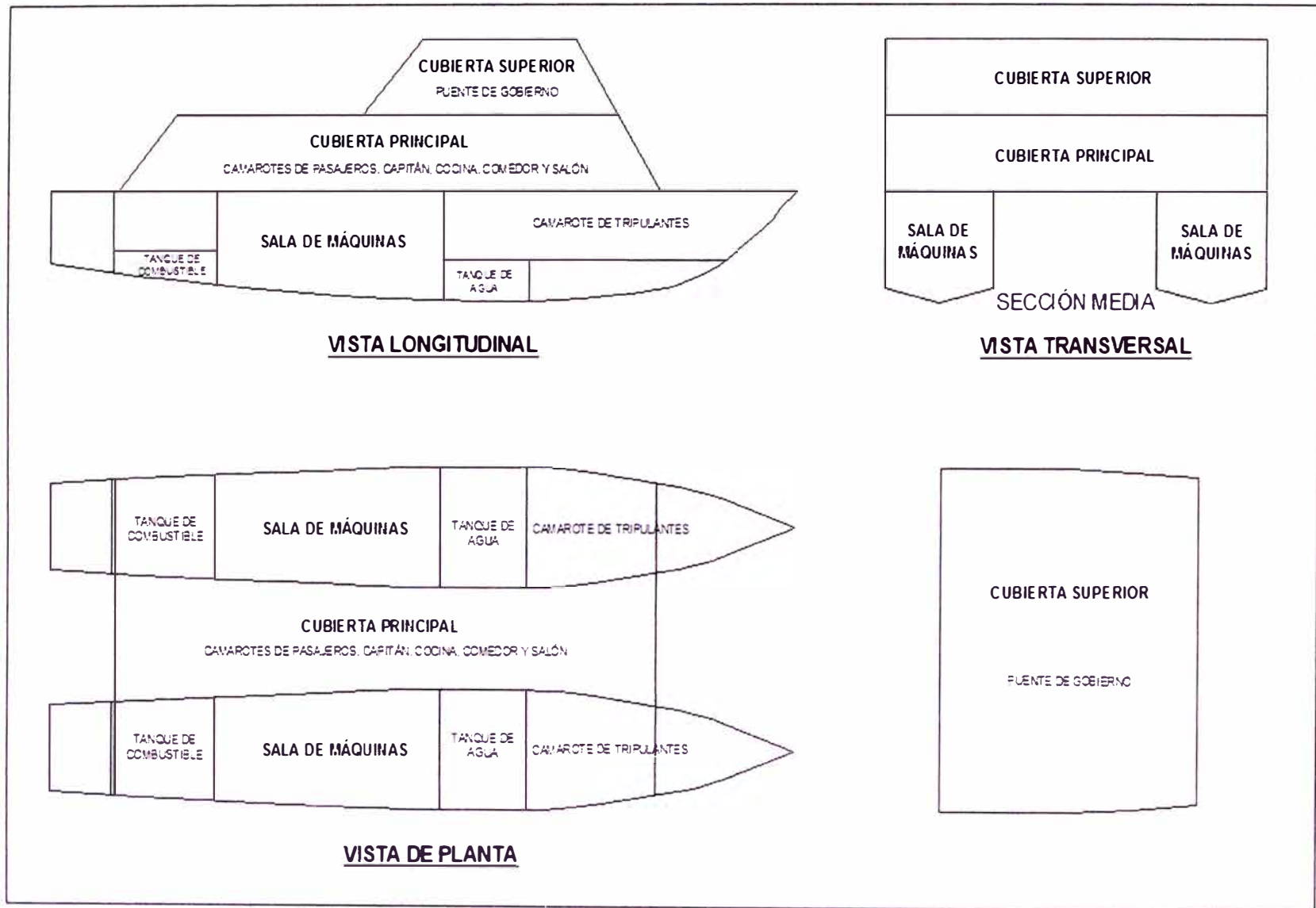


Figura 3.8 Disposición general del catamarán

El área total disponible para los pasajeros y el capitán es de 195.69 m², de manera que se satisface este requerimiento.

3.3 ESTIMACIÓN CONCEPTUAL DE POTENCIA DE PROPULSIÓN

Para este cálculo se utilizaron las reglas de Caterpillar que se muestran en las figura 11 y 12. Con ellas se obtienen, para un solo casco, la potencia al eje (SHP), diámetro de la hélice y sus valores máximo y mínimo de RPM. Para esto empleamos los siguientes datos de entrada:

L_{wl}	:	64.02 pies
Δ de un casco	:	18.99 Ton
V	:	12 nudos
Factor V_a/V	:	0.85 (Este dato figura en una tabla de la regla Caterpillar)

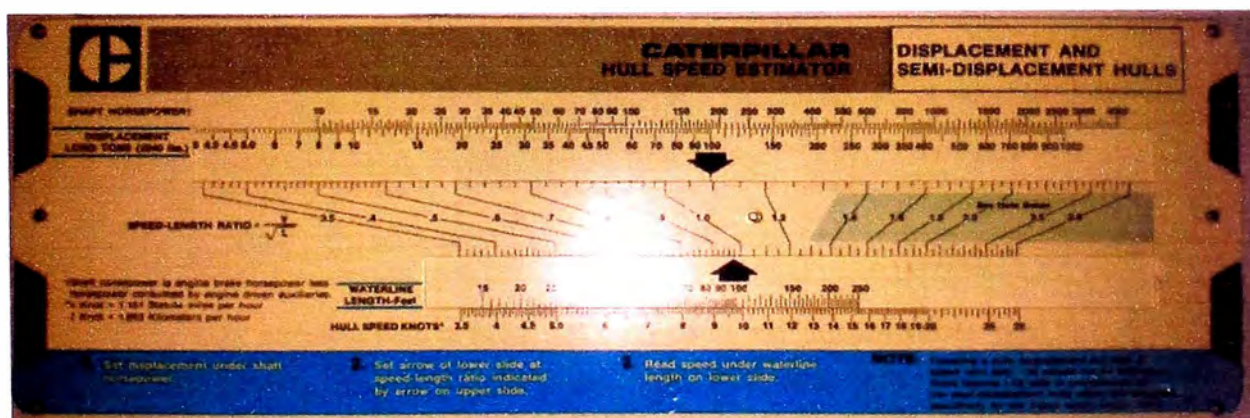


Figura 3.9 Primera regla caterpillar

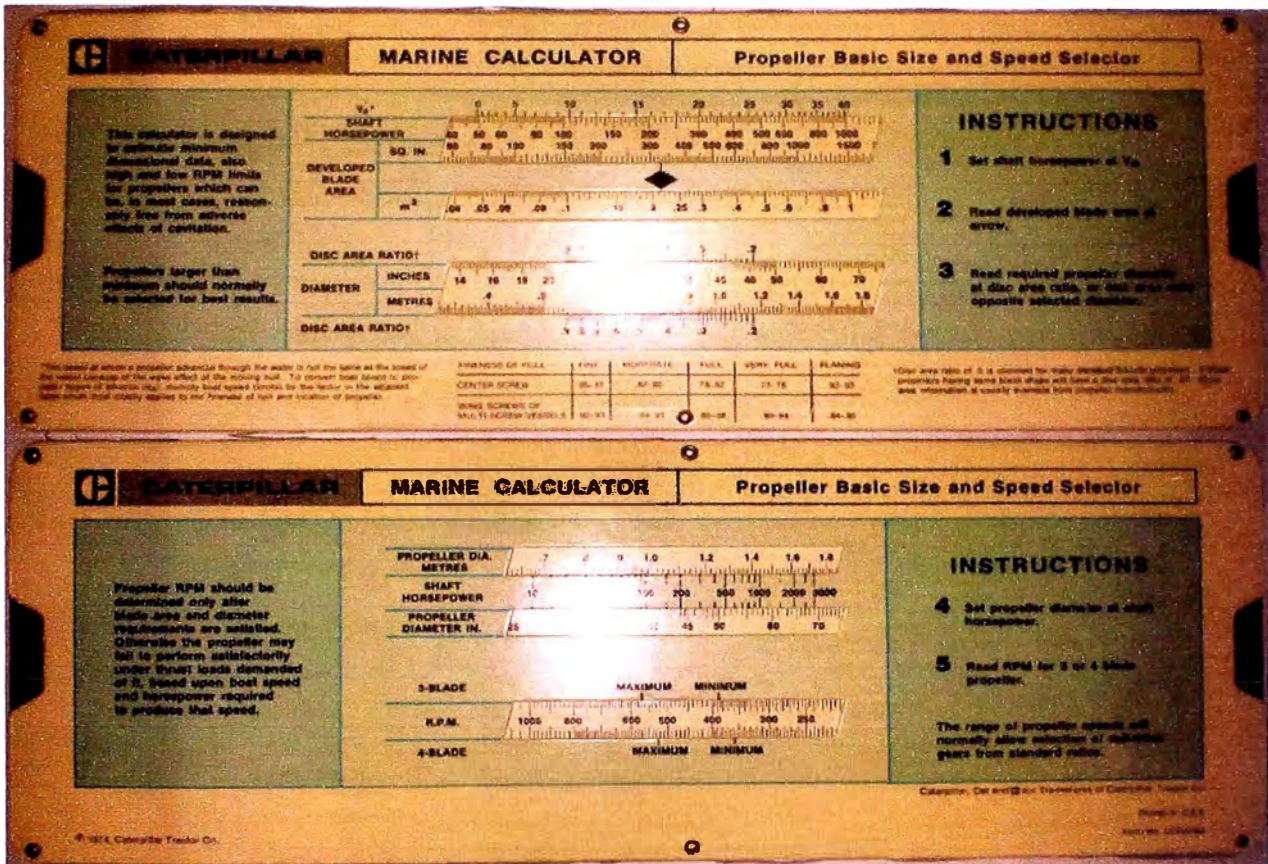


Figura 3.10 Segunda regla caterpillar

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos. Para mayor detalle del uso de la reglas Caterpillar en este caso, ver Apéndice C.

Tabla N°3.5 Características principales de propulsión

V $\sqrt{L_{wl}}$	SHP	V _a	A _{des}	Nº	A _{des}	A _{disco}	RPM		DIÁMETRO	
	[HP]	[nudos]	[pulg ²]	Palas	A _{disco}	[pulg ²]	MIN	MAX	[pulg]	[cm]
1.5	111	10.2	332	3	0.5	664	610	900	29.08	73.85
				4	0.67	495.52	562	812	25.12	63.8

Para una estimación previa del consumo de combustible que emplearemos más adelante en el cálculo de pesos, seleccionaremos un motor que cumpla con la potencia hallada y un óptimo consumo. Así pues, el motor seleccionado por el momento es el Volvo Penta D3-150 cuyo punto de operación (según su respectiva hoja técnica) se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N°3.6 Características principales del motor y caja reductora

N° PALAS	EFICIENCIA DE PROPULSIÓN	POTENCIA DEL MOTOR	RPM	CONSUMO DEL MOTOR	REDUCCIÓN DE CAJA
		[HP]		[l/h]	
3	0.95	116.84	2010	12	2.66
4					2.93

El cálculo del paso lo realizaremos más adelante en el diseño preliminar cuando afinemos más el valor de la potencia.

3.4 ESTIMACIÓN DE PESOS

Las estimaciones preliminares de pesos estructurales del casco, superestructura, maquinaria y alistamiento, se harán en base del número cúbico, utilizando una gráfica presentada por la FAO para el diseño de embarcaciones menores [5], y los datos del Apéndice B.

3.4.1 Peso del Casco y Superestructura

El siguiente gráfico muestra la relación del peso del casco por m³ de CUNO vs la eslora de la embarcación. De él obtendremos el peso del casco y de las maquinarias.

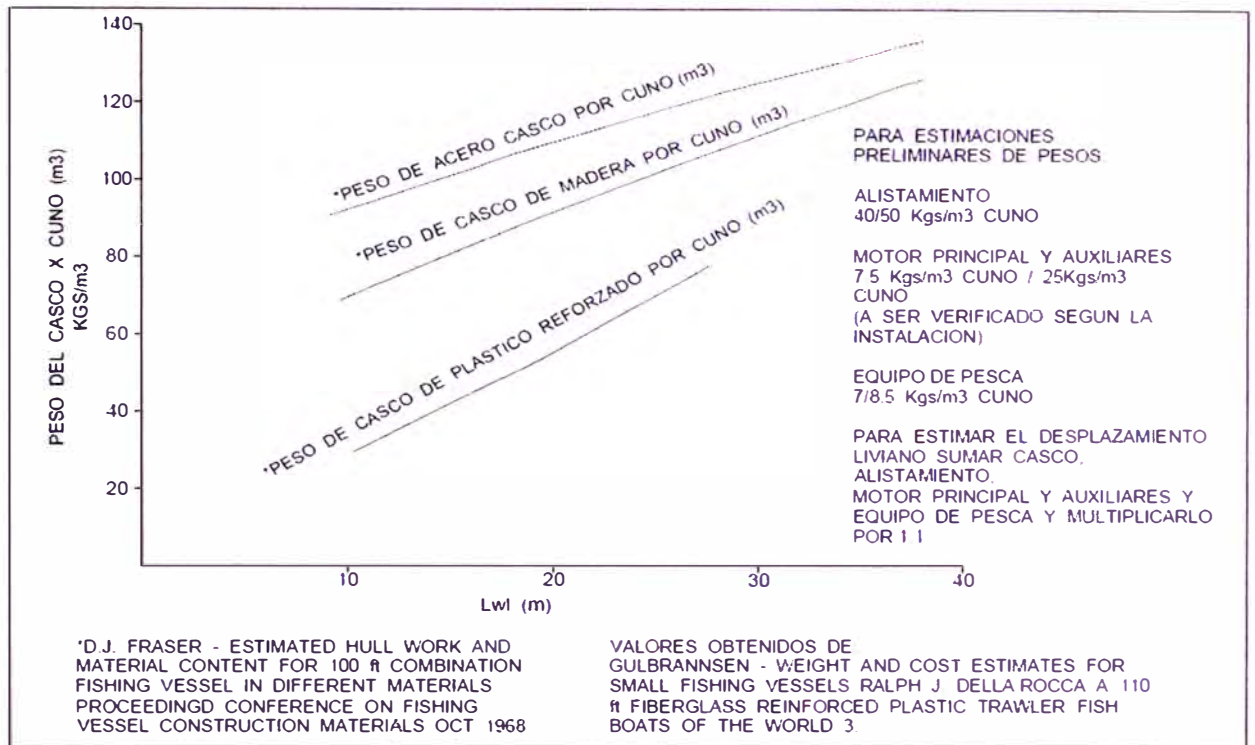


Figura 3.11 Peso del casco vs. eslora [5]

El peso por m³ de CUNO de la superestructura y de la estructura de unión lo deduciremos basándonos en la memoria de construcción del “Ocean Jedi”, catamarán fabricado en Sudamerican Cats E.I.R.L. (Apéndice B), de donde obtendremos que:

Peso de la superestructura: 65 kg/m³

Peso de la estructura de unión: 29.6 kg/m³

3.4.2 Peso de Combustible y Agua

Para el cálculo del peso del combustible, utilizamos el consumo de combustible del motor a 12 nudos, hallado anteriormente, más el consumo de un generador eléctrico CUMINS 55 QD MDDCB a 3/4 de su carga, es decir, 13 l/h.

Para el cálculo del peso de agua, consideramos un consumo diario de 150 litros por persona. El tanque tendrá la capacidad para el consumo de un día, ya que se contará con una desalinizadora de agua de mar por ósmosis inversa que abastecerá diariamente al tanque.

La autonomía empleada para este cálculo será la establecida en el capítulo 2 (millas náuticas) más un 50% por seguridad, es decir (600 millas náuticas).

Tabla N°3.7 Peso del combustible y agua dulce

DESCRIPCIÓN	AUTONOMÍA		CAPACIDAD	DENSIDAD	PESO
	[millas náuticas]	[hr]	[litros]	[Ton/m ³]	[Ton]
Combustible	600	50	2500	0.860	2.150
Agua	-	24	4050	1.027	4.159

3.4.3 Peso Total

La siguiente tabla nos muestra el peso total de la embarcación, considerando

CUNO = 187.504 m³:

Tabla N°3.8 Peso Total del catamarán

DESCRIPCIÓN	PESO/CUNO	PESO
	[kg/m ³]	[Ton]
Cascos	217.54	40.790
Superestructura	65.00	12.188
Estructura de unión	29.60	5.550
Maquinaria	15.00	2.813
Combustible	-	2.150
Agua	-	4.159
Total	-	67.649

A continuación se mostrará la distribución de pesos simplificada:

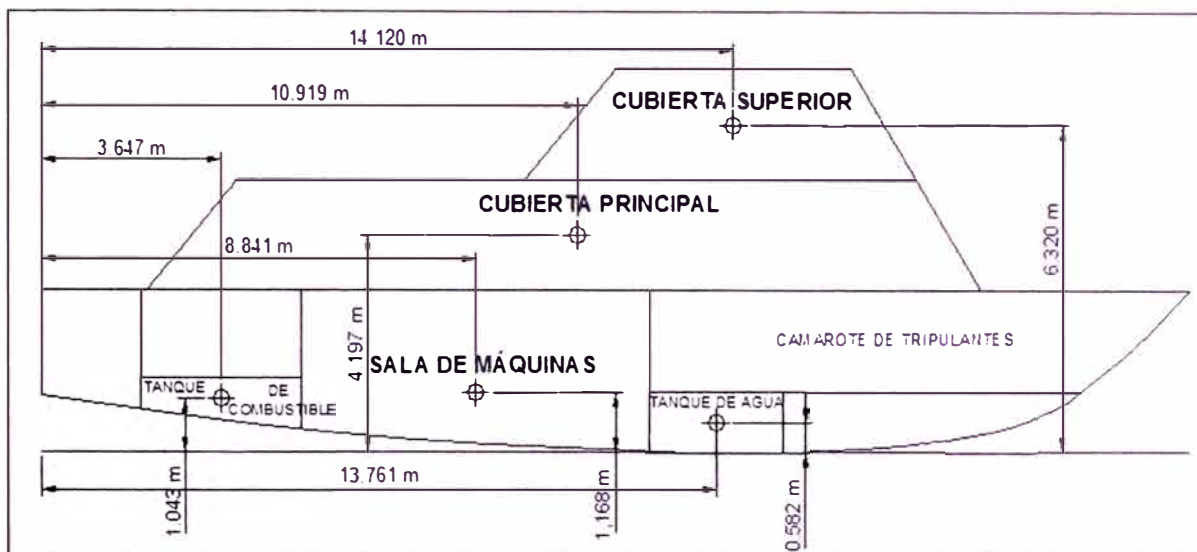


Figura 3.12 Distribución de pesos

A continuación presenta una tabla con los pesos y posición del centro de gravedad de cada uno de los compartimientos de la embarcación medida desde popa (AP) y desde línea base. En lo sucesivo, toda medida longitudinal (X) se tomará con respecto a AP y toda medida vertical (Y), con respecto a la línea base como se indica en la figura 3.12

Tabla N°3.9 Determinación de la posición del centro de gravedad del catamarán

DESCRIPCIÓN	PESO	X	Mx	Y	My
	[Ton]	[m]	[Ton-m]	[m]	[Ton-m]
Cascos	40.790	10.668	435.144	1.426	58.169
Cubierta Principal	8.125	9.926	80.650	3.815	30.998
Cubierta Superior	4.063	12.836	52.147	5.745	23.340
Estructura de unión	5.550	10.668	59.209	2.852	15.830
Maquinaria	2.813	8.037	22.605	1.062	2.987
Combustible	2.150	3.315	7.127	0.948	2.038
Agua	4.159	12.510	52.033	0.529	2.200
TOTAL	67.649	10.479	708.915	2.004	135.562

De modo que la posición del centro de gravedad de la embarcación es:

$$LCG = 10.479 \text{ m}$$

$$VCG = 2.004 \text{ m}$$

3.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO CONCEPTUAL

El dimensionamiento a nivel conceptual del presente diseño se ha basado principalmente de la información presentada en [4].

Existe una variación notoria en peso de la embarcación entre la estimación hecha con la ecuación de regresión, 37.98 toneladas, y el obtenido con la suma de pesos estimados en forma preliminar, que es aproximadamente 67.649 toneladas. Siendo esta última una mejor aproximación de dicho parámetro se le ha tomado como válida a este nivel de diseño; por lo que en la siguiente etapa del proceso preliminar se deberá cambiar las dimensiones principales en un porcentaje que permitan llegar aproximadamente a valores adecuados de distancia al nivel del agua, desde el cuerpo central de conexión entre cascos.

En lo que respecta a la distribución general, el gráfico nos muestra una razonable repartición de las diferentes áreas del catamarán pero a un nivel muy básico. En el siguiente paso del proceso se detallarán estas reparticiones o se realizarán un cambio de éstas, según los resultados que vayamos obteniendo.

La potencia obtenida (111 SHP por casco) parece muy baja, por lo que se hará una comparación en el siguiente proceso preliminar para saber sobre su valor real.

CAPÍTULO 4

DISEÑO PRELIMINAR

4.1 DESARROLLO DE LÍNEAS DE FORMAS Y CÁLCULOS HIDROSTÁTICOS

Al obtener las dimensiones principales en el capítulo anterior se ha notado que existen variaciones notorias entre las dos estimaciones del peso de la embarcación. Sumando las estimaciones de los componentes, es de aproximadamente 67.649 Ton, mientras que empleando la ecuación de regresión partiendo de diseños existentes, el desplazamiento calculado que es de 37.98 Ton. Tomando el primero como mejor aproximación, en esta etapa del diseño preliminar se modificara las dimensiones principales según los criterios que mencionaremos a continuación.

La vista de planta de la figura 3.8 (con las dimensiones obtenidas hasta el momento) muestra una proporción de manga de semicasco y espaciamiento entre crujías que no son propias de un catamarán, además de que no hay el espacio suficiente para el pasillo central, las habitaciones y los pasillos exteriores laterales de la cubierta principal. Para corregir esto disminuirémos

la manga e incrementaremos la distancia entre crujías. Esto último nos permitirá también disminuir la interferencia entre cascos.

Luego, para no alterar de manera significativa el desplazamiento, incrementaremos la eslora y el puntal, teniendo en cuenta que la eslora es la dimensión más cara y que el aumento de ésta incrementa la superficie mojada y por tanto la resistencia viscosa, pero, en contrapartida, disminuye la resistencia por formación de olas por lo que, en general, la resistencia presenta un mínimo. Cabe resaltar también, que el aumento de la eslora mejorará la estabilidad longitudinal.

La relación B/H , relacionada con la estabilidad transversal de un solo casco, no debe preocuparnos ya que en un catamarán la estabilidad transversal es el resultado de los dos cascos en conjunto separados una cierta distancia y, prácticamente, no es afectado por la finesa y forma de éstos. Por este motivo, no tendremos ningún problema en incrementar el puntal y disminuir la manga.

Tomando en cuenta todos estos criterios, seguimos un proceso iterativo de los procedimientos que se verán páginas más adelante con programas CAD y de análisis hidrostático, iniciado con la disminución de la manga de semicasco y con el aumento de la dimensión “más económica”, el puntal. Como resultado de este proceso iterativo, finalmente se incrementarán la eslora y puntal en un 10%, debido a las dimensiones de la hélice requerida, y se reducirá la manga de cada casco en un 10% pero incrementando la distancia entre crujías en un 20% para no reducir el área de cubierta total. Con estos valores modificados

se espera llegar aproximadamente a las características operativas adecuadas de la embarcación.

Tabla N°4.1 Comparación de las dimensiones principales

DIMENSIÓN	SÍMBOLO	DISEÑO CONCEPTUAL	DISEÑO PRELIMINAR
		[m]	[m]
Eslora	L	21.336	23.470
Manga máxima	W	8.793	8.485
Manga semicasco	B	3.081	2.773
Puntal	D	2.852	3.137
Calado	T	1.073	A determinar

Con estas dimensiones principales ya alteradas y a partir de las líneas de forma de un casco existente se obtuvieron las formas de nuestro casco empleando el programa AutoCAD (escalando independientemente la eslora, manga y puntal del casco existente a los valores requeridos de la tabla 4.1) las cuales se muestran en la figura 4.1. Importando estas curvas al programa Rhinoceros, podemos apreciar una perspectiva más real de nuestro casco como se muestra en la figura 4.2.

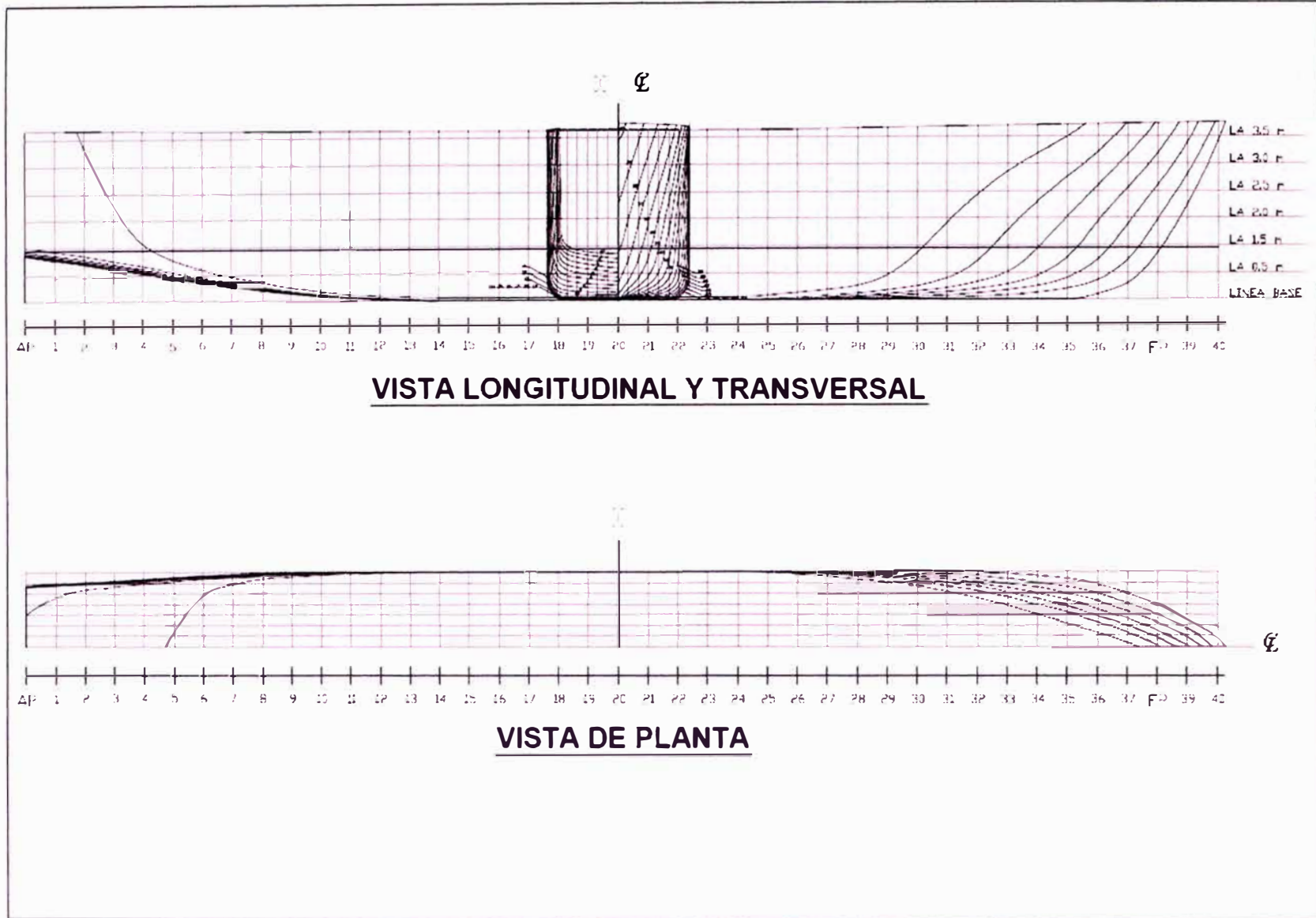


Figura 4.1 Plano de líneas de formas de cada casco de la embarcación

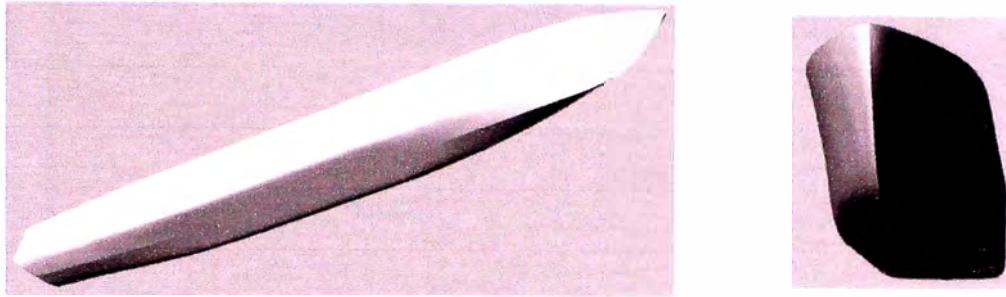


Figura 4.2 Renderizado del casco obtenido

Siguiendo el mismo procedimiento empleado anteriormente para el cálculo de los pesos, con estas nuevas medidas (CUNO = 204.192 m³) los pesos serán los siguientes:

Tabla N°4.2 Peso total del catamarán

DESCRIPCIÓN	PESO/CUNO	PESO
	[kg/m ³]	[Ton]
Cascos	229.95	46.954
Superestructura	65.00	13.272
Estructura de unión	29.60	6.044
Maquinaria	15.00	3.063
Combustible	-	2.150
Agua	-	4.159
Total	-	75.643

Es momento de analizar si el diseño de nuestro casco cumple con un calado adecuado para el peso obtenido; para esto, empleamos el programa Hydromax de Maxsurf, con el cual también realizaremos los cálculos hidrostáticos.

Para proceder con este cálculo computacional, importaremos las curvas obtenidas configuradas en 3D e ingresaremos como datos de entrada el peso total de un solo casco (37.822 Ton) y la ubicación de su centro de gravedad con las mismas referencias empleadas anteriormente; es decir, AP y línea de base.

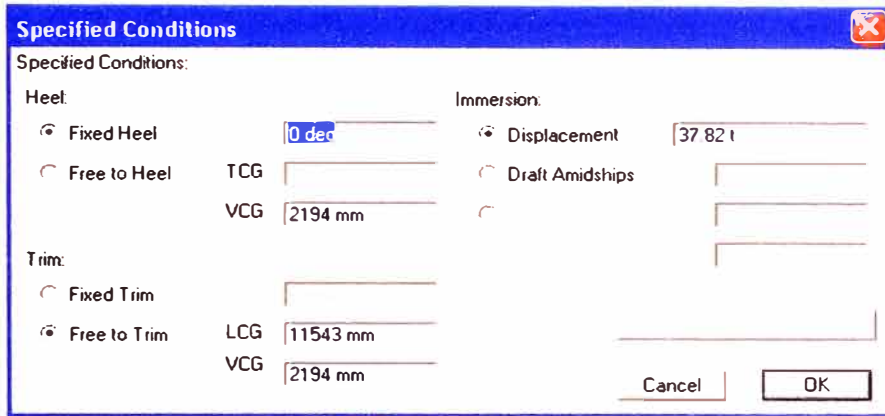


Figura 4.3 Entrada de datos en Dydromax

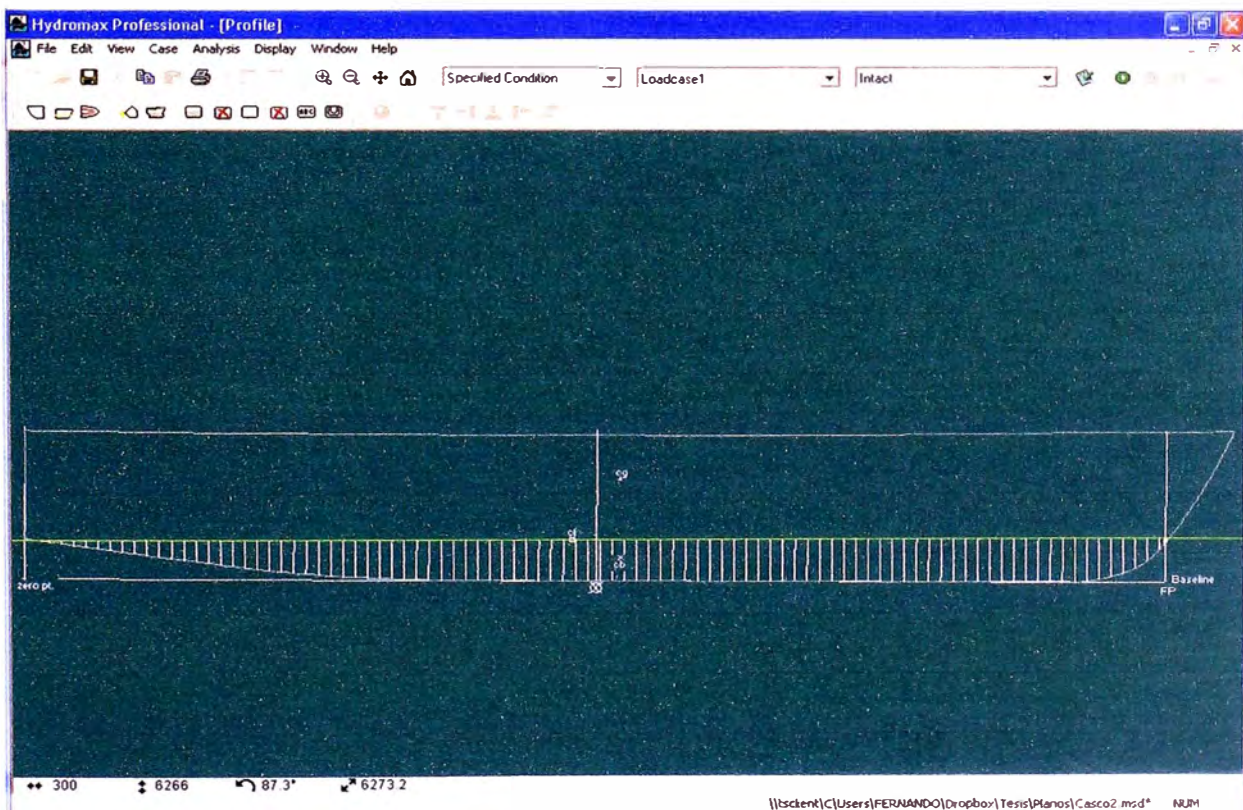


Figura 4.4 Calado obtenido para las condiciones dadas

Vemos que el calado mostrado es aceptable para este tipo de embarcación, en los que el calado suele ser muy bajo en proporción con el puntal. Adelantándonos un poco, veremos más adelante que el peso del casco estructural es considerablemente menor que el estimado hasta ahora.

Definiremos entonces un calado de diseño de **0.848 m** correspondiente a una L_{pp} de **21.50 m** medida desde Popa (AP) y a un desplazamiento de diseño de **35.19 Ton**.

A continuación se muestran las características principales y los gráficos de las curvas obtenidas del Catamarán.

Por último se hará una comparación con los resultados obtenidos en el diseño conceptual.

4.1.1 Características Principales

Las características principales del Catamarán son las siguientes:

DESPLAZAMIENTO DE DISEÑO	:	35.19 Ton
LCG DE DISEÑO	:	11.543m desde Popa
CALADO DE DISEÑO	:	0.848 m
ESLORA ENTRE PP	:	21.50 m
COEFICIENTE SECCIÓN MEDIA	:	0.969
COEFICIENTE PRISMÁTICO	:	0.667
COEFICIENTE BLOQUE	:	0.622

4.1.2 Curvas Hidrostáticas

A continuación se presentan las curvas hidrostáticas y las curvas de coeficientes, que también son consideradas curvas hidrostáticas.

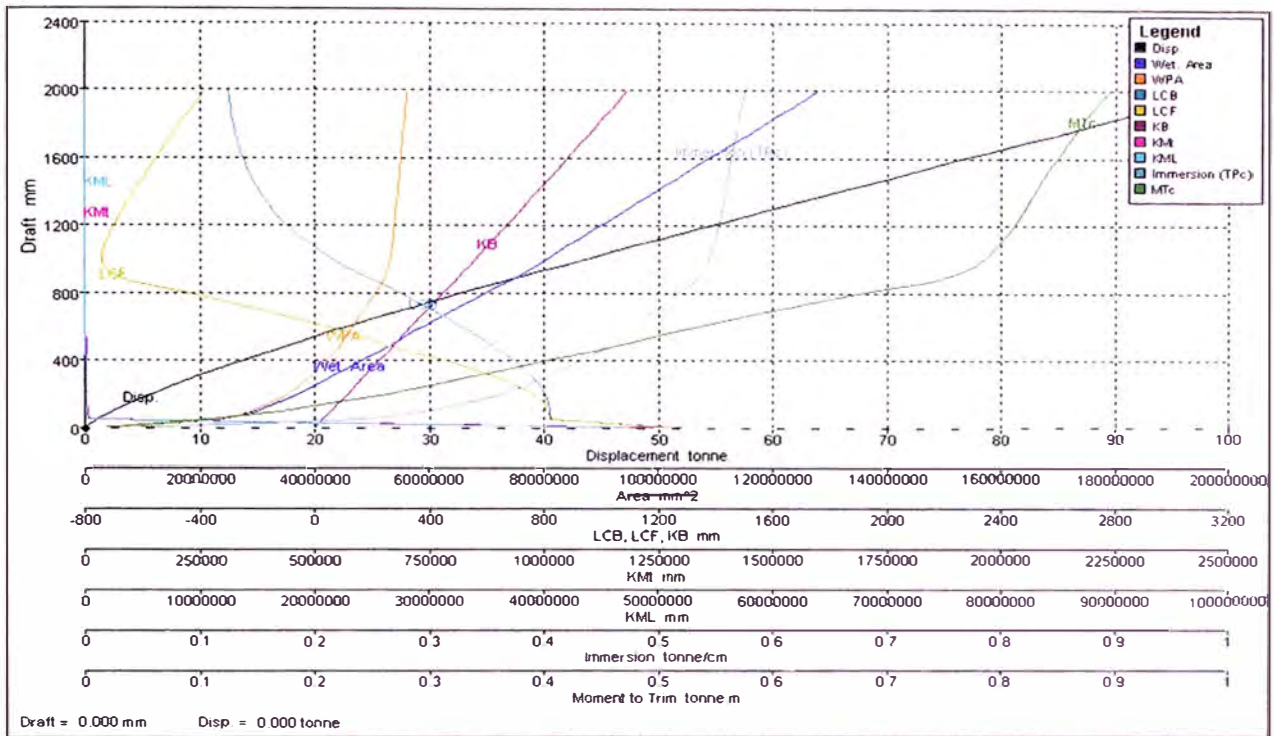


Figura 4.5 Curvas hidrostáticas

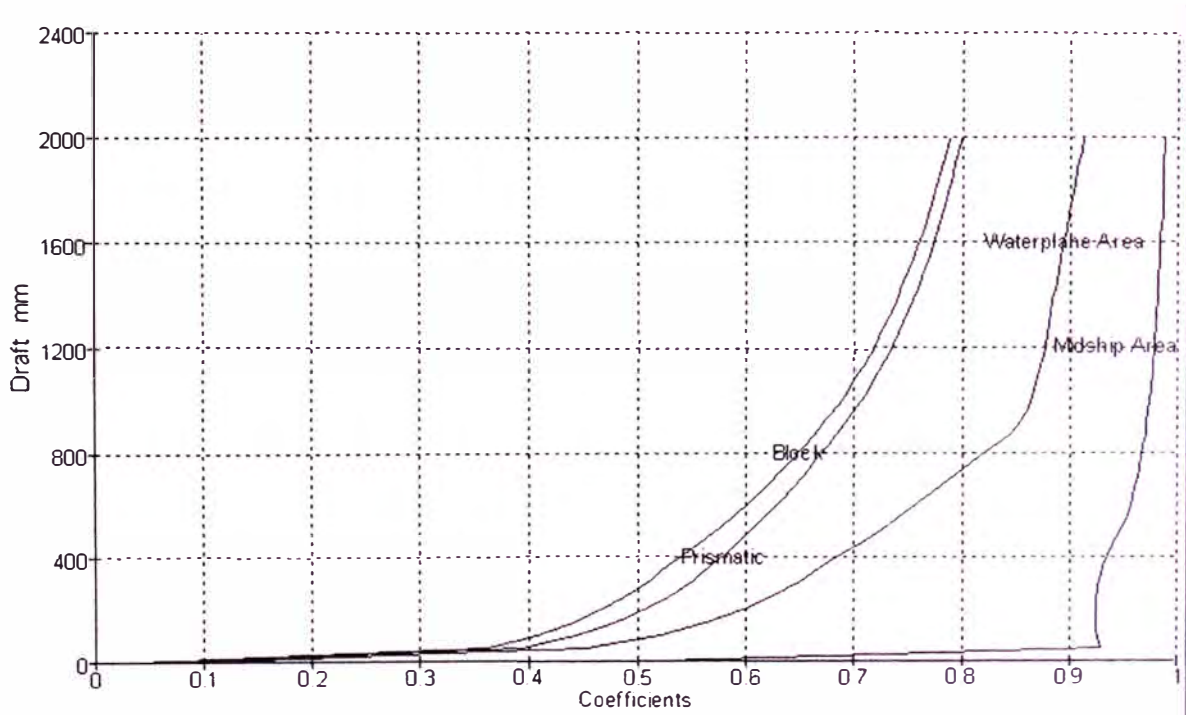


Figura 4.6 Curvas de coeficientes

4.1.3 Resumen de Cálculos Hidrostáticos y Comparación con el Diseño

Conceptual

La siguiente tabla establece una comparación entre los resultados obtenidos en el diseño conceptual y en el preliminar.

Tabla N°4.3 Resultados de las características principales del catamarán

DIMENSIÓN	SÍMBOLO	DISEÑO CONCEPTUAL	DISEÑO PRELIMINAR
		[m]	[m]
Eslora	L	21.336	23.470
Eslora de Flotación	L_{wl}	19.513	22.114
Manga máxima	W	8.793	8.485
Manga semicasco	B	3.081	2.773
Puntal	D	2.852	3.137
Calado	T	1.073	0.849
		[Ton]	[Ton]
Desplazamiento	Δ	37.98	35.19
Coefficiente de Bloque	C_b	0.329	0.662
Coefficiente de S.M.	C_m	0.509	0.969
Coefficiente Prismático	C_p	0.646	0.667

4.1.4 Disposición General

Ya determinadas las formas y sabiendo las capacidades de los tanques de agua y combustible se modificó la distribución general de la embarcación y se habilitaron espacios para un sauna y un gimnasio de la cubierta principal. El área total de pasajeros es de 195.69 m², incluyendo pasillos, comedor, cocina, y camarotes, que es superior a los 174.32 m² requeridos para este diseño de acuerdo a lo estimado en el Capítulo 3. Los tanques de combustibles tienen una capacidad de 2.5m³ y los de agua de 4.05 m³ de acuerdo a los

requerimientos. A continuación se muestra la distribución general del Catamarán.

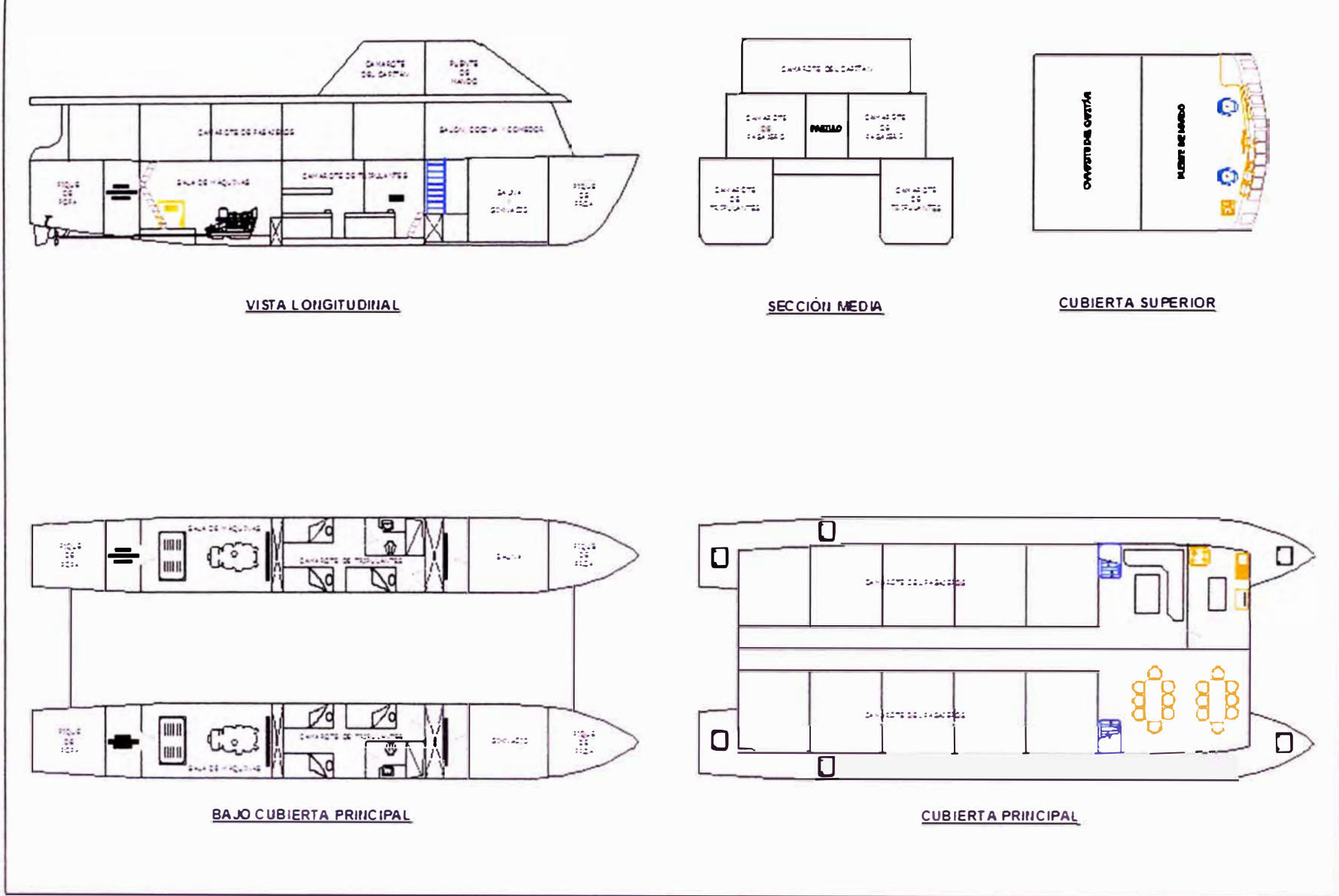


Figura 4.7 Plano de disposición general de la embarcación

4.2 CÁLCULO ESTRUCTURAL

Se va a calcular la estructura de cada semicasco siguiendo las reglas de clasificación de la ABS para la construcción de buques de acero de Eslora inferior a 90 m, [2]. En la siguiente tabla 4.5 se muestran los módulos seccionales de las diferentes estructuras locales, como cuadernas, refuerzos, y, esloras, con sus respectivas fórmulas de cálculo. También se incluye el cálculo del espesor del planchaje tanto del fondo, costado, cubierta, y que van a componer la cuaderna maestra del Catamarán. La tabla 4.4 muestra las respectivas ubicaciones de estas fórmulas.

Tabla N°4.4 Fórmulas a emplear y sus respectivas ubicaciones en [2]

DESCRIPCIÓN	FÓRMULAS	Norma ABS	
		Sección	Pág
Quilla	$t = 0.625L+12.5$	3-2-10/1.1	95
Roda	$t = 0.625L+6.35$	3-2-10/3.1	95
Espesor de planchaje			
Planchaje de fondo	$t = S\sqrt{h}/254+2.5$	3-2-2/3.3	39
Costado	$t = S\sqrt{h}/268+2.5$	3-2-2/51	40
Cubierta	$t = S\sqrt{h}/254+2.5$	3-2-3/3.1	44
Refuerzos			
Baos Reforzado	$SM = 7.8chsI^2$	3-2-6/1.3	66
Cuaderna Reforzada	$SM = 7.8chsI^2$	3-2-5/7.1	64
Cuaderna Reforzada de Proa	$SM = 7.8chsI^2$	3-2-5/7.2	64
Varenga Reforzada	$SM = 7.8chsI^2$	3-2-4/3.7	52
Varenga Reforzada de Proa	$SM = 7.8chsI^2$	3-2-4/3.7	52
Longitunales de Cubierta	$SM = 7.8chsI^2$	3-2-6/3.3	71
Longitudinales del Costado	$SM = 7.8chsI^2$	3-2-5/11.1	65
Longitudinales del Fondo	$SM = 7.8chsI^2$	3-2-4/5.3	55
Mamparos Estancos			
Planchas, espesor	$t = sk\sqrt{qh}/c+1.5$	3-2-7/5.1	78
Refuerzos	$SM = 7.8chsI^2$	3-2-7/5.3	79
Mamparo de Colisión			
Planchas, espesor	$t = sk\sqrt{qh}/c+1.5$	3-2-7/5.1	78
Refuerzos	$SM = 7.8chsI^2$	3-2-7/5.3	79

Tabla N°4.5 Modulos seccionales y espesores de los elementos estructurales de Cauda Casco del Calamaran segun ABS

DESCRIPCIÓN	FÓRMULAS	t _{teorico}	t _{elegido}	M.S.	h	c	k	s	l	q	Y	α
		[mm]	[mm]	[cm ³]	[m]			[mm],[m]	[m]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	
Quilla	$t = 0.625L + 12.5$	26.34	31.75		132.339							
Roda	$t = 0.625L + 6.35$	26.34	31.75		117.688							
Espesor de planchaje												
Planchaje de fondo	$t = S\sqrt{h}/254 + 2.5$	5.99	6.35		3.137			500				
Costado	$t = S\sqrt{h}/268 + 2.5$	5.80	6.35		3.137			500				
Cubierta	$t = S\sqrt{h}/254 + 2.5$	5.07	6.35		1.700			500				
Refuerzos												
Baos Reforzado	$SM = 7.8chs^2$			76.187	1.229	0.6		2	2.573			
Cuaderna Reforzada	$SM = 7.8chs^2$			165.738	1.427	0.915		2	2.853			
Cuaderna Reforzada de Proa	$SM = 7.8chs^2$			147.957	1.348	0.915		2	2.773			
Varenga Reforzada	$SM = 7.8chs^2$			136.625	2.071	0.55		2	2.773			
Varenga Reforzada de Proa	$SM = 7.8chs^2$			29.048	2.954	0.915		2	0.830			
Longitunales de Cubierta	$SM = 7.8chs^2$			13.425	1.229	0.7		0.5	2			
Longitudinales del Costado	$SM = 7.8chs^2$			28.548	2.000	0.915		0.5	2			
Longitudinales del Fondo	$SM = 7.8chs^2$			44.783	3.137	0.915		0.5	2			
Mamparos Estancos												
Planchas, espesor	$t = sk\sqrt{qh}/c + 1.5$	3.95	6.35		2.640	290	0.875	500		1	235	1.052
Refuerzos	$SM = 7.8chs^2$			10.850	1.324	0.3		0.5	2.647			
Mamparo de Colisión												
Planchas, espesor	$t = sk\sqrt{qh}/c + 1.5$	5.38	6.35		3.000	254	1.138	500	2.2	1	235	1.232
Refuerzos	$SM = 7.8chs^2$			13.829	1.435	0.3		0.5	2.87			

Ya obtenido los módulos de sección requeridos para cada elemento, procedemos al dimensionamiento de los baos reforzados, cuadernas reforzadas, varengas reforzadas, refuerzos longitudinales del fondo, de costado y longitudinales de cubierta, calculando su módulo seccional geoméricamente según los parámetros de la figura 4.8. Las siguientes tablas muestran el detalle de estos cálculos.

Tabla N°4.6 Refuerzo principales y auxiliares de cubierta

	Mínimo Requerido		Elegido			
	c	0.70	b	500.00	Y_G [mm]	7.79
h [m]	1.23	h	45	I₁ [mm⁴]	78247.75	
s [m]	0.50	a	40	I₂ [mm⁴]	109070.60	
l [m]	2.00	t1	6.35	I₃ [mm⁴]	415144.29	
		t2	6.35	I_{total} [mm⁴]	602462.64	
		t3	6.35	C[mm]	43.56	
	MS (cm³):	13.597	Perfil:	L	MS (cm³):	13.83
	H/h:	2.67	h/t₂:	8.09	A_{sección} [mm²]:	539.75
	Longitud de Viga (mm):	225690		Peso (Ton):	0.96	

	Mínimo Requerido		Elegido			
	c	0.60	b	666.67	Y_G [mm]	21.67
h [m]	1.23	H	120	I₁ [mm⁴]	1462285.19	
s [m]	2.00	a	75	I₂ [mm⁴]	2019999.26	
l [m]	2.57	t1	6.35	I₃ [mm⁴]	4908539.51	
		t2	6.35	I_{total} [mm⁴]	8390823.95	
		t3	6.35	C[mm]	104.68	
	MS (cm³):	76.187	Perfil:	L	MS (cm³):	80.16
	H/h:	2.67	h/t₂:	19.90	A_{sección} [mm²]:	1238.25
	Longitud de Viga (mm):	19222		Peso (Ton):	0.19	

Tabla N°4.6 Refuerzo principales y auxiliares de costado

Longitudinal de Costado	Mínimo Requerido		Elegido			
	c	0.92	b	500.00	Y_G [mm]	12.65
	h [m]	2.00	h	55	I_1 [mm ⁴]	295578.99
	s [m]	0.50	a	55	I_2 [mm ⁴]	191570.15
	l [m]	2.00	t1	6.35	I_3 [mm ⁴]	1013289.12
			t2	9.5	I_{total} [mm ⁴]	1500438.25
		t3	9.5	C[mm]	48.70	
MS (cm ³):		28.914	Perfil:	L	MS (cm ³):	30.81
H/h:		2.55	h/t ₂	6.79	A _{sección} [mm ²):	1045.00
Longitud de Viga (mm):		229170	Peso (Ton):		1.88	

Cuaderna Reforzada	Mínimo Requerido		Elegido			
	c	0.92	b	666.67	Y_G [mm]	36.86
	h [m]	1.43	H	140	I_1 [mm ⁴]	4816460.71
	s [m]	2.00	a	100	I_2 [mm ⁴]	3256026.24
	l [m]	2.85	t1	6.35	I_3 [mm ⁴]	10429954.02
			t2	9.5	I_{total} [mm ⁴]	18502440.97
		t3	9.5	C[mm]	109.49	
MS (cm ³):		165.738	Perfil:	T	MS (cm ³):	168.98
H/h:		2.55	h/t ₂	15.74	A _{sección} [mm ²):	2280.00
Longitud de Viga (mm):		79800	Peso (Ton):		1.43	

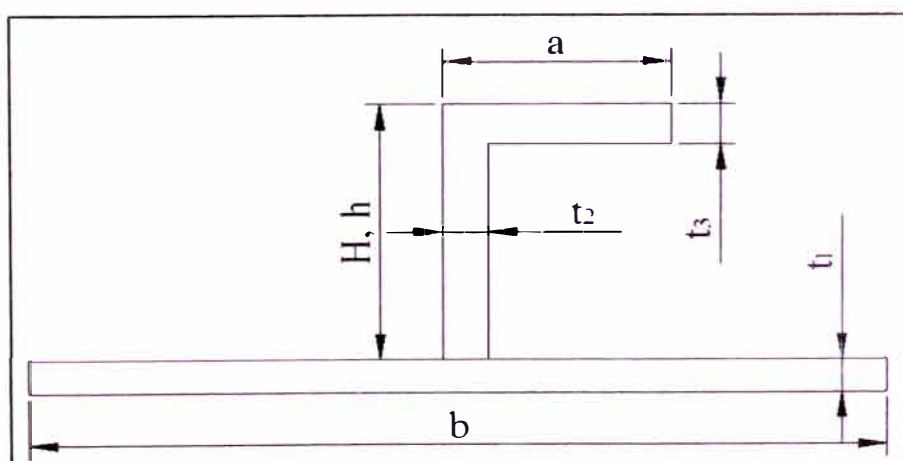


Figura 4.8 Sección Transversal de un elemento estructural en general.

Tabla N°4.8 Refuerzo principales y auxiliares de fondo

Longitudinal de Fondo	Mínimo Requerido		Elegido			
	c	0.92	b	500.00	Y_G [mm]	16.82
	h [m]	3.14	h	75	I_1 [mm ⁴]	602208.48
	s [m]	0.50	a	65	I_2 [mm ⁴]	481149.24
	l [m]	2.00	t1	6.35	I_3 [mm ⁴]	1886896.39
			t2	7.9	I_{total} [mm ⁴]	2970254.11
			t3	7.9	C[mm]	64.53
	MS (cm ³): 44.783		Perfil:	L	MS (cm ³):	46.03
	H/h:	2.33	h/t ₂	10.49	A _{sección} [mm ²):	1106.00
	Longitud de Viga (mm):		239040	Peso (Ton):		2.08

Varenga Reforzada	Mínimo Requerido		Elegido			
	c	0.55	b	666.67	Y_G [mm]	34.59
	h [m]	2.07	H	175	I_1 [mm ⁴]	4192750.84
	s [m]	2.00	a	80	I_2 [mm ⁴]	5906692.70
	l [m]	2.77	t1	6.35	I_3 [mm ⁴]	10474615.38
			t2	6.35	I_{total} [mm ⁴]	20574058.92
			t3	6.35	C[mm]	146.76
	MS (cm ³): 136.625		Perfil:	L	MS (cm ³):	140.19
	H/h:	2.33	h/t ₂	28.56	A _{sección} [mm ²):	1619.25
	Longitud de Viga (mm):		36374	Peso (Ton):		0.46

Tabla N°4.9 Refuerzos de mamparo estanco y de colisión

Refuerzo de Mamparo Estanco	Mínimo Requerido		Elegido			
	c	0.30	b	500.00	Y _G [mm]	7.14
	h [m]	1.32	h	40	I ₁ [mm ⁴]	60516.76
	s [m]	0.50	a	40	I ₂ [mm ⁴]	75121.86
	l [m]	2.65	t1	6.35	I ₃ [mm ⁴]	330726.46
		t2	6.35	I _{total} [mm ⁴]	466365.08	
		t3	6.35	C[mm]	39.21	
MS (cm ³):		10.850	Perfil:	L	MS (cm ³):	11.89
			h/t ₂	7.30	A _{sección} [mm ²):	508.00
Longitud de Viga (mm):		143750	Peso (Ton):		0.57	

Refuerzo de Mamparo de Colisión	Mínimo Requerido		Elegido			
	c	0.30	b	500.00	Y _G [mm]	7.79
	h [m]	1.44	h	45	I ₁ [mm ⁴]	78247.75
	s [m]	0.50	a	40	I ₂ [mm ⁴]	109070.60
	l [m]	2.87	t1	6.35	I ₃ [mm ⁴]	415144.29
		t2	6.35	I _{total} [mm ⁴]	602462.64	
		t3	6.35	C[mm]	43.56	
MS (cm ³):		13.829	Perfil:	L	MS (cm ³):	13.83
			h/t ₂	8.09	A _{sección} [mm ²):	539.75
Longitud de Viga (mm):		25723.2	Peso (Ton):		0.11	

Una vez obtenidas las dimensiones de los elementos estructurales graficamos la sección media y comprobamos que cumple con el mínimo módulo de sección media exigido por el ABS.

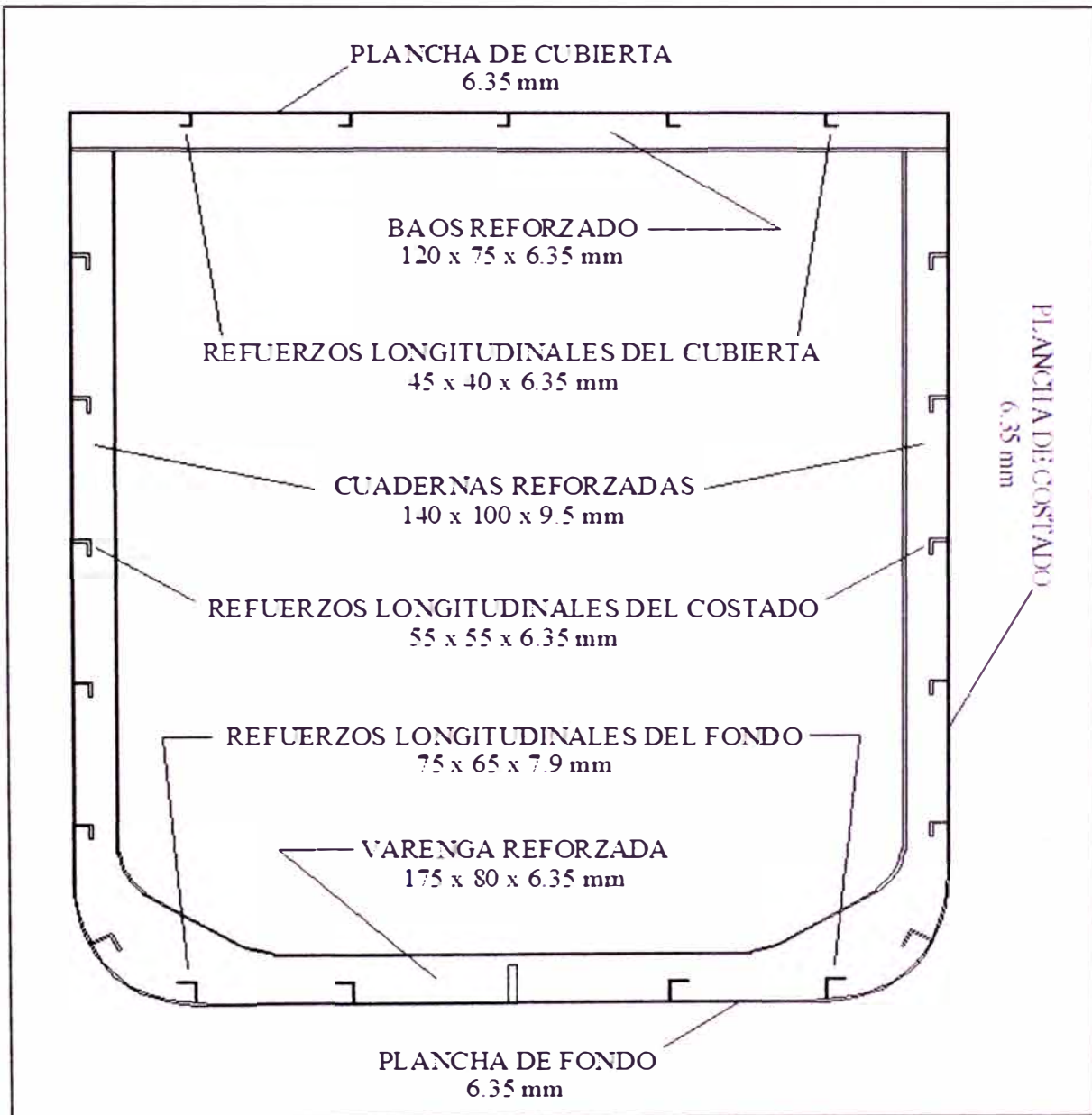


Figura 4.9 Sección Media de la Embarcación

El mínimo módulo de sección exigido por el ABS se calcula con la siguiente fórmula:

$$SM = C_1 C_2 L^2 B (C_b + 0.7)$$

Donde:

$$C_1 = 22.40 - 0.52L \quad , \quad 18 \leq L < 24 \text{ m}$$

$$C_2 = 0.01$$

Del gráfico de la sección media (sin considerar refuerzos auxiliares), obtenemos:

$$I_x: 3.5704E+11 \text{ mm}^4$$

$$A: 95196.1806 \text{ mm}^4$$

$$Y_{CG}: 1490.9474 \text{ mm}^4$$

$$I_{xG}: 1.45426E+11 \text{ mm}^4$$

$$C: 1646.2826 \text{ mm}^4$$

Sabiendo que:

$$MS = \frac{I_{xG}}{C}$$

Finalmente tenemos:

Tabla N°4.10 Módulo de sección de la sección media

MS ABS	MS OBTENIDO
[m-cm ²]	[m-cm ²]
201.041	883.361

Concluimos que nuestra sección media cumple perfectamente con lo exigido por el ABS.

4.2.1 Estructura de Unión entre Cascos

Lamentablemente en la actualidad no existen muchos estudios y mucho menos normas con respecto a la estructura de unión entre cascos en un catamarán, lo que exige al diseñador emplear cálculos de resistencia de materiales y para ello, se requiere estimar las cargas (fuerzas axiales, torques,

fuerza cortante vertical, y, momentos de flexión) que soporta la estructura. No obstante, la estimación de cargas es un estudio minucioso digno de todo un trabajo de investigación y que escapa del alcance de este informe, pero con fines de completar nuestro diseño recurriremos al sobredimensionamiento de esta estructura partiendo de un diseño razonable para una viga de este tipo.

La estructura está formada de planchas 6.35 mm y refuerzos de 9.5 mm de espesor, con los siguientes elementos:

- Plancha superior o de cubierta
- Plancha inferior o del fondo
- Un mamparo longitudinal en línea de crujía
- Ocho mamparos transversales: dos extremos y los otros siete coincidiendo con los mamparos transversales de los cascos.
- Cinco refuerzos transversales ubicados de acuerdo a como están distribuidos en el casco las cuadernas, formando anillos transversales cerrados.

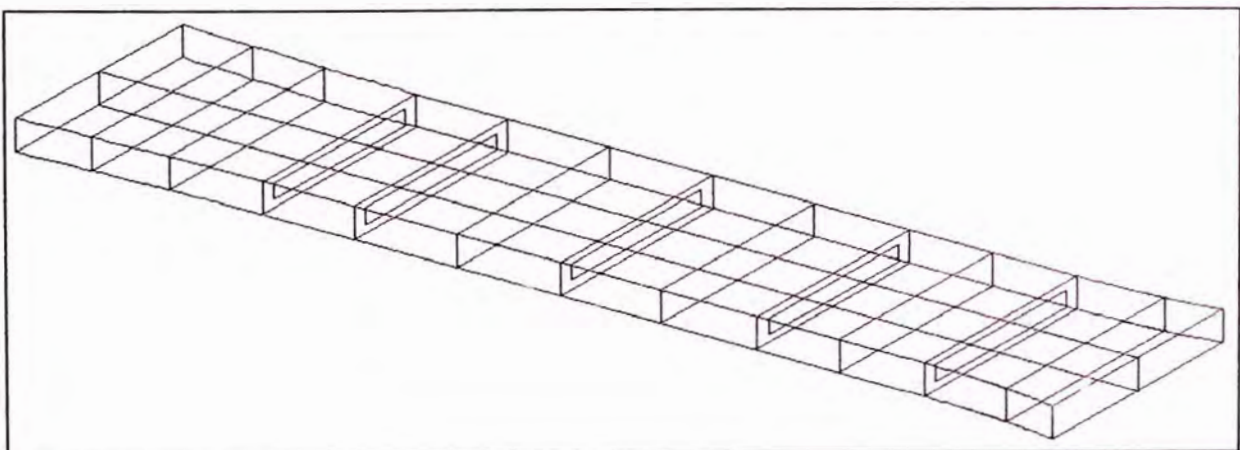


Figura 4.10 Estructura de unión entre cascos

4.2.2 Pesos Estructurales

A continuación, procedemos a calcular el peso de los cascos a partir de las dimensiones estructurales obtenidas.

Tabla N°4.11 Pesos de los componentes de los dos cascos.

CASCOS				
DESCRIPCIÓN	ÁREA	ESPESOR	CANT	PESO
	[mm²]	[mm]		[Ton]
Planchas				
Cubierta	59988817	6.35	2	5.981
Forro del Casco	180755762	6.35	2	18.020
MamparosEstancos	8575865	4.75	10	4.275
Mamparo de Colisión	5788055	6.35	2	0.577
Refuerzos				
Angulo 45x50x6.35	19183650	6.35	1	0.956
Angulo 55x55x9.5	25208700	9.5	1	1.880
Angulo 75x65x7.9	33465600	7.9	1	2.075
Angulo 120x75x6.35	3748290	6.35	1	0.187
Angulo 140x100x9.5	19152000	9.5	1	1.428
Angulo 175x80x6.35	9275370	6.35	1	0.462
Angulo 40x40x6.35	11500000	6.35	1	0.573
Angulo 45x40x6.35	2186472	6.35	1	0.109
PESO TOTAL				36.524

Tabla N°4.12 Pesos de la estructura de unión entre cascos.

ESTRUCTURA DE UNIÓN ENTRE CASCOS				
DESCRIPCIÓN	ÁREA	ESPESOR	CANT	PESO
	[mm²]	[mm]		[Ton]
Forro	86365500	6.35	2	8.610
Mamparos	2448600	9.5	8	1.461
Cuadernas	1404300	9.5	5	0.524
PESO TOTAL				10.595

Podemos ver que el peso estructural obtenido es considerablemente menor que el estimado anteriormente, lo cual podría cubrirnos satisfactoriamente

para incrementar algunos elementos más como cubiertas secundarias de 4.75 mm de espesor bajo la cubierta principal sin sobre pasar el calado de diseño.

Finalmente procedemos a calcular una vez más el peso total de la embarcación y su respectivo centro de gravedad.

Tabla N°4.13 Determinación de la posición del centro de gravedad del catamarán.

DESCRIPCIÓN	PESO	X	Mx	Y	My-
	[Ton]	[m]	[Ton-m]	[m]	[Ton-m]
Cascos	36.524	11.735	428.604	1.569	57.295
Cubierta Principal	8.848	10.919	96.611	4.197	37.132
Cubierta Superior	4.424	14.120	62.467	6.320	27.958
Estructura de unión	10.595	11.735	124.326	3.137	33.240
Maquinaria	3.063	8.841	27.078	1.168	3.578
Combustible	2.150	3.647	7.840	1.043	2.242
Agua	4.159	13.761	57.237	0.582	2.420
TOTAL	69.764	11.527	804.164	2.349	163.865

De manera que la posición del centro de gravedad de la embarcación es:

$$LCG = 11.527 \text{ m}$$

$$VCG = 2.349 \text{ m}$$

Ahora la siguiente tabla muestra la comparación de los resultados tanto conceptual, como preliminar del peso total del catamarán:

Tabla N°4.14 Comparación de pesos y centros de gravedad del catamarán

DESCRIPCIÓN	CONCEPTUAL	PRELIMINAR
Peso Total	67.649 Ton	69.764 Ton
VCG	2.004 m	2.349 m
LCG	10.479 m	11.527 m

4.3 ESQUEMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES

Se esquematizarán los siguientes sistemas auxiliares del buque:

- Agua Dulce
- Eléctrico
- Gobierno

4.3.1 Sistema de Agua Dulce

El consumo diario por persona se asume en 150 litros, y las personas que se transportarán son un total de 27, lo que significa que el consumo de agua es de 4050 litros por día. Esta es la capacidad de agua que puede ser transportada, pero se tiene una desalinizadora que permite alcanzar constantemente esta capacidad de agua. Para calcular la potencia de la bomba principal del circuito de agua dulce consideraremos los caudales sugeridos por Grundfos (ver figura 4.11), reconocida compañía danesa fabricante de bombas y líder en el mercado.

Asumiremos una situación en la que se encuentran abiertos simultáneamente una ducha, un grifo de cocina y un lavatorio de manos.

La tabla 4.15 muestra los caudales para estos 3 casos asumidos, así como también sus respectivas alturas estáticas (H_s), pérdidas por tuberías (H_f) y altura dinámica total (ADT), considerando que la bomba se encuentra junto al tanque de agua en cada casco.

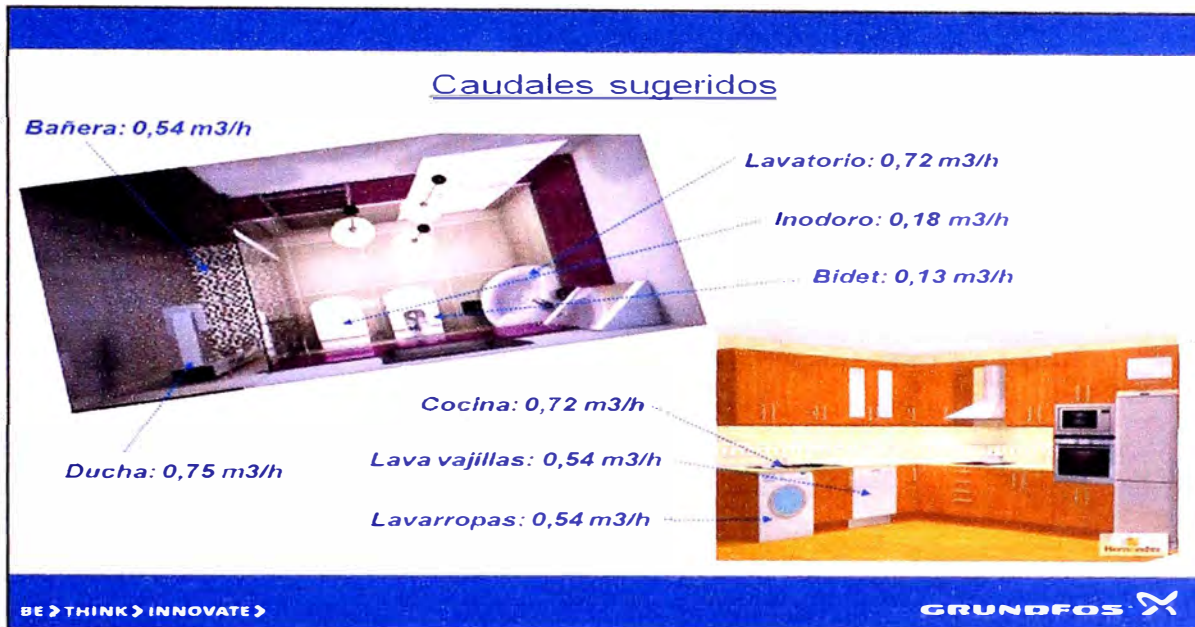


Figura 4.11 Caudales sugeridos.

Tabla N°4.15 Cálculo del punto de operación de la bomba requerida.

DESCRIPCIÓN	CAUDAL	LONGITUD	H _s	H _f	ADT
	[m ³ /h]	[m]	[m]	[m]	[m]
Ducha	0.75	10.29	7.09	0.092	7.182
Cocina	0.72	8.34	4.08	0.069	4.149
Lavatorio	0.72	16.86	4.08	0.139	4.219
TOTAL	2.19				15.55

Con el caudal y ADT resultante seleccionamos la bomba Grundfos MQ 3-25.



Figura 4.12 Bomba seleccionada. Grundfos MQ 3-25

4.3.2 Sistema Eléctrico

El balance eléctrico del Catamarán se llevará a cabo para tres condiciones de carga [6], que son:

1. Normal.- Para el sistema de aire acondicionado, sensores electrónicos encendidos, luces de camarotes y áreas comunes en servicio.
2. Puerto.- Para los sistemas de radio.
3. Entrada y Salida de Puerto.- Todos los sistemas operando en su máxima capacidad.

La electricidad a bordo de la embarcación está dispuesta como sigue:

1. Circuito Alterno 230 VAC 3 Ph 60 Hz para:

Alumbrado

Cargador de baterías

Bomba hidróforo No 1

Cocina

Extractor de aire de sala de máquinas

Ventilador de aire de sala de máquinas

Bombas de achique

Bomba contra incendio

Winche de fondeo

Extractores y tomacorrientes

Unidades de acondicionamiento de aire

Planta desalinizadora

2. Circuitos Continuos VDC

Arranque de motores propulsores

Arranque de generadores

Alumbrado de emergencia

3. Circuitos de Aterrizamiento

Corriente AC

Corriente DC

Los equipos eléctricos a bordo son:

1. Amarre

2. Fondeo

3. Acondicionamiento de aire, y ventilación

4. Planta desalinizadora

4.3.3 Sistema de Gobierno

Para obtener mayor maniobrabilidad, se ha considerado la instalación de una pala por casco, cuyas dimensiones serán obtenidas de la fórmula descrita por Det Norske Veritas, [3] pág. 608; el área de la pala no debe ser menor que el dado la fórmula siguiente, aplicable a timones que trabajan detrás del chorro de la hélice propulsora:

$$AR = 0.01 \times L_{pp} \times T \left[1 + 50 \times CB^2 \left(\frac{B}{L_{pp}} \right)^2 \right]$$

De modo que la mínima área de pala requerida según esta fórmula es de 0.252 m².

Si la empleamos la primera aproximación dada en [3] pág. 608, en la cual el área de la pala varía entre el 1.5% y 2.5% del producto $L_{pp} \times T$, el área de nuestra pala estaría entre 0.28 y 0.47 m².

Por lo tanto considerando el diámetro de la hélice que debe colocarse (64 cm) tomaremos como área de pala del Catamarán un valor de 0.3 m².

CAPÍTULO 5

SEGUNDA FASE DEL DISEÑO PRELIMINAR

5.1 CÁLCULO DE RESISTENCIA Y PROPULSIÓN

Para el cálculo de la Propulsión de la embarcación, se empezará por estimar la Resistencia Total al avance. Para esto emplearemos el programa Hullspeed de Maxsurf, el cual es capaz de predecir la resistencia total al avance (residual y fricción), mediante diferentes métodos basados en regresión, según el tipo de embarcación. Estos métodos son: Savitsky (Pre-planing), Savitsky (Planing), Lahtiharju, Holtrop, Compton, Fung, van Oortmerssen, Series 60, Delft Series I, II and III.

En nuestro caso tenemos que: $C_p = 0.667$, $L/B = 8.46$, $B/T = 3.26$. Por lo tanto usaremos el método de Holtrop debido a que se cumple perfectamente con sus requisitos, que son:

$$0.55 < C_p < 0.85$$

$$3.9 < L/B < 15$$

$$2.1 < B/T < 4.0$$

Para proceder con el cálculo, ingresamos el calado de diseño en el Hullspeedy un rango de velocidades de análisis de 5 a 12 nudos. Así pues, obtenemos los siguientes resultados.

Tabla N°5.1 Resistencia al avance obtenido del Hullspeed

VELOCIDAD	HOLTROP RESISTENCIA	HOLTROP POTENCIA
[nudos]	[kN]	[kW]
5	--	--
5.2	0.96	2.58
5.4	1.05	2.91
5.6	1.14	3.28
5.8	1.24	3.69
6	1.34	4.15
6.2	1.46	4.65
6.4	1.58	5.2
6.6	1.71	5.8
6.8	1.84	6.45
7	1.99	7.15
7.2	2.14	7.93
7.4	2.31	8.81
7.6	2.51	9.8
7.8	2.72	10.9
8	2.94	12.1
8.2	3.16	13.35
8.4	3.38	14.61
8.6	3.59	15.86
8.8	3.77	17.09
9	3.95	18.3
9.2	4.13	19.53
9.4	4.31	20.83
9.6	4.5	22.22
9.8	4.71	23.77
10	4.96	25.5
10.2	5.23	27.46
10.4	5.55	29.69
10.6	5.91	32.23
10.8	6.32	35.11
11	6.78	38.36
11.2	7.29	42.03
11.4	7.86	46.12
11.6	8.71	51.95
11.8	9.62	58.4
12	10.54	65.05
12.2	11.46	71.89
12.4	12.38	78.95
12.6	13.3	86.2
12.8	14.22	93.66
13	15.15	101.32

A continuación se muestran estos resultados en forma gráfica.

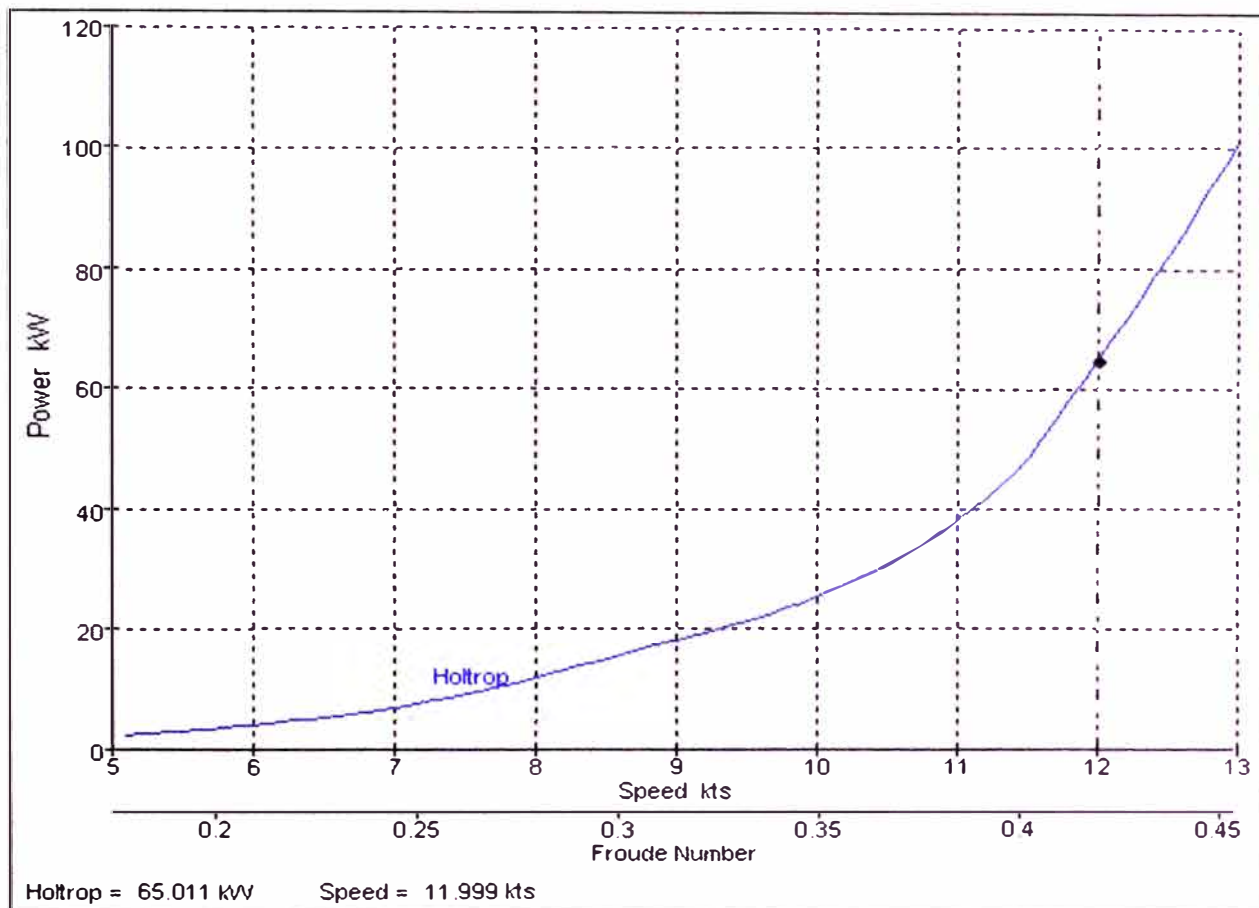


Figura 5.1 Resistencia al avance obtenido del Hullspeed

Vemos que para el punto de diseño (12 nudos) la resistencia al avance total es de 65.05 kW (87.23 HP).

Una vez obtenida la resistencia al avance procedemos a diseñar la hélice respectiva, para lo cual emplearemos la serie B-Wageningen. Para esto utilizaremos una hoja de cálculo elaborada por el ingeniero naval del astillero Maggiolo, Jhon Schuler Frantzen. Esta hoja de cálculo utiliza la serie B-Wageningen tabulada y mediante unos datos de entrada como la resistencia hallada anteriormente, C_p , C_m , RPM de la hélice, etc. y un proceso iterativo nos permite hallar las dimensiones de hélice adecuadas para que la potencia

de empuje sea igual o mayor a la de la resistencia total del casco para la velocidad de 12 nudos y no haya cavitación. Para mayor detalle de esta hoja de cálculo, ver el Apéndice D. Finalmente, la hélice obtenida tiene las siguientes características:

Número de palas	:	4
Diámetro	:	0.64 m
Paso	:	0.85 m
RPM	:	810
Torque	:	1898.5 N-m
Empuje	:	14590.35 N
Eficiencia	:	0.412

Con el torque hallado, la potencia del eje de la hélice es de 215.87 HP y, si consideramos una eficiencia de transmisión y ejes de 0.85, la potencia requerida de cada motor es de 253.96 HP.

Para este requerimiento de potencia, seleccionaremos el motor **Volvo Penta D4-300**, cuyas curvas de potencia y consumo se muestra a continuación.

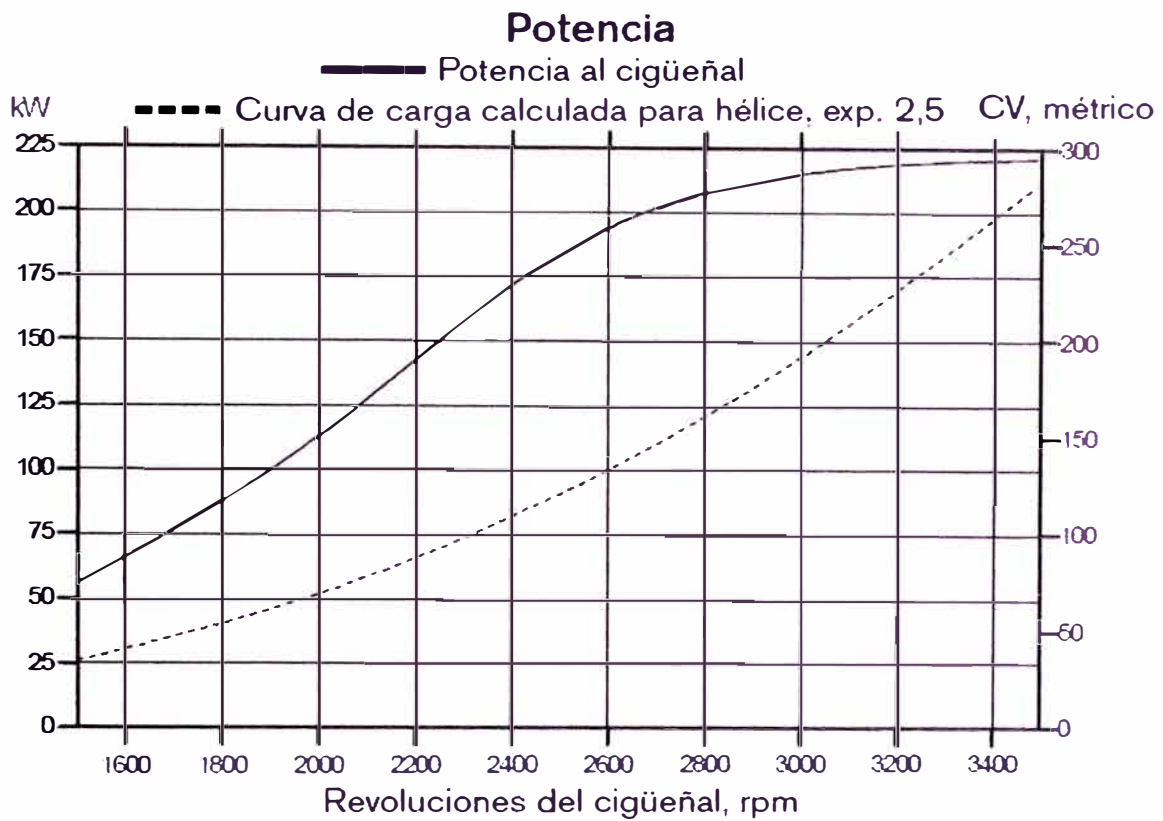


Figura 5.2 Curva de potencia del motor volvo Penta D4-300

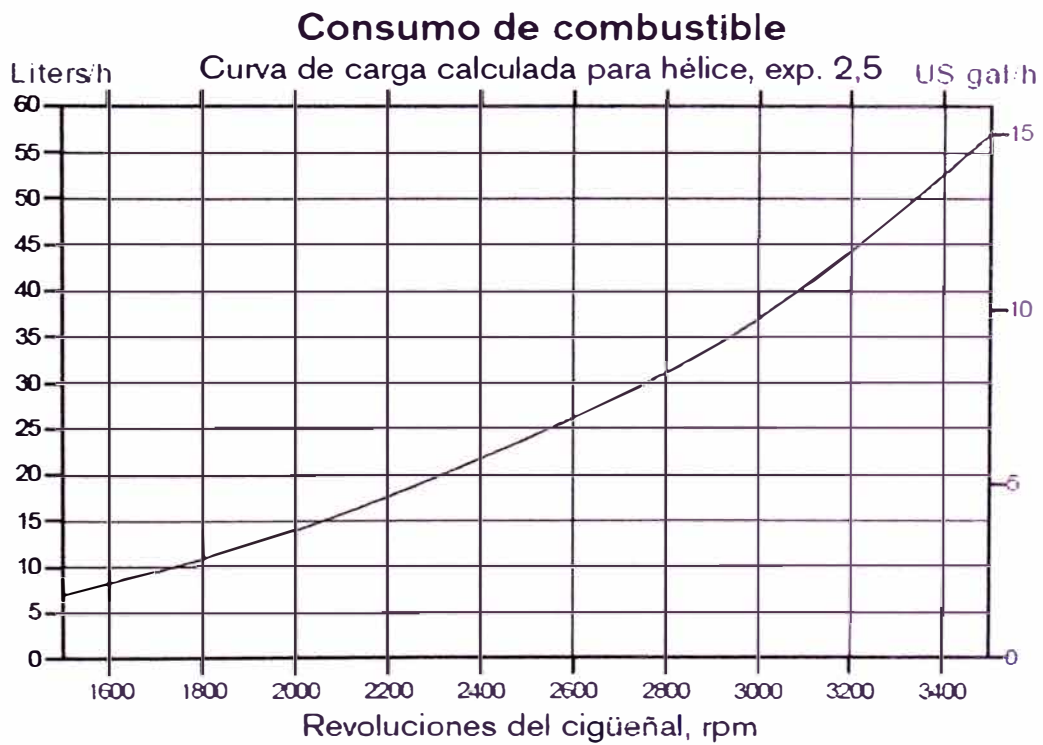


Figura 5.3 Curva de consumo de combustible del motor volvo Penta D4-300

De las curvas determinamos que, para 12 nudos, el motor opera a **2540 RPM** con un consumo de combustible de 25 l/h.

5.2 ESTIMACIÓN DE COSTOS

Para la estimación de costos se ha considerado la construcción de cada casco, estructura de unión y superestructura por separado.

El costo de la parte estructural del catamarán fue estimado tomando de la tabla 23 el peso total del casco y de la estructura de unión más un 10% por concepto de desperdicio de material y en base al costo de una plancha de acero de 4x8 pies de $\frac{1}{4}$ pulgadas de espesor disponible en el mercado local, cuyo precio es de US\$900, y cuyo peso es de 0.148 Ton.

Para el costo de la superestructura se consideró un costo de \$65 por m² de plancha de material compuesto (espuma de PVC de $\frac{1}{2}$ pulg, resina y fibra de vidrio).

Para la estimación del Costo de personal se consideró que se necesitarán cinco grupos de trabajo; cada grupo consiste en un calderero, un ayudante y un soldador clasificado; adicionalmente se contratarán a 3 esmeriladores. Todos los trabajadores contarán con un sueldo de acuerdo a la categoría del personal y permitido por la ley. Se considerará un avance diario de 120 kg de acero procesado por grupo, que en total serían 600 kg por día. Esto implica un periodo de trabajo de 85 días laborables o 4 meses.

Tabla N°5.2 Estimación del costo del personal

PERSONAL	CANTIDAD	SALARIO	BENEFICIOS DE LEY	TIEMPO TOTAL	PAGO TOTAL
		[S/. x día]		[días]	[S/.]
Soldadores	5	60	25%	85	31875.00
Ayudantes	5	45	25%	85	23906.25
Calderero	5	70	25%	85	37187.50
Esmerilador	3	50	25%	85	15937.50
TOTAL					108906.25

Para la estimación del costo de soldadura se tomó el peso total de los cascos y unión estructura de unión entre cascos y se estimó en 5% aproximadamente del peso total del acero estructural por concepto de material de soldadura del catamarán.

La siguiente tabla muestra en detalle el desglose de la estimación de costos del casco, superestructura, estructura de unión transversal, así como también el costo del arenado y pintura, maquinaria y mano de obra del catamarán:

Tabla N°5.3 Estimación de costos principales del catamarán

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO	
			UNITARIO	TOTAL
Cascos	40.18	Ton	\$6,073.22	\$244,001.35
Superestructura	476.46	m ²	\$65.00	\$30,969.98
Estructura de unión	11.65	Ton	\$6,072.22	\$70,766.50
Soldadura	2.53	Ton	\$6,072.22	\$15,376.65
Motor Principal	2	unidades	\$39,250.00	\$78,500.00
Generador Eléctrico	2	unidades	\$14,850.00	\$29,700.00
Arenado y pintura	-	-	-	\$14,500.00
Costo de Personal	-	-	-	\$41,887.02
TOTAL				\$526,061.22

Los costos mostrados no incluyen el diseño previo a la construcción y deben estar de acuerdo a los requerimientos establecidos por las autoridades

competentes; además del costo total que se indica en la tabla 5.3, deben sumarse los costos por sistema de propulsión, y otros equipos auxiliares en las salas de máquinas y áreas de ingeniería en general y equipos electrónicos y de navegación. Además habrá que considerar los costos de los acabados de interiores en las áreas de vivienda y comunes.

El costo total del catamarán, en lo que se refiere a la estructura, motores principales y generadores de **\$526,061.22**.

CONCLUSIONES

Una vez diseñado en forma preliminar el catamarán de pasajeros para servicios turísticos en mar peruano, aplicando la espiral de diseño en sus dos primeros niveles, conceptual y preliminar, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- 1 El método de las regresiones para determinar las dimensiones principales de un catamarán es un buen punto de partida, sin embargo, es inevitable realizar grandes modificaciones de proporciones geométricas según los requerimientos del diseño particular que se está llevando a cabo, pudiendo este diseño llegar a ser parte de un buen dato histórico para futuros diseños.
- 2 Al completar la primera vuelta de la espiral de diseño, se obtuvieron las dimensiones principales del catamarán conceptualmente, llegándose a encontrar una variación notoria entre el desplazamiento y la suma de los pesos de la embarcación. Además se notó que el espacio para la hélice era muy pequeño, en función de la potencia para impulsar la embarcación. Todo esto llevo a establecer cambios en las dimensiones principales, que se realizaron posteriormente en la etapa del diseño preliminar. De manera que se corrobora la importancia de la filosofía de la espiral de diseño: asumir y comprobar.

- 3 Se encontró más fácil la preparación de la distribución general en el catamarán que en una embarcación monocasco debido al incremento en área: primero bajo cubierta donde los espacios permiten una mejor distribución tanto de sala de máquinas, camarotes de tripulación, tanques de combustible y agua. Luego sobre cubierta, donde los espacios de los camarotes de pasajeros son amplios y cómodos, permitiendo tener el comedor en el mismo piso, y estar aislados del puente de gobierno y camarote del capitán, ubicados encima de este nivel. Por lo tanto, se concluye que en un catamarán el diseño y/o distribución de compartimientos es más viable.
- 4 En la segunda parte del diseño preliminar seleccionamos un motor principal con una potencia mucho mayor al del diseño conceptual, lo cual implica un consumo de combustible de casi el doble al calculado anteriormente. Esto se traduce en el doble de capacidad del tanque de combustible; no obstante, esto no representa un mayor problema debido a que estos tanques fueron ubicados estratégicamente en un lugar que les permite ampliar sus dimensiones. Se concluye entonces que durante el diseño es necesario tomar en cuenta los cambios correspondientes a un próximo rediseño, de modo que no se altere en gran medida la base del diseño original.
- 5 El costo del catamarán ha sido estimado con valores reales y actuales en nuestro medio, tanto para la construcción del casco, superestructura y, equipos principales, como para el costo de materiales y mano de obra. A partir del valor total obtenido nos lleva a pensar que su construcción es viable en el medio.

- 6 Por último, la construcción de esta embarcación en acero naval brindará una mayor confiabilidad para el tipo de servicio al que está destinada, es decir, largas travesías y navegación por zonas de no tan fácil acceso como las islas guaneras mencionadas.

RECOMENDACIONES

- 1 Debe completarse las vueltas que sean necesarias en la continuación de la espiral de diseño, ya que permite ir detectando posibles errores y corregirlos en las etapas posteriores. La recomendación más importante sobre este aspecto, es que a medida que se va diseñando el catamarán, debe examinarse el valor del peso de la embarcación, comparándolo respecto al desplazamiento.
- 2 Se deben corroborar las estimaciones del factor de interferencia en forma experimental, que permitan comparar las zonas con valores positivos como negativos. De esta forma quizás se puedan establecer zonas de trabajo económicas.
- 3 Se debe realizar un análisis de la plancha reforzada de la superficie superior de la estructura de unión transversal, sometida a flexión local, sometida a los diferentes pesos que se soporta.
- 4 Al dimensionar tanques en el diseño conceptual, se debe verificar que se cuenta con un espacio adicional en tal compartimiento en caso haya la

necesidad de incrementar el volumen del tanque en la etapa del diseño preliminar.

BIBLIOGRAFÍA












1. D. J. Eyres, Ship Construction. Department of Maritime Studies. Fifth edition, 2001.
2. ABS, Rules for Building and Classing - Steel Vessels under 90 meters(295 feet) in Lenght, 2012.
3. Albariño, R., Aspiro, J., Meizoso, M., El Proyecto Básico del Buque Mercante, Fondo Editorial de Ingeniería Naval., 1997.
4. Fry, E., and Grad T., Design and Application of Modern High-speed Catamarans. Marine Technology, SNAME, Julio 1972.
5. FAO, II Curso de Diseño de Embarcaciones Pesqueras, Guayaquil 1980
6. Baquerizo, M., Lecciones de Electricidad Aplicada al Buque. Fondo Editorial de ingeniería Naval, 1976

APÉNDICES

APÉNDICE A
ESCALA DE BEAUFORT

La Escala de Beaufort es una medida empírica para la intensidad del viento, basada principalmente en el estado del mar y de sus olas. Su nombre completo es Escala de Beaufort de Fuerza de Vientos.

GRADO	VELOCIDAD			NOMBRE		ALTURA DE OLAS
	[m/s]	[Nudos]	[km/h]	Español	Inglés	[m]
0	0 - 0.2	< de 1	0 - 2	Calma	Calm	0
1	0.3 - 1.5	1 - 3	2 - 6	Ventolina	Light air	0.1
2	1.6 - 3.3	4 - 6	7 - 11	Brisa muy débil	Light breeze	0.2 - 0.5
3	3.4 - 5.4	7 - 10	12 - 19	Brisa débil, flojo	Gentle breeze	0.6 - 1
4	5.5 - 7.9	11 - 16	20 - 29	Bonacible, brisa moderada	Moderate breeze	1 - 2
5	8.0 - 10.7	17 - 21	30 - 39	Brisa fresca, fresquito	Fresh breeze	2 - 3
6	10.8 - 13.8	22 - 27	40 - 50	Fresco, Brisa fuerte, moderado	Strong breeze	3 - 4
7	13.9 - 17.1	28 - 33	51 - 61	Frescachón, viento fuerte	Near gale	4 - 5.5
8	17.2 - 20.7	34 - 40	62 - 74	Temporal, viento duro	Gale	5.5 - 7
9	20.8 - 24.4	41 - 47	75 - 87	Temporal fuerte, viento muy duro	Strong Gale	7 - 9
10	24.5 - 28.4	48 - 55	88 - 101	Temporal duro	Storm	10 - 11.5
11	28.5 - 32.6	56 - 63	102 - 117	Temporal muy duro, borrasca	Violent Storm	11.5 - 14
12	> de 32.7	> de 64	> de 118	Temporal huracanado	Hurricane	+14

GRADO	EFFECTO EN EL MAR	SÍMBOLO
0	La mar está como un espejo.	
1	La mar empieza a rizarse.	
2	Olas pequeñas que no llegan a romper.	
3	Olas cuyas crestas empiezan a romper. Borreguillos dispersos.	
4	Olas un poco largas. Numerosos borreguillos.	
5	Olas moderadas y alargadas. Gran abundancia de borreguillos y eventualmente algunos rociones.	
6	Comienza la formación de olas grandes. Las crestas de espuma blanca se ven por doquier. Aumentan los rociones y la navegación es peligrosa para embarcaciones menores.	
7	La espuma es arrastrada en dirección del viento. La mar es gruesa.	
8	Olas altas con rompientes. La espuma es arrastrada en nubes blancas.	
9	Olas muy gruesas. La espuma es arrastrada en capas espesas. La mar empieza a rugir. Los rociones dificultan la visibilidad.	
10	Olas muy gruesas con crestas empenachadas. La superficie de la mar parece blanca. Visibilidad reducida. La mar ruge.	
11	Olas excepcionalmente grandes (los buques de mediano tonelaje se pierden de vista). Mar completamente blanca. Visibilidad muy reducida. La navegación se hace imposible.	
12	El aire está lleno de espuma y de rociones. La visibilidad es casi nula. Se imposibilita toda navegación.	

APÉNDICE B

MEMORIA DE CONSTRUCCIÓN DEL CATAMARÁN OCEAN JEDI

ARQUEO

1) Dimensiones Principales

	Licencia	Real
Eslora (m):	17.67	17.74
Manga (m):	08.88	08.93
Puntal (m):	02.63	02.65

2) Manga de cada Pontón:2.38 m

3) Dimensiones de la Quilla

L = 4.21 m

B = 0.80 m

H = 0.26 m

4) Pique de Proa (Bajo Cubierta)

	Babor	Estribor
Eslora (m):	1.930	1.855
Manga (m):	0.920	0.900
Puntal (m):	1.160	1.125

5) Sala de Máquinas (Bajo Cubierta)

	Babor	Estribor
Eslora (m):	4.650	4.670
Manga (m):	2.320	2.210
Puntal (m):	2.385	2.380

6) Espacio Habitable (Bajo Cubierta)

	Babor	Estribor
Eslora (m):	11140	11125
Manga (m):	2380	2380
Puntal (m):	2120	2110

Nota: Incluye dormitorios, baños y pasillos.

7) Espacio Habitable (Sobre Cubierta)

L = 3.80 m

B = 7.44 m

H = 4.17 m

Nota: Sobre la plataforma entre pontones.

8) Compartimientos de Proa fuera de los Pontones

	Babor	Centro	Estribor
Eslora (m):	1.400	1.400	1.395
Manga (m):	1.125	2.095	11.45
Puntal (m):	0.920	0.920	0.920

9) Altura de Baranda: no instalada aún

No lleva amurada

10) Escotilla de Sala de Máquinas

	Babor	Estribor
Eslora (m):	0.800	0.800
Manga (m):	0.773	0.752
Puntal (m):	0.300	0.300

11) Pantoque o Codillo: Pantoque

12) Motor Principal

Cantidad: 2 unidades

Marca: Volvo Penta

Modelo: D3-110

Nº de Serie:

Potencia: 110 HP

RPM: 3000

13) Motor Auxiliar

No aplicable

14) Grupo Electrónico

Cantidad: 2 unidades

Marca: Northern Lights

Potencia: 12 KW

Voltaje: 120/240 V

ÁREAS HABITABLES

Salón Principal: 12.5 m²

Puente de Mando: 7 m²

Habitaciones matrimoniales: 8.5 m²

Habitación del Capitán: 7.5 m²

Habitación de Tripulantes: 7.5 m²

Cocina: 12 m²

Comedor: 12.5 m²

PESOS

Plataforma de Unión Transversal

Fecha de medición: 15 de Setiembre del 2008

Peso = 3311.85 kg

Pontones con Plataforma de Unión Transversal

Fecha de medición: 18 de Octubre del 2008

Peso = 13354.96 kg

Catamarán sin Equipamiento

Fecha de medición: 21 de Noviembre del 2008

Peso = 20627.56 kg

INSTALACIÓN DE EQUIPOS

Motor de Estribor: 6 de Diciembre del 2008

Cableado: terminado el 12 de Diciembre del 2008

Motor de Babor: 15 de Diciembre del 2008

Bomba de Agua Dulce: 3 de Enero del 2009

Banco de Baterías: 10 de Enero del 2009

Grupo electrógeno: 15 de Enero del 2009

$$V = 12 \text{ nudos}, V_a/V = 0.85 \rightarrow V_a = 10.2$$

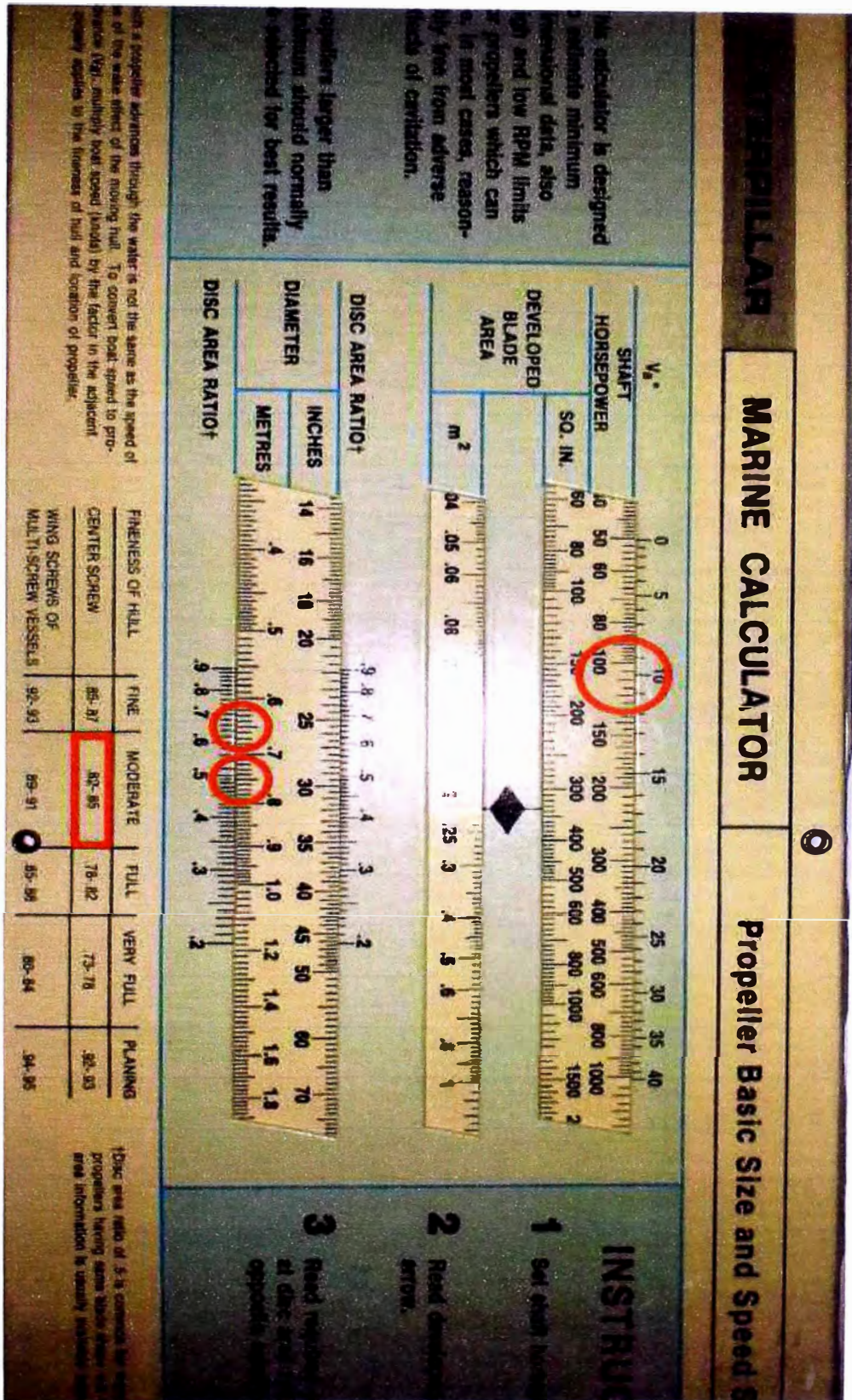


Figura C.2 Determinación del área desarrollada y del diámetro de la hélice.

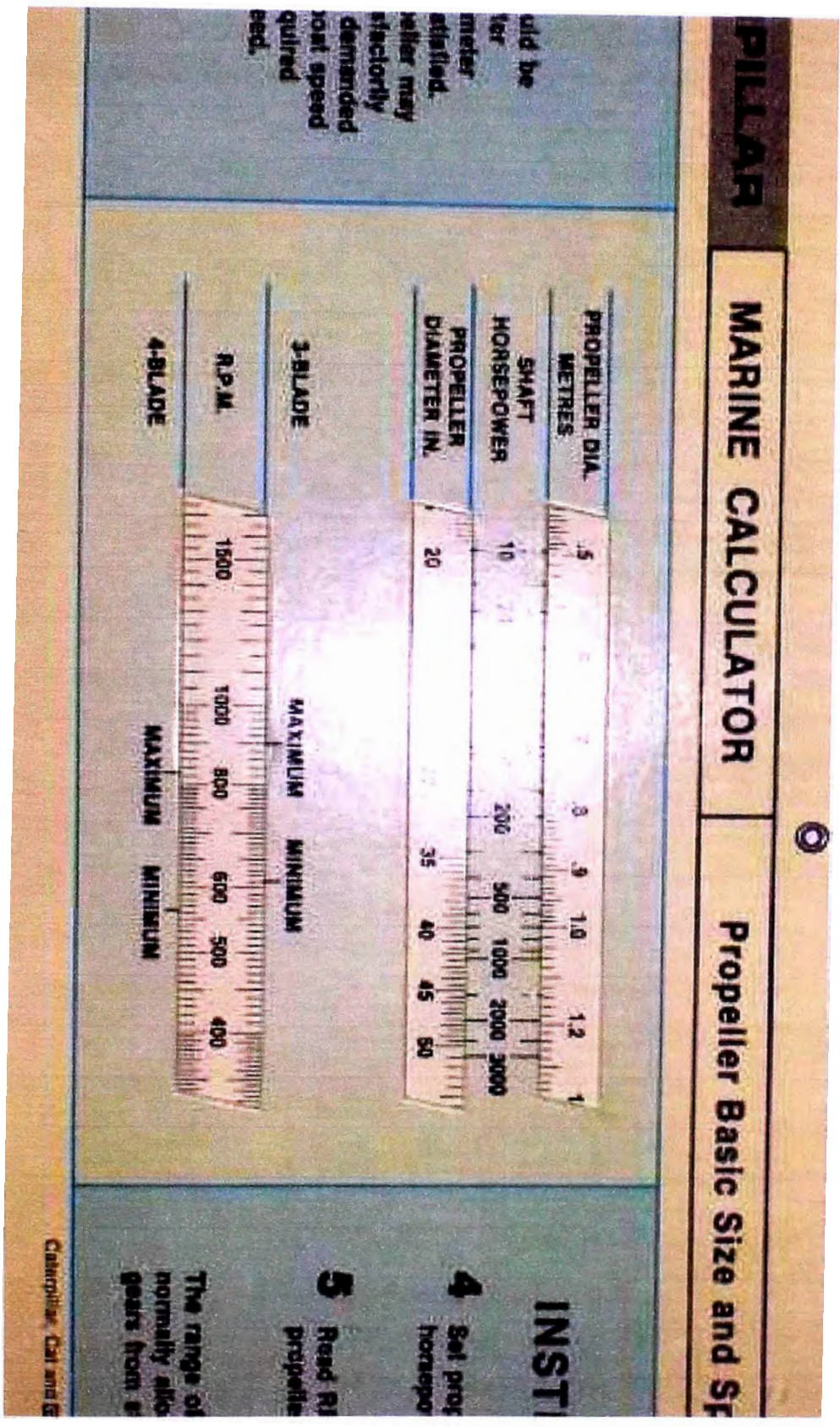


Figura C.3 Determinación de las RPM de la hélice.

APÉNDICE D
**HOJA DE CÁLCULO PARA CÁLCULO DE HÉLICE DE LA SERIE B-
WAGENINGEN**

Nomenclatura	
A_E/A_O	Proporcion area disco
C_{stuv}^Q	Coficiente de la expersion polinomial de K_Q
C_{stuv}^T	Coficiente de la expersion polinomial de K_T
D	Diametro de la hélice
J	Coficiente de avance
K_Q	Coficiente de torque
K_T	Coficiente de empuje
n	Revolucionesporsegundo
P/D	Relacionpasodiametro
Q	Torque
Re	Numero de Reynolds
T	Empuje
t/c	Relacion del espesor y el cordon de las pala de la hélice
V_A	Velocidad de avance
Z	Numero de palas
η	Eficiencia del propulsor de ensayo de propulsor aislado
ρ	Densidad de fluido

Introducción

$$K_T = T / (\rho n^2 D^4)$$

$$K_Q = Q / (\rho n^2 D^5)$$

$$J = V_A / (nD)$$

$$\eta = JK_T / (2\pi K_Q)$$

Calculo de K_T , K_Q y Eficiencia para Hélices de la Serie B - Wageningen - MICHIGAN

DATOS		UNID
V_A	4.5501315	m/s
D	0.64	m
P	0.85	m
A_E/A_O	1.1	---
# de palas (Z)	4	---
Reb. / segundo	13.5	1/s

Observacion:
Ingrese los datos en las celdas de color **ROJO**

VARIABLE	J	P/D	A_E/A_O	Z
S	0.5266356	1.328125	1.1	4

TABLA DE COEFICIENTES					Productos
C^T_{stuv}	s	t	u	v	K_{Ti}
SUMATORIA DE TERMINOS (K_T)					0.466102937

K_T	0.466102937
-------------------------	--------------------

TABLA DE COEFICIENTES					Productos
C^Q_{stuv}	s	t	u	v	K_{Qi}
0.00379368	0	0	0	0	0.00379368
0.00886523	2	0	0	0	0.002458728
-0.032241	1	1	0	0	-0.022550577
0.00344778	0	2	0	0	0.006081594
-0.0408811	0	1	1	0	-0.059724732
-0.108009	1	1	1	0	-0.083100146
-0.0885381	2	1	1	0	-0.035874202
0.188561	0	2	1	0	0.365866345
-0.00370871	1	0	0	1	-0.007812555
0.00513696	0	1	0	1	0.0272901
0.0209449	1	1	0	1	0.058598627
0.00474319	2	1	0	1	0.006988595

-0.00723408	2	0	1	1	-0.008827879
0.00438388	1	1	1	1	0.013491508
-0.0269403	0	2	1	1	-0.209089877
0.0558082	3	0	1	0	0.008966466
0.0161886	0	3	1	0	0.041717554
0.00318086	1	3	1	0	0.004316824
0.015896	0	0	2	0	0.01923416
0.0471729	1	0	2	0	0.030059943
0.0196283	3	0	2	0	0.003468955
-0.0502782	0	1	2	0	-0.080798639
-0.030055	3	1	2	0	-0.007054588
0.0417122	2	2	2	0	0.02469146
-0.0397722	0	3	2	0	-0.112740989
-0.00350024	0	6	2	0	-0.023244323
-0.0106854	3	0	0	1	-0.006242828
0.00110903	3	3	0	1	0.001517927
-0.000313912	0	6	0	1	-0.006891307
0.0035985	3	0	1	1	0.002312623
-0.00142121	0	6	1	1	-0.034319792
-0.00383637	1	0	2	1	-0.009778586
0.0126803	0	2	2	1	0.108256204
-0.00318278	2	3	2	1	-0.010008967
0.00334268	0	6	2	1	0.088792007
-0.00183491	1	1	0	2	-0.020534489
0.000112451	3	2	0	2	0.000463545
-2.97228E-05	3	6	0	2	-0.000381219
0.000269551	1	0	1	2	0.002498411
0.00083265	2	0	1	2	0.004064392
0.00155334	0	2	1	2	0.048223319
0.000302683	0	6	1	2	0.029237108
-0.0001843	0	0	2	2	-0.003568048
-0.000425399	0	3	2	2	-0.01929384
8.69243E-05	3	3	2	2	0.00057583
-0.0004659	0	6	2	2	-0.049503029
5.54194E-05	1	6	2	2	0.003101067
SUMATORIA DE TERMINOS (K_Q)					0.094726357

K_Q	0.094726357
-------	-------------

EFICIENCIA
0.41242154

Sin corrección por efecto de Reynolds

Corrección por efecto del número de Re

Re	2000000
----	---------

ΔK_T	-0.00056559
--------------	-------------

ΔK_Q	-7.65564E-05
--------------	--------------

RESULTADO FINAL: CON CORRECCION POR EFECTO REYNOLDS

K_T	0.46553734 7
-------	-----------------

K_Q	0.09464980 1
-------	-----------------

EFICIENCIA
0.412254266

Datos de la nave

EHP Método numérico	87.23348693	Hp
Torque	1898.501639	N-m
Empuje	14590.35387	N
RPM Hélice	810	rpm
V del buque	12	kn
Número de helices	1	<1 - 2>
C de sección Media	0.969	<0.6 - 1>
C prismático	0.667	<0.55 - 0.7>
Eficiencia transmisión y ejes	0.85	

Va	4.550131487	m/s
Pot del eje de la hélice	215.8667663	Hp
Pot Motor (cada motor)	253.9609015	Hp
Pot de empuje (cada Hélice)	88.99199537	Hp
EHP Método numérico	87.23348693	Hp
Condición de Carga	98.0239701	%
Eficiencia total propulsión	0.350416126	

RPM motor	2500
Relación de caja reductora	3.08641973308642

Cavitación método keller

A_E/A_O	1.056378241	No debe ser tomado menos de este valor
H	0.498	Inmersión de la línea de eje de hélice m
K	0.2	<0,1(dos helices)-0,2(una hélice)>

El polinomio de regresión puede ser usado cuando:

Z o # de palas es un valor entre **2** y **7** incluyendo a estos

Cuando A_E/A_O tiene un valor no menor a **0,3** y no mayor a **1,05**

y Cuando P/D se encuentra entre **0,5** y **1,4**