

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Diseño preliminar de una embarcación rápida fluvial para transporte público en el tramo ecuatoriano del río Napo

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Naval

Presentado por:

Stalyn Raúl Zapata Aponte

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado a mis padres, Juan Zapata y Farita Aponte quienes gracias a su apoyo, paciencia y consejos he podido alcanzar esta nueva meta de mi vida, a mi hermana, mi confidente quien con sus consejos y apoyo me ha sabido orientar durante mi trayecto de aprendizaje.

Me siento muy orgulloso de mi nueva meta y de ser Ingeniero Naval.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios quien es el que me permite levantarme cada día con esas ganas de seguir adelante y con la misma humildad que me caracteriza.

A mis padres, por el esfuerzo realizado para que yo pueda tener una educación digna y decente.

A mis profesores, quienes me han impartido su apoyo y conocimiento durante mi proceso de preparación.

Al Doctor Rubén Paredes, quien me guio de la manera adecuada durante el proyecto.

Finalmente, a mi familia, amigos y a G. S. P. quienes fueron parte incondicional de mi proceso educativo.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Stalyn Raúl Zapata Aponte* y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Stalyn Zapata Aponte

EVALUADORES

Nadia Muñoz Agila, M.Sc

PROFESOR DE LA MATERIA

Rubén Paredes Alvarado, Ph.D

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En el río Napo, el transporte para el consumo y producción regional es realizado por lanchas y botes artesanales, movilizand o alrededor de 3.120 personas mensuales entre Nuevo Rocafuerte y Francisco de Orellana (Coca), pese a las limitaciones de las embarcaciones. En este trabajo se diseñó a nivel preliminar una embarcación rápida fluvial considerando los efectos de profundidad limitada sobre la resistencia al avance.

La metodología empleada fue la espiral de diseño, en la cual se determinaron las características principales de la embarcación a partir de los requerimientos de diseño considerando las características de la región. Por otra parte, la resistencia al avance se determinó combinando datos experimentales publicados en "Shallow Water Performance of Planing Boat" y formulaciones empíricas de Savitsky y Holtrop. Finalmente, aplicando las correcciones por desplazamiento de Savitsky y Brown se estimó la resistencia al avance considerando los efectos de limitación de aguas profundas.

Además, se comprobó que, la formulación propuesta por Savitsky aproxima la resistencia al avance de manera aceptable cuando la embarcación se encuentra en el régimen de planeo. Como resultado se obtuvo el diseño de una embarcación rápida que operaría en el tramo de la ciudad de Francisco de Orellana a Nuevo Rocafuerte a una velocidad de 28.5 [nudos], con una capacidad de transportar 20 personas y 3.37 toneladas de carga.

Finalmente, se realizó un análisis económico utilizando los parámetros del VAN y el TIR para determinar la factibilidad del proyecto considerando las necesidades de los comuneros, identificadas mediante una revisión bibliográfica.

Palabras Clave: Embarcación rápida, Profundidad limitada, Resistencia al avance, VAN, TIR.

ABSTRACT

On the Napo River, transportation for regional consumption and production is carried out by motorboats and small artisan boats, mobilizing around 3,120 people a month between Nuevo Rocafuerte and Francisco de Orellana (Coca), despite the limitations of the boats. In this work, a fast river vessel was designed at a preliminary level, considering the effects of limited depth about ship resistance advance.

The methodology used was the design spiral, in which the main characteristics of the vessel were determined from the design requirements considering the characteristics of the region. On the other hand, the ship resistance was determined by combining experimental data published in "Shallow Water Performance of Planning Boat" and empirical formulations by Savitsky and Holtrop. Finally, applying the displacement corrections of Savitsky and Brown the resistance to advance is estimated considering the effects of limitation of deep waters.

In addition, it was found that the formulation proposed by Savitsky approximates the ship resistance in an acceptable way when the boat is in the planning regime. As a result, the design of a fast vessel was obtained that would operate in the stretch from Francisco de Orellana to Nuevo Rocafuerte at a speed of 28.5 [knots], with a capacity to transport 20 people and 3.37 [tons] of cargo.

Subsequently, an economic analysis was carried out using the VAN and TIR parameters to determine the feasibility of the project considering the needs of the community members, identified through a bibliographic review.

Keywords: *Fast craft, Deep water, Ship resistance, VAN, TIR*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE PLANOS.....	XVII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Marco teórico	6
1.4.1 Antecedentes.....	7
1.4.2 Espiral de Diseño.....	8
1.4.3 Sociedad de Clasificación	9
1.4.4 Métodos de predicción de resistencia	10
1.4.5 Efectos de profundidad limitada en embarcaciones de desplazamiento	15
CAPÍTULO 2.....	18
2. Metodología	18
2.1 Identificación de los requerimientos de diseño	18
2.1.1 Características geográficas del tramo de estudio.....	18

2.1.2	Características de las rutas de transporte.....	19
2.1.3	Características hidrográficas del río Napo	24
2.2	Diseño conceptual.....	27
2.2.1	Requerimientos de diseño	27
2.2.2	Dimensionamiento conceptual	28
2.2.3	Líneas de forma.....	29
2.3	Dimensionamiento preliminar	30
2.3.1	Líneas de forma.....	31
2.3.2	Distribución general	36
2.3.3	Arreglo estructural	38
2.3.4	Resistencia y propulsión	50
2.3.5	Equipos y Sistema eléctrico	58
2.3.6	Estabilidad intacta.....	63
2.4	Evaluación económica	64
CAPITULO 3.....		67
3.	Resultados y Análisis	67
3.1	Desarrollo del diseño.....	67
3.1.1	Calado de diseño	67
3.1.2	Dimensiones principales del casco a nivel conceptual	75
3.1.3	Formas preliminares del casco	77
3.2	Arreglo general.....	79
3.3	Arreglo estructural	81
3.3.1	Escantillonado	81
3.4	Resistencia y Propulsión	84
3.4.1	Resistencia al avance	84
3.5	Equipos y Sistema Eléctrico	103

3.5.1	Equipos.....	103
3.5.2	Sistema eléctrico	104
3.6	Estabilidad intacta y distribución de Pesos.....	108
3.6.1	Estabilidad Intacta	109
3.7	Estimación de Costos.....	113
3.7.1	Costos de construcción.....	113
3.7.2	Gastos Administrativos	114
3.7.3	Costos Operativos	115
3.7.4	Evaluación económica	116
CAPÍTULO 4		123
4.	Conclusiones y Recomendaciones	123
4.1	Conclusiones.....	123
4.2	Recomendaciones.....	126

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
IACS	International Association of Classification Societies
DIRNEA	Dirección Nacional De Los Espacios Acuáticos del Ecuador
SPTMF	Subsecretaria de Puertos y Transporte Marítimos y Fluvial
IIRSA	Integración de la Infraestructura Regional Sudamericana
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INOCAR	Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada
SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea
RINA	Registro Italiano Navale
ISO	International Organization for Standardization
SNAME	The Society of Naval Architects and Marine Engineers
HSC	High Speed Craft
IMO	International Maritime Organization
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
CFN	Corporación Financiera Nacional
VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interne de Retorno
TMAR	Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento

SIMBOLOGÍA

m	Metros
cm	Centímetros
m ²	Metros cuadrados
m ³	Metros cúbicos
mm	Milímetros
ton	Toneladas
Kg	Kilogramos
Km	Kilometro
Sg	Segundo
TRB	Tonelada de Registro Bruto
Knots	Nudos
F _{rh}	Número de Froude
F _{rv}	Número de Froude Volumétrico
v	Velocidad de operación
L	Eslora Total
B	Manga
D	Puntal
T	Calado
Δ	Desplazamiento
LCG	Posición longitudinal del centro de gravedad
HP	Caballos de Fuerza o Horsepower
BHP	Potencia al freno
Kw	Kilowatt
C _b	Coeficiente de bloque
C _m	Coeficiente de sección media
C _w	Coeficiente del plano de flotación
C _p	Coeficiente prismático
A-h	Amperios hora
Rad	radianes
GZ	Brazo adrizante

N	Newtons de Fuerza
KN	Kilonewton

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Espiral de diseño.....	9
Figura 1.2 Vista frontal de la serie 62 parent	12
Figura 1.3 Vista frontal de la serie 65-A (a) y serie 65-B (b)	12
Figura 1.4 Serie Dutch 62	13
Figura 1.5 Vista frontal serie BK.....	13
Figura 1.6 Vista frontal serie MBK.....	14
Figura 1.7 Vista frontal serie Kowalyszyn D. and Metcalf B.....	14
Figura 1.8 Patrón de ola para $F_{rh} < 1$ considerando el efecto de aguas de profundidad limitada.....	16
Figura 1.9 Patrón de ola para $F_{rh} = 1$	17
Figura 1.10 Patrón de ola para $F_{rh} > 1$	17
Figura 2.1 Mapa político de la provincia de Sucumbíos y Orellana	18
Figura 2.2 Río Napo “Tramo ecuatoriano”.....	19
Figura 2.3 Principales puntos comerciales en el tramo ecuatoriano del río Napo.	20
Figura 2.4 Principales instalaciones de servicio para la industria petrolera.	21
Figura 2.5 Embarcación deslizadora típica en el río Napo.....	22
Figura 2.6 Canoas típicas de transporte de carga y pasajeros	22
Figura 2.7 Paradas estratégicas de la empresa Mariloginsa.	23
Figura 2.8 Navegabilidad del río Napo en época creciente.	25
Figura 2.9 Navegabilidad por el río Napo en época de vaciante.....	26
Figura 2.10 Vista frontal del modelo Damen.....	30
Figura 2.11 Modelo estándar de la Serie 50 Fuente: Re-analysis of series 50 Test of V-Bottom Motor Boats, SNAME (2013).	32
Figura 2.12 Modelo estándar de las Series Sistemáticas 62.	33
Figura 2.13 Modelos de la serie sistemática de Southampton.....	33

Figura 2.14 Modelo del proyecto.	36
Figura 2.15 Distribución preliminar de áreas y espacios a 0.43 [m] de línea base.	39
Figura 2.16 Aleaciones de aluminio típicas usadas en el ámbito naval.	41
Figura 2.17 Representación gráfica de las variables β , β_{bx} , β_{sx} y α	44
Figura 2.18 Presiones de diseño para la cubierta principal	45
Figura 2.19 Puntos de análisis para la presión de diseño en superestructuras	46
Figura 2.20 Formulaciones para el cálculo de presiones en superestructuras.....	46
Figura 2.21 Factor de proporción dimensional para paneles.	47
Figura 2.22 Esfuerzo de diseño para el aluminio y acero	48
Figura 2.23 Arreglo estructural transversal típica para embarcaciones de recreo.....	49
Figura 2.24 Esfuerzo de diseño para refuerzos.	50
Figura 2.25 Condición de equilibrio en el régimen de pre-planeo	54
Figura 2.26 Nomograma para la estimación de λ	55
Figura 2.27 Coeficientes para la estimación de resistencia.	57
Figura 2.28 Relación entre las categorías de diseño y las zonas de navegación.	59
Figura 2.29 Proceso resumido de la estimación de carga eléctrica de la embarcación.	60
Figura 2.30 Irradiación solar mensual en la zona del río Napo [-0.525,-76.037]	62
Figura 2.31 Proceso de análisis de Arquitectura Naval	63
Figura 3.1 Histograma de frecuencia de las embarcaciones operativas en función del calado.	69
Figura 3.2 Zonas analizadas en el tramo del río Napo	69
Figura 3.3 Vista transversal del punto NAPO D.J. YASUNI.	70
Figura 3.4 Vista transversal del punto NAPO AJ TIPUTINI.	71
Figura 3.5 Niveles hidrométricos empleados para el relevamiento efectuado en marzo de 2008.	72
Figura 3.6 Resumen de las profundidades en los diferentes puntos analizados.....	73

Figura 3.7 Gráfica de la variación de profundidades a lo largo del río Napo.	74
Figura 3.8 Calado vs Eslora.	75
Figura 3.9 Eslora vs Manga.....	75
Figura 3.10 Eslora vs puntal.....	76
Figura 3.11 Eslora vs L/B	76
Figura 3.12 Vista transversal de las formas del modelo del proyecto.	78
Figura 3.13 Distribución general.....	79
Figura 3.14 Vista de planta de la distribución general del modelo del proyecto	80
Figura 3.15 Cuadernaje estructural del modelo del proyecto.....	83
Figura 3.16 Estructural 3-D de la embarcación.....	84
Figura 3.17 Vista transversal de los refuerzos primarios, secundarios y terciarios. ..	84
Figura 3.18 Posición de los LCG experimentales	85
Figura 3.19 Definición de la zona de planeo del modelo 1174.....	86
Figura 3.20 Coeficiente de resistencia considerando formulaciones semi-empíricas y datos experimentales, LCG (46% Lp).....	87
Figura 3.21 Coeficiente de resistencia considerando formulaciones semi-empíricas y datos experimentales, LCG (42% Lp).....	87
Figura 3.22 Coeficiente de resistencia considerando formulaciones semi-empíricas y datos experimentales, LCG (38% Lp).....	88
Figura 3.23 Variación del asiento dinámico, datos experimentales del modelo 1174.	88
Figura 3.24 Variación del asiento dinámico empleando las ecuaciones de Savitsky.	89
Figura 3.25 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:3.61	90
Figura 3.26 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:5.78.....	91
Figura 3.27 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:9.64.....	91
Figura 3.28 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:3.61	92
Figura 3.29 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:5.78.....	92
Figura 3.30 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:9.64.....	93

Figura 3.31 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:3.61	93
Figura 3.32 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:5.78.....	94
Figura 3.33 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:9.64.....	94
Figura 3.34 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico del prototipo (modelo del proyecto).....	96
Figura 3.35 Potencia efectiva vs número de Froude volumétrico.	97
Figura 3.36 Rango de planeo de la embarcación del proyecto.	98
Figura 3.37 Limite de porpoising para embarcaciones planeadoras prismáticas	99
Figura 3.38 Limite de porpoising para la embarcación del proyecto	99
Figura 3.39 YAMAHA modelo F150DETL	101
Figura 3.40 Selección del ancla reglamentaria en función de la eslora	104
Figura 3.41 Bateria solar 12Li300BL	106
Figura 3.42 65W PHOTOVOLTAIC MODULE-65J	107
Figura 3.43 Curva de brazos adrizantes para la condición de carga 1.	110
Figura 3.44 Curva de brazos adrizantes para la condición de carga 2	111
Figura 3.45 Curva de brazos adrizantes para la condición de carga 3	111
Figura 3.46 Curva de brazos adrizantes para la condición de carga 4	112
Figura 3.47 Curva de brazos adrizantes para la condición de carga 5	113
Figura 3.48 Variación de la inflación en el Ecuador.....	117
Figura A.1 Características principales de los modelos de la serie sistemática	50
Figura B.1 Representación batimétrica en el río Napo del 16/01/2011	
Figura B.2 Representación batimétrica en el río Napo del 23/07/2009	
Figura B.3 Representación batimétrica en el río Napo del 11/07/2011	
Figura B.4 Modelo 2744 (T:0.5 m)	
Figura B.5 Modelo 2743 (T:0.5 m)	
Figura B.6 Modelo C (T:0.5 m)	

Figura C.1 Base de datos empleada para la estimación de la resistencia al avance de la embarcación

Figura C.2 Variación del ángulo de trimado en aguas profundas a las diferentes posiciones de LCG

Figura C.3 Variación del ángulo de trimado a una relación profundidad-calado de 3.61 a las diferentes posiciones de LCG

Figura C.4 Variación del ángulo de trimado a una relación profundidad-calado de 5.78 a las diferentes posiciones de LCG

Figura C.5 Variación del ángulo de trimado a una relación profundidad-calado de 9.64 a las diferentes posiciones de LCG

Figura D.1 Curvas hidrostáticas

Figura D.2 Curvas de formas

Figura D.3 Curvas cruzadas

Figura E.1 Factura de cotización de materiales

Figura E.2 Flujo de caja para la condición de carga al 85% de su totalidad

Figura E.3 Flujo de caja para la condición de carga al 70% de su totalidad

Figura E.4 Flujo de caja para la condición de carga al 60% de su totalidad

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tiempos y distancias de las embarcaciones de Donaterra S.A.....	23
Tabla 2.2 Características embarcaciones de pasaje de Mariloginsa.	23
Tabla 2.3 Duración, distancias y costos de las embarcaciones “Kamu Kamu”.	24
Tabla 2.4 Tarifas para el transporte de pasajeros y carga.	24
Tabla 2.5 Base de datos embarcaciones fluviales operativas en el río Napo.	28
Tabla 2.6 Datos principales de la embarcación.	29
Tabla 2.7 Características principales del modelo Damen	30
Tabla 2.8 Características principales de los modelos de la Serie 50.	31
Tabla 2.9 Características principales del modelo 1174-Serie 62.	34
Tabla 2.10 Características principales del modelo del proyecto.	36
Tabla 2.11 Rango de aplicabilidad de coeficientes adimensionales.	36
Tabla 2.12 Esfuerzos permisibles para el aluminio naval	40
Tabla 3.1 Rango de calados operativos para el histograma de frecuencias	68
Tabla 3.2 Zonas de estudio “Época de creciente”	69
Tabla 3.3 Zonas de estudio “Época de vaciante”.....	70
Tabla 3.4 Zonas de estudio “Época de transición”.....	70
Tabla 3.5 Profundidades mínimas en el río Napo según relevamiento del INOCAR. 71	
Tabla 3.6 Características principales conceptuales del modelo DAMEN.....	77
Tabla 3.7 Comparación entre el modelo 1174 y el modelo del proyecto.....	78
Tabla 3.8 Espesores de planchaje.	81
Tabla 3.9 Espesores de refuerzos del casco.	82
Tabla 3.10 Características principales del motor F150DETL.....	101
Tabla 3.11 Circuitos de transferencia para el diseño del proyecto.....	102
Tabla 3.12 Balance eléctrico preliminar de los equipos de la embarcación.	105
Tabla 3.13 Parámetros y resultados para la estimación de baterías y paneles.	105

Tabla 3.14 Características principales de la batería solar 12Li300BL.....	106
Tabla 3.15 Características del panel 65W PHOTOVOLTAIC MODULE-65J	107
Tabla 3.16 Resumen de pesos y centros de gravedad de la embarcación	108
Tabla 3.17 Resumen de las condiciones de carga de la embarcación	109
Tabla 3.18 Peso y centro de gravedad de la embarcación para la condición 1	109
Tabla 3.19 Criterios de la OMI para HSC- condicion1	110
Tabla 3.20 Peso y centro de gravedad de la embarcación para la condición 2	110
Tabla 3.21 Criterios de la OMI para HSC- condicion2	111
Tabla 3.22 Peso y centro de gravedad de la embarcación para la condición 3	111
Tabla 3.23 Criterios de la OMI para HSC- condicion3	111
Tabla 3.24 Peso y centro de gravedad de la embarcación para la condición 4	112
Tabla 3.25 Criterios de la OMI para HSC- condición 4	112
Tabla 3.26 Peso y centro de gravedad de la embarcación para la condición 5	112
Tabla 3.27 Criterios de la OMI para HSC- condición 5	113
Tabla 3.28 Resumen del presupuesto de diseño y construcción	114
Tabla 3.29 Resumen preliminar de gastos administrativos.....	114
Tabla 3.30 Resumen preliminar de costos de operación.	115
Tabla 3.31 Resumen preliminar de costos de Mantenimiento	115
Tabla 3.32 Porcentaje de embarque por circuito.	117
Tabla 3.33 Tabla de Amortizaciones.	118
Tabla 3.34 Capacidad de carga para la condición 1 (85%).	118
Tabla 3.35 Capacidad de carga por transferencia en la condición 1.....	119
Tabla 3.36 Resultados del análisis económico del escenario 1.	119
Tabla 3.37 Capacidad de carga por transferencia en la condición 1.....	119
Tabla 3.38 Capacidad de carga por transferencia en la condición 2.....	120
Tabla 3.39 Resultados del análisis económico del escenario 2.	120

Tabla 3.40 Capacidad de carga por transferencia en la condición 1.....	120
Tabla 3.41 Capacidad de carga por transferencia en la condición 3.....	121
Tabla 3.42 Resultados del análisis económico del escenario 3.	121
Tabla 3.43 Capacidad de carga por transferencia en la condición 1.....	121
Tabla 3.44 Valores considerando precios de deslizadores.....	122
Tabla A.1 Poblaciones ribereñas principales al río Napo en Ecuador y Perú	
Tabla A.2 Características de los modelos de la serie sistemática Southampton	
Tabla A.3 Características principales de los modelos de la serie sistemática 62	
Tabla B.1 Comparación modelo 1174 y modelo 2744	
Tabla B.2 Comparación modelo 1174 y modelo 2743	
Tabla B.3 Comparación modelo 1174 y modelo C	
Tabla D.1 Hidrostáticas en Equilibrio "condición 1"	
Tabla D.2 Hidrostáticas en Equilibrio "condición 2"	
Tabla D.3 Hidrostáticas en Equilibrio "condición 3"	
Tabla D.4 Hidrostáticas en Equilibrio "condición 4"	
Tabla D.5 Hidrostáticas en Equilibrio "condición 5"	
Tabla E.1 Grupo 100	
Tabla E.2 Costos G200	
Tabla E.3 Costos G300	
Tabla E.4 Costos G500	
Tabla E.5 Costos G600	

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Plano de líneas de formas
- PLANO 2 Plano de distribución General
- PLANO 3 Rayado estructural

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo social y económico de un país está relacionado con el aprovechamiento de la infraestructura vial integral en todas sus regiones [5]. Por ejemplo, Europa central se beneficia de la navegación por el río Rin-Danubio como vía navegable internacional, ya que conecta a esta región con las principales zonas económicas de Europa Occidental y con la región del Mar Negro [6]. Al mismo tiempo, el aumento constante de la demanda de transporte de carga y el menor impacto ambiental del transporte fluvial promueven el desarrollo de las cadenas de transporte multimodal [6]. Por ello, un enfoque proactivo en la gestión y desarrollo en las vías navegables aporta al crecimiento económico y social de las comunidades en las grandes redes fluviales a nivel mundial, incluyendo a los ríos de la región Amazónica en Sudamérica.

La región Amazónica abarca uno de los corredores fluviales más extensos a nivel mundial, facilitando la integración entre comunidades ribereñas, que de ser desarrollado adecuadamente potenciaría la economía de la región. Para esto es necesario considerar las características particulares de la sub-región y el conjunto de la cuenca amazónica entre países. Por ejemplo, la Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Sudamericana "IIRSA", ha impulsado varios proyectos de integración agrupados en ejes tales como el Eje Andino y el Eje Amazónico [7]. El territorio del Ecuador está atravesado por los ejes de integración Andino y Amazónico, siendo el segundo el de mayor participación en el territorio ecuatoriano. Este impulsa la unión de los océanos Pacífico y Atlántico a través de los ríos del Amazonas en Brasil, Huallaga, Marañón y Ucayali en Perú, Napo y Morona en Ecuador y Putumayo en Colombia. Para esto es necesaria la construcción y mejoramiento de una serie de puertos fluviales y marítimos, así como aeropuertos y vías terrestres [7].

Ecuador cuenta con un corredor fluvial natural donde la infraestructura vial terrestre actual es limitada. Por esta razón, los habitantes de las diferentes comunas cercanas a hidrovías de esta región utilizan el transporte fluvial para el intercambio de bienes y servicios. Por ejemplo, el transporte fluvial en el río Napo

para el consumo y producción regional es realizado con lanchas, moto-chatas y pequeños botes artesanales, reportando actividad regular de casi 40 canoas de 15 tons de carga, 8 barcazas de 500 tons y una gran cantidad de pequeñas embarcaciones familiares [5]. Entre Nuevo Rocafuerte y Francisco de Orellana (Coca), se desplazan alrededor de 3120 personas mensuales entre ciudadanos de las diferentes comunidades y turistas nacionales y extranjeros, sin considerar los itinerarios de las siete embarcaciones con capacidad para 20 pasajeros de empresas públicas como “Cetef, Camu Camu y Transrocafuerte” [8]. Esto evidencia que es necesario brindar un servicio de transporte fluvial que cubra la demanda existente en el sector, considerando el diseño conceptual y comportamiento de una embarcación rápida fluvial a diferentes profundidades de agua que permita reemplazar los diseños artesanales que según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas presentan problemas en cuanto a su distribución general, seguridad, y capacidad de carga [8]

1.1 Descripción del problema

La construcción de infraestructura vial terrestre está limitada a las condiciones geográficas, disponibilidad de recursos económicos, y al impacto generado en el sector. Además, la transportación entre comunas ribereñas de la Amazonía Ecuatoriana depende de las condiciones geográficas, climáticas, y la resiliencia de la infraestructura vial terrestre. Sobre este último aspecto, las vías existentes en la región Amazónica sufren constantes fallas que imposibilitan el libre tránsito. Por ejemplo, en estos dos últimos años dos puentes, vitales para la comunicación entre comunas Amazónicas, han colapsado debido a cambios en las características hidrográficas de la zona. En el 2019, un puente en la vía que conecta el sector del Palacio y Baños de Agua Santa colapsó por la fuerza del río Ulba, afluente de Pastaza, uno de los más grandes afluentes de la Amazonia ecuatoriana [9]. Además, el puente sobre el río Montana, en la vía Quito-Lago Agrío colapsó debido al proceso de erosión regresiva de la cascada de San Rafael en el río Coca [10]. En relación con lo antes expuesto, la infraestructura vial terrestre en la región Amazónica muestra intermitencia operativa debido a los

cambios característico-geográficos y climáticos de la zona, lo que ha provocado el desarrollo de medios de transporte alternos entre comunas ribereñas.

Otra de las alternativas de transporte entre parroquias Amazónicas es el aéreo, que permite una conectividad ágil. Mediante el uso de avionetas y helicópteros para trasladar personas y cargamentos entre las parroquias. Sin embargo, existen varios problemas que limitan su uso masivo por los habitantes. Por ejemplo, las 87 pistas de aterrizaje comunitario ubicadas en los territorios de las nacionalidades Kichwa, Achuar, Shiwiar, Waorani, Sápara y Shuar en la provincia de Pastaza, no poseen las condiciones operativas adecuadas debido a que sus pistas son muy cortas, o que la mayoría son de tierra o césped y se vuelven lodazales peligrosos para los aterrizajes en la temporada de lluvia [11]. Por lo antes mencionado, pese a los beneficios que tiene el sistema de transporte aéreo en la Amazonia Ecuatoriana, como contrapartida, muestra grandes problemas de infraestructura, costos y limitación de carga.

Por otro lado, la transportación fluvial presenta un mayor potencial debido a la importante red de vías fluviales que existe, lo que permite una mejor comunicación comercial entre comunas, a pesar de los inconvenientes actuales en su sistema. Con respecto a la movilidad, las embarcaciones operando en el río Napo no cuentan con un pasillo central, lo que limita el acceso a enfermos, adultos mayores, o discapacitados. También, el confort de los pasajeros es afectado por la inexistencia de espacios adecuados de equipaje y la exposición a las inclemencias del tiempo debido a que solo cuentan con una capota o lona. Finalmente, el almacenamiento inadecuado de combustibles fósiles, siendo costosos, afecta la seguridad física de los pasajeros y del medio ambiente [8].

A pesar de lo descrito anteriormente, los estudios técnicos sobre el sistema de transporte fluvial para carga y pasajeros para las comunas ribereñas a lo largo del río Napo son limitados. Uno de los pocos análisis a este sistema de transporte fue realizado por la SPTMF [8] cuyo objetivo general fue desarrollar estudios técnicos, diseños físicos e ingeniería que permitan una posible implementación de una línea fluvial, mediante el diseño de tres embarcaciones en el tramo Francisco de Orellana-Nuevo Rocafuerte. Estas embarcaciones fueron diseñadas

conceptualmente para el transporte mixto (pasajeros y carga) considerando los modelos existentes que navegan en la zona, con esloras que varían desde los 20-30 [m], velocidades de 12-30 [Knots] y calado máximo de 1 [m], considerando las características del río. La necesidad de innovar el sistema de embarcaciones actual es impulsada por los altos costos que estos generan a las comunidades, lo que limita su crecimiento económico [8]. En definitiva, pese a existir un estudio de diseño conceptual de embarcaciones rápidas, este no consideró los efectos de profundidad limitada y un adecuado almacenamiento de carga a mayor proporción.

1.2 Justificación del problema

La región Amazónica de Ecuador es un bosque tropical con un área aproximada de 120.000 [km²]. Esta selva tiene la afluencia de numerosos ríos que nacen de las Cordilleras: Los Andes y del Amazonas. La mayoría de estos ríos son caudalosos, navegables, siendo los ríos más importantes para el intercambio comercial: Napo, Pastaza y Santiago. El río Napo tiene una longitud total de 1130 [km] que nace en el límite natural entre las provincias de Orellana y Sucumbíos hasta llegar a Perú, en la población de Francisco de Orellana aguas debajo de la ciudad de Iquitos. Además, los caudales promedios anuales van de 1105 [m³/sg] para la zona de Francisco de Orellana y 2031 [m³/sg] en Rocafuerte, sugieren su gran potencial de navegabilidad para impulsar el desarrollo económico de las comunas ribereñas.

Por otra parte, el elevado consumo de combustible en las embarcaciones fluviales representa problemas económicos a las comunidades ribereñas. Por ejemplo, tres empresas operan con embarcaciones tipo “canoa”, desde Francisco de Orellana hasta Nuevo Rocafuerte. Cada canoa completa dos viajes de ida y vuelta por semana en días alternados, cuya duración promedio es de 15 horas para recorrer 366 [km] y con un costo para cada pasajero de 30 USD y 6 USD por quintal. Esto encarece los abastecimientos que llegan a los centros económicos principales del Coca y Nuevo Rocafuerte, desalentando a los pobladores en las actividades agrícolas, ganaderas, de caza y silvicultura al disminuir su ganancia debido a la

venta en pequeña escala. Como consecuencia, se limita el desarrollo social y económico de las comunas ribereñas a lo largo del río Napo [12].

Recientemente se desarrolló un estudio de factibilidad de usar dos diferentes tipos de embarcaciones en los tramos Nuevo Rocafuerte – Francisco de Orellana [8]. Este estudio partió de un modelo tipo canoa existente en las comunas, y se aplicó la espiral de diseño para definir a nivel conceptual de tres embarcaciones rápidas para transporte de carga y/o pasajeros con esloras de 20-30 [m]. Sin embargo, no se consideró el efecto de las diferentes profundidades de la zona en el comportamiento hidrodinámico de la embarcación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una embarcación fluvial rápida de bajo calado empleando el método de la espiral de diseño, la norma ABS, y las características hidrográficas de la zona, para el mejoramiento de transporte de carga y/o pasajeros en el río Napo.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para alcanzar el objetivo general del proyecto, se han planteado tres objetivos específicos:

1. Definir los requerimientos de diseño de la embarcación fluvial identificando las necesidades de las comunas ribereñas, a través de una revisión bibliográfica.
2. Diseñar a nivel preliminar una embarcación rápida para transporte de carga y/o pasajeros, considerando la espiral de diseño y formulaciones semi-empíricas que incluyan los efectos de profundidad limitada.
3. Realizar un análisis económico de costos de construcción y operación para el diseño propuesto.

1.4 Marco teórico

La región Amazónica representa la mayor floresta tropical del mundo y tiene la cuenca hidrográfica más grande que existe con un área superior a los 7 millones de kilómetros cuadrados, lo que representa más del 40% del territorio sudamericano. Esta zona posee una biodiversidad única, con enormes riquezas y una baja densidad, pese a que más de 39 millones de personas habitan esta zona [5]. El río Amazonas es el mayor a nivel global en término de la captación de agua, número de afluentes, volumen de descarga de agua y longitud. Su caudal fluye hacia el este, desde los Andes hacia el Océano Atlántico, descargando un equivalente de 175 millones de litros de agua por segundo, lo que equivale al 20% del caudal de todos los ríos del planeta.

La región Amazónica del Ecuador abarca un área aproximada de 120000 Km²; dividido políticamente por las provincias de Sucumbíos, Orellana, Napo, Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe, posee una población ancestral de orígenes y características diversas como; los Shuars, Quichuas, Indígenas, Secoyas, Yumbos, Aucas, entre otros. La vertiente de la Amazonia está formada por la afluencia de numerosos ríos, predominando el río Napo, que se originan en los nevados andinos al sureste de Quito y es considerado un río peruano desde la confluencia del río Yasuní, con un curso sinuoso cuyo ancho que varía entre 800 y 200 metros. En época de creciente, el Napo es navegable por buques de 1.20 [m] de calado, desde Nuevo Rocafuerte hasta San Francisco de Orellana. En época de vaciante, se da paso desde Puerto Itaya hasta Francisco de Orellana a embarcaciones con calado de hasta 0.75 [m] en su trayecto [5].

Las embarcaciones que navegan en estos corredores fluviales son supervisadas por las capitanías de Puertos de la Armada Nacional. Por ejemplo, el 98% de las embarcaciones registradas en los puertos de Putumayo y Nuevo Rocafuerte corresponden a embarcaciones menores de 20 TRB y servicio de “Carga y pasaje”, que son usadas para el transporte de mercadería y personas, entre poblados. Además, en la provincia de Francisco de Orellana, existen alrededor de 996 embarcaciones, donde el 6% corresponden a embarcaciones mayores de 20 TRB que se dividen en diferentes usos, como: carga general “2.53%”, remolcadores”1.35%” y el resto de las embarcaciones “2.12%” [8].

1.4.1 Antecedentes

El estudio sobre la transportación fluvial en la región Amazónica es limitado debido a la falta de interés por parte de las entidades gubernamentales y por la amplia área de estudio que conlleva. La información analizada se estructura en dos subapartados, el primer apartado realizado por la “Subsecretaria de Puertos y Transporte Marítimos y Fluvial”, la cual ejemplifica el diseño conceptual de tres embarcaciones rápidas en el tramo del río Napo (Francisco de Orellana-Nuevo Rocafuerte). Las embarcaciones fueron diseñadas para el uso del transporte mixto (pasajeros y carga ligera), los parámetros geométricos de las embarcaciones fueron establecidos de acuerdo con los modelos existentes que navegan en la zona, además, el diseño fue considerado para un calado máximo de 3 pies (0.9 m), acorde a las características del río. Se estipuló que la navegación típica se realizará con 2,5 pies de calado (0,76 m), durante unos 9 meses al año, si bien estacionalmente podría incrementarse. Dentro del análisis, fueron considerados ciertas variables para el diseño naval como; flotabilidad, estabilidad, resistencia, propulsión, Maniobrabilidad, comportamiento en el agua, seguridad náutica y prevención de contaminación. Como resultado, las dimensiones geométricas se escogieron en cuanto a eslora y manga de acuerdo con las limitaciones y ratios de transporte de pasajeros y carga, obteniendo tres embarcaciones de 20, 25 y 30 [m] con un desarrollo de velocidades que van desde los 12 hasta los 30 [knots] [8].

Para el segundo apartado, se hizo el estudio de viabilidad técnica de lanchas solares con motores eléctricos cuya finalidad fue demostrar la viabilidad y sostenibilidad del proyecto para la navegación en los ríos de la provincia de Morona Santiago. La metodología del estudio se basó en una embarcación para transporte de pasajeros y pequeñas cargas similar a las existentes en la zona de estudio, considerando profundidades mínimas de 50 [cm] en el río Mangosiza. Además, se realizó un levantamiento de datos con ayuda de un GPS para obtener; distancias, velocidades, tiempos recorridos y peso que transportan las canoas en cada viaje, valores que fueron usados en posteriores análisis. Finalmente, para la estimación de la resistencia se consideró que el modelo a analizar era de tipo desplazamiento, y los cálculos de la potencia requerida fueron realizados usando

formulaciones empíricas. Como resultados de estudio, se obtuvo para una embarcación de 13 [m] de eslora, que su velocidad de diseño sería de 5.83 [knots]. Asimismo, el desplazamiento de la embarcación quedaría definido acorde a la cantidad de centros de carga de las baterías en las comunidades ribereñas. Por ejemplo, para la embarcación de 13 [m] de eslora diseñada a una autonomía de 4 horas se necesitarán 4 baterías, mientras que, considerando el mismo diseño de la embarcación a una mayor autonomía, de 9 horas, se necesitarán el doble de baterías, lo que implica un aumento del desplazamiento de la embarcación proporcional a la cantidad de baterías. [13].

De los dos apartados mencionados, se obtuvieron dos puntos de vista diferentes acordes a las necesidades de las comunas ribereñas. Por lo tanto, considerando el primer apartado se obtuvo un modelo que cumple con las variables básicas de la espiral de diseño en Ingeniería Naval, mientras que para el segundo apartado se obtuvo un modelo ecológico que reduce la emisión de CO₂ al ambiente. Por ende, de estas dos experiencias se puede notar la falta de énfasis en el análisis hidrodinámico de las embarcaciones y el estudio de los efectos de profundidad limitada en la zona, este beneficio se vería reflejado en el uso eficiente de combustible y, por ende, reducción en los gastos de transportación en las comunas ribereñas. Pese a esto, analizar la influencia de la profundidad limitada en el estudio hidrodinámico de una embarcación rápida, considerando las características hidrográficas del río Napo en el tramo ecuatoriano, traería efectos positivos a la economía de las comunas ribereñas.

1.4.2 Espiral de Diseño

La metodología empleada para el presente proyecto se basa en la Espiral de diseño naval, cuyo nivel de detalle se define en cuatro etapas: conceptual, preliminar, diseño de contrato y detalles. La Figura 1.1 muestra la secuencia del proceso de diseño, la cual comienza con la definición de los requerimientos de diseño por parte del Armador y termina en la elaboración del presupuesto de la embarcación en función del nivel de detalle.

El presente proyecto tuvo como alcance la elaboración del diseño conceptual y preliminar para determinar la viabilidad del proyecto, incluyendo la determinación

de las características principales de la embarcación y la verificación de indicadores del cumplimiento de las especificaciones requeridas.

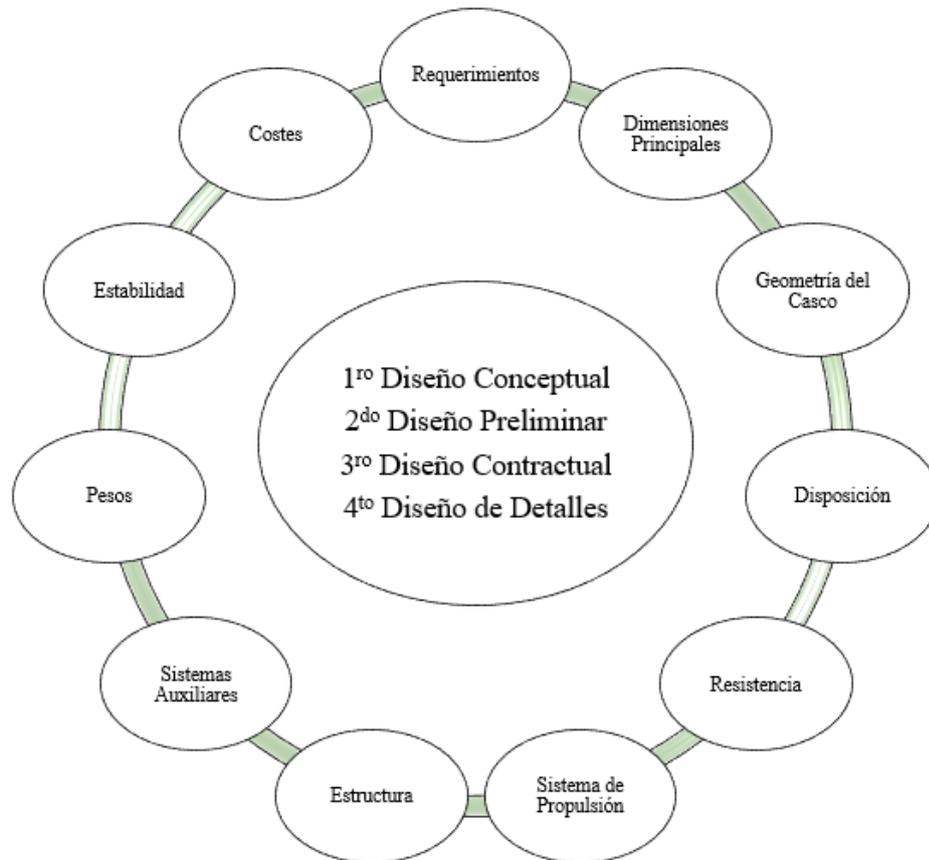


Figura 1.1 Espiral de diseño

Fuente: Propia

1.4.3 Sociedad de Clasificación

En el ámbito marítimo, la Sociedad de Clasificación es una organización no gubernamental sin fines de lucro cuya función principal es promover la seguridad de navegación estableciendo certificaciones que garanticen que la construcción y operación de la embarcación esté dentro de las normas requeridas.

1.4.3.1 Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación (IACS)

Esta asociación está conformada por diez Sociedades de Clasificación de entre las más de 50 organizaciones existentes a nivel mundial. Bajo el lema de “Buques seguros y mares limpios”, IACS contribuye en la seguridad marítima y la autorregulación del sector tomando como fundamento el soporte técnico,

inspección del cumplimiento de las normas establecidas por cada una de las sociedades de clasificación, investigación y desarrollo [14].

Específicamente, IACS cuenta con la participación de:

- American Bureau of shipping (ABS) - Estados Unidos
- Bureau Veritas (BV) - Bélgica
- China Classification Society (CCS) - China
- Croatian Register of Shipping (CRS) – Croacia
- Det Norske Veritas & Germanischer Lloyd (DNV GL) - Noruega
- Indian Register of Shipping (IR Class) – India
- Korean Register of Shipping (KR) – Korea
- Lloyd’s Register (LR) – Inglaterra
- Registro Italiano Navale (RINA) – Italia
- Russian Maritime Register of Shipping (RS) – Rusia

DIRNEA dispone que las naves que prestan servicios en el territorio nacional deben contar con documentación expedida por una Sociedad Clasificadora delegada para el efecto de dicha autoridad [15].

1.4.4 Métodos de predicción de resistencia

Uno de los mayores desafíos en el ámbito naval es la determinación adecuada de la potencia propulsora necesaria para que el buque navegue a la velocidad requerida del proyecto. Para ello es imprescindible determinar la resistencia al avance del buque en todo el rango de la velocidad operativa. Típicamente, existen dos métodos para la predicción de la resistencia al avance de un buque: las series sistemáticas de formas y los métodos numéricos, para el presente caso se resaltaré el uso de las series sistemáticas.

1.4.4.1 Series sistemáticas

Las series sistemática fueron desarrolladas a partir de resultados experimentales remolcando modelos a escala en canales de pruebas hidrodinámicos. Mediante la información experimental obtenida de varios modelos en los que se cambian

las características principales de forma sistemática, tanto en dimensionamiento como en los coeficientes geométricos adimensionales, es posible trazar gráficos de diseño, que permiten al diseñador obtener valores de coeficientes inestimables [16]. La credibilidad y precisión de los resultados obtenidos de las series sistemáticas están relacionadas a las características del buque a proyectar, por ello, los parámetros principales deben cumplir los rangos considerados de las series, obteniendo un beneficio en tiempo y dinero. Por otro lado, los riesgos de obtener una mala predicción aumentan si una o más de las relaciones principales del proyecto quedan fuera de los rangos cubiertos.

Los estudios experimentales para la estimación de resistencia empleando series sistemáticas fueron desarrolladas usando diferentes formas de cascos hidrodinámicos como lo son para embarcaciones de desplazamiento, semi-desplazamiento y de planeo.

En este trabajo, se da énfasis a estudios realizados en embarcaciones de planeo dado que el diseño preliminar del proyecto se orienta a ese tipo de embarcación.

Las series sistemáticas mayor empleadas para embarcaciones de planeo son [17]:

- Series 62
- Series 65
- Series 62 Dutch
- BK Series
- MBK Series
- Kowalyszyn D. and Metcalf B. Series (2006)

La **serie 62** fueron desarrolladas cerca de los años 60, donde los modelos difieren del original en los siguientes aspectos:

- Espejo estrecho
- Manga de la china máxima localizado delante de la sección media.

Se desarrollaron 5 modelos de 1.18, 1.82, 2.43, 2.43 y 2.43 [m] de eslora variando la relación eslora-manga a valores de 2.00, 3.06, 4.09, 5.50, para un rango de

Froude volumétrico de 0.2 a 6 y ángulo de astilla muerta en sección media de 12.5 grados. En la Figura 1.2 se muestra el modelo base de la serie 62.

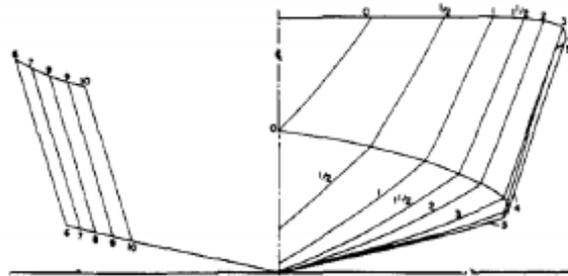


Figura 1.2 Vista frontal de la serie 62 parent

Fuente: *Hydrodynamics of Planing Hull*, 2015 [17]

La **serie 65** fueron divididas en 2 series: Serie 65 A y serie 65 B, ambas series tienen un fino y elevado ángulo de astilla muerta hacia proa con características de diseño de pre-planeo, se desarrollaron un total de 9 modelos de 1.87 y 2.64 [m] de eslora, manteniendo un peso fijo y ángulo de trimado que varía de 0 a 8 grados y fueron remolcados en un rango de números de Froude de 1 hasta 4.

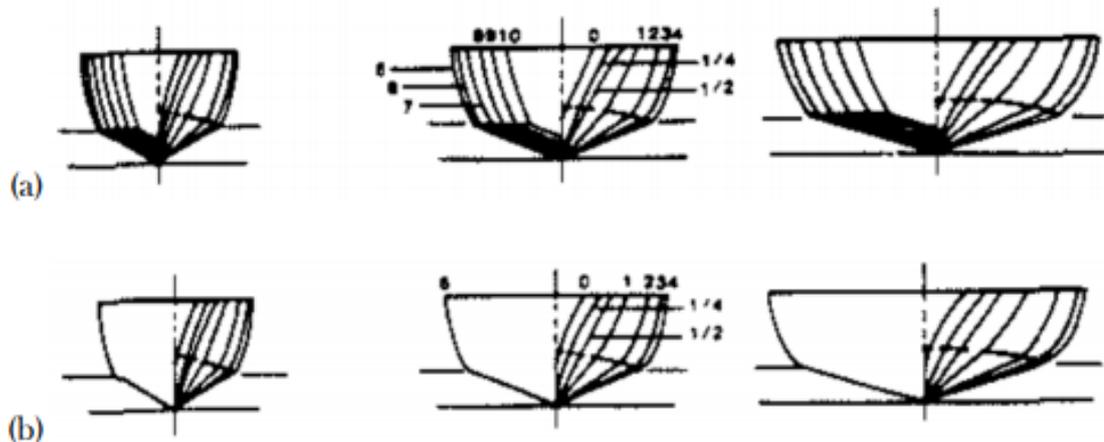


Figura 1.3 Vista frontal de la serie 65-A (a) y serie 65-B (b)

Fuente: *Hydrodynamics of Planing Hull*, 2015 [17]

La **serie Dutch 62** fue desarrollada en los años 70 como alternativa a la serie 62. El modelo de referencia difiere en el ángulo de astilla muerta con un valor de 25 grados, y sus modelos incluyen un mayor rango de desplazamientos y fueron de interés debido a sus valores elevados de capacidad de carga.

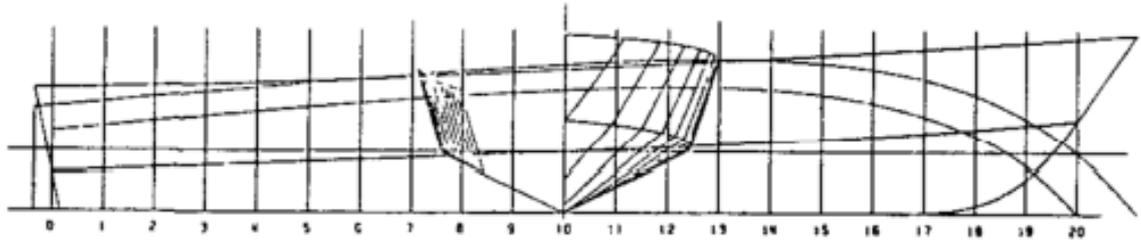


Figura 1.4 Serie Dutch 62

Fuente: Hydrodynamics of Planing Hull, 2015 [17]

La **serie BK** es una serie de Semi-planeo desarrollado en los años 60, que está separada en dos diferentes grupos. El primer grupo, mantiene una relación eslora-manga de la china (L_p/B_p) constante y las formas del modelo varían, y en el segundo grupo de la serie se mantiene constante las formas del modelo mientras varía la relación eslora-manga de la china. En términos del Froude volumétrico, el rango de aplicabilidad va de 1 a 4.5 y la posición del centro de gravedad longitudinal medido desde el espejo varía desde un 35 a 45 % la longitud de la china.

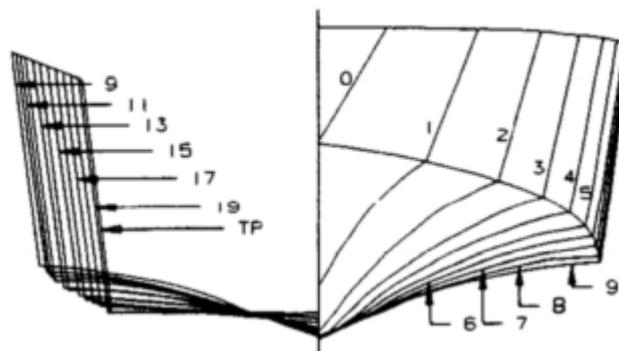


Figura 1.5 Vista frontal serie BK

Fuente: Hydrodynamics of Planing Hull, 2015 [17]

La **serie MBK** posee características similares a la serie BK, pero difiere en las formas del casco.

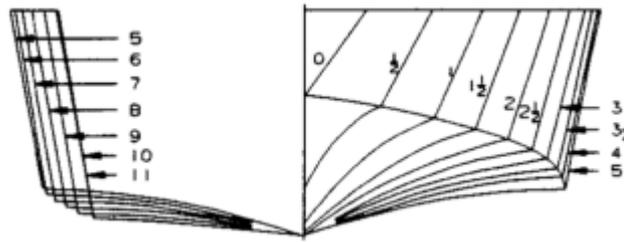


Figura 1.6 Vista frontal serie MBK
Fuente: Hydrodynamics of Planing Hull, 2015

En la serie Kowalyshyn D. and Metcalf B. se experimentaron con modelos basados en la forma para botes salvavidas de la Guardia Costera de los Estados Unidos, considerando la variación de la relación eslora – manga de la china y del ángulo de astilla muerta en el espejo. Cada modelo tiene la misma eslora de china de 3.05 [m] y centroide de área proyectada de planeo. Las pruebas de resistencia fueron realizadas para condiciones de desplazamiento de 298 y 680 [lb], centro de gravedad longitudinal a 38% y 42% de la eslora entre perpendiculares y un rango de coeficiente de velocidad de 1 a 6.

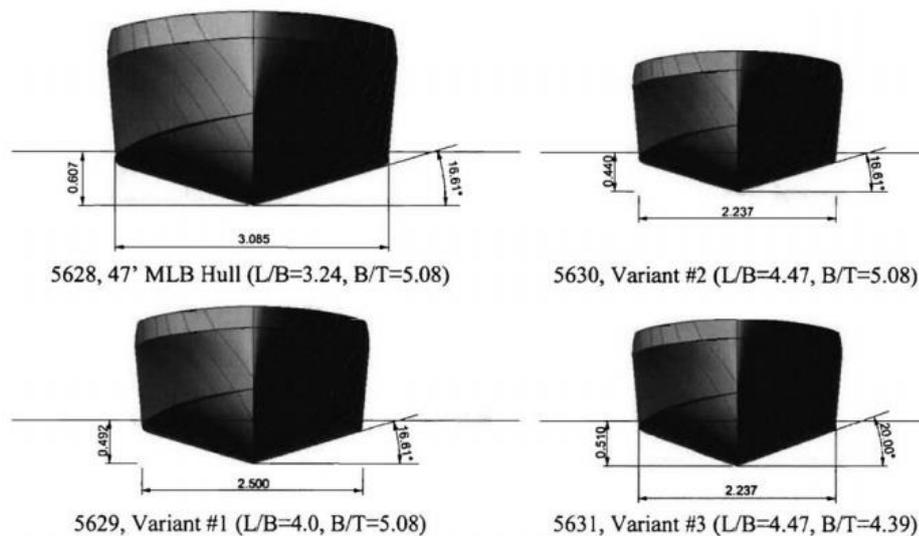


Figura 1.7 Vista frontal serie Kowalyshyn D. and Metcalf B.
Fuente: Hydrodynamics of Planing Hull, 2015 [17]

1.4.5 Efectos de profundidad limitada en embarcaciones de desplazamiento

La resistencia al avance de una embarcación incrementa drásticamente cuando el buque se aproxima a una región de aguas con profundidad limitada, donde han sido reportados ciertos cambios en el comportamiento hidrodinámico [16] como:

- El flujo potencial cambia alrededor del casco, esto es, considerando un ancho de canal no restringido, el agua que pasa bajo el buque se acelera más que cuando navega en aguas profundas. Esto reduce la distribución de presión actuando en el casco, lo que conlleva a un incremento en la resistencia, asiento y hundimiento.
- Si se considera que el ancho del canal es restringido como un río los efectos serán mayormente exagerados, considerando el estudio de los efectos de profundidad limitada en un canal con un ancho limitado realizado por Landweber [16].

Un segundo efecto producido por la profundidad limitada es el cambio del patrón de olas generadas alrededor de la embarcación que varía dependiendo de la velocidad de avance. La geometría de este patrón de olas, conocida como Kelvin, cambia si la embarcación navega en aguas poco profundas. Uno de los métodos sugeridos por el PNA [16] para clasificar el tipo de patrón de olas usa el número de Froude de profundidad: Se distingue tres regiones:

- Sub-critical si $F_{Rh} < 1$
- Critical si $F_{Rh} = 1$
- Supercritical si $F_{Rh} > 1$

Donde:

F_{Rh} : Número de Froude

V : Velocidad de avance de la embarcación

g : Gravedad

h : Profundidad del río o canal.

$$F_{Rh} = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (1.1)$$

En la región subcrítica ($F_{Rh} < 1$) el patrón de ola presenta las siguientes características:

- Comprende un sistema de olas transversal y divergentes que se propagan lejos del barco.
- Para $V < 0.4\sqrt{gh}$ las olas provocadas tienen el mismo comportamiento que en aguas profundas, siguen el patrón de Kelvin.
- Para $V > 0.4\sqrt{gh}$ comienzan a prevalecer los efectos dinámicos en la embarcación, el ángulo en el cual el patrón de olas es contenido comienza a crecer como se muestra en la Figura 1.8.

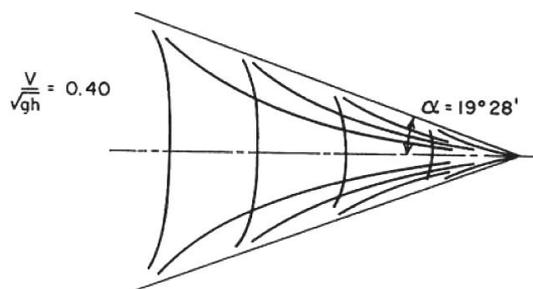


Figura 1.8 Patrón de ola para $F_{rh} < 1$ considerando el efecto de aguas de profundidad limitada

Fuente: PNA [16]

En la región crítica ($F_{Rh} = 1$) el patrón de ola se presenta como en la Figura 1.9, se muestran las siguientes características:

- La velocidad de la ola se convierte en velocidad crítica provocando un incremento en la resistencia por ola y viscosa.
- El ángulo en el cual el patrón de olas es contenido tiende a alcanzar un ángulo máximo de 90° .

En la región Super-crítica ($F_{Rh} > 1$) el patrón de ola se presenta como en la Figura 1.10, presentando las siguientes características:

- Se presenta un nuevo sistema de olas, en la cual solo existen olas divergentes. Además, la longitud de ola aumenta provocando crestas más agudas y valles más profundos.
- Las líneas internas a las crestas frontales cambian de forma, se vuelven cóncavas.

- El ángulo en el cual el patrón de olas es contenido comienza a decrecer a medida que la velocidad aumenta hasta llegar a los 45.
- Reducción notable de los efectos de resistencia por olas y viscosa.

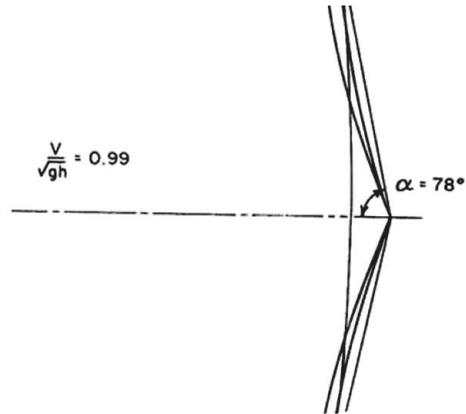


Figura 1.9 Patrón de ola para $F_{rh} = 1$.

Fuente: PNA [16]

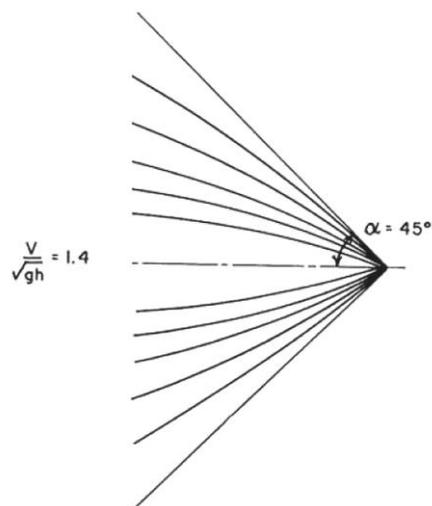


Figura 1.10 Patrón de ola para $F_{rh} > 1$.

Fuente: PNA [16]

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Identificación de los requerimientos de diseño

Los requerimientos de diseño de la embarcación desarrollada en este proyecto fueron establecidos considerando los siguientes parámetros en el tramo seleccionado del río Napo:

- Características geográficas del tramo de estudio.
- Características de las rutas de transporte
- Características hidrográficas del río Napo

2.1.1 Características geográficas del tramo de estudio

El río Napo recorre mayormente la provincia de Sucumbíos y parte de Orellana cuya representación geográfica se muestra en la Figura 2.1. Esta última está dividida en 4 cantones conformados por 5 parroquias y 28 rurales. Los cantones de: Francisco de Orellana, Aguarico, La joya de los Sachas tienen una mayor interacción con el río Napo.

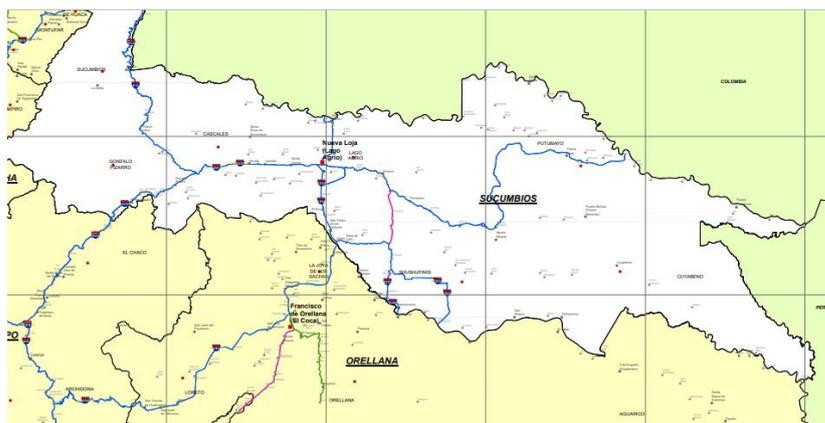


Figura 2.1 Mapa político de la provincia de Sucumbíos y Orellana

Fuente: Ministerio de transporte y Obras públicas [18]

La producción de la provincia de Orellana depende económicamente de diferentes actividades productivas, siendo la actividad petrolera la que generó un 88.5 % de los ingresos brutos a la provincia. De las actividades productivas y servicios que no están relacionadas con el sector público, se tiene que la agricultura, ganadería, caza y silvicultura generaron un monto monetario con US\$ 88'438.000,00, es decir

el 1.5% del PIB provincial. Por lo tanto, las actividades productivas realizadas por los comuneros locales aportan de forma significativa a la economía local [19]. Las comunidades ribereñas presentan una mayor productividad en sus cultivos debido a sus afluentes naturales. La infraestructura fluvial en el río Napo cuenta con dos tramos que poseen instalaciones de mayor envergadura como lo son: En el tramo ecuatoriano: Francisco de Orellana (El Coca) y Nuevo Rocafuerte (cabecera del canto Aguarico, provincia de Orellana, ubicada en las proximidades de la frontera con la república de Perú) con una longitud aproximada de 210 km con un recorrido como se observa en la Figura 2.2 y con una cantidad poblacional de 39150 personas distribuidas como se muestra en el Apéndice A.

En el tramo peruano: Cabo Pantoja (próxima a las fronteras con el Ecuador) y Mazan (próxima a las confluencias de los ríos Napo y Amazonas), abarcando mayor proporción del río Napo con una longitud aproximada de 920 Km y con una cantidad poblacional como se muestra en el Apéndice A.

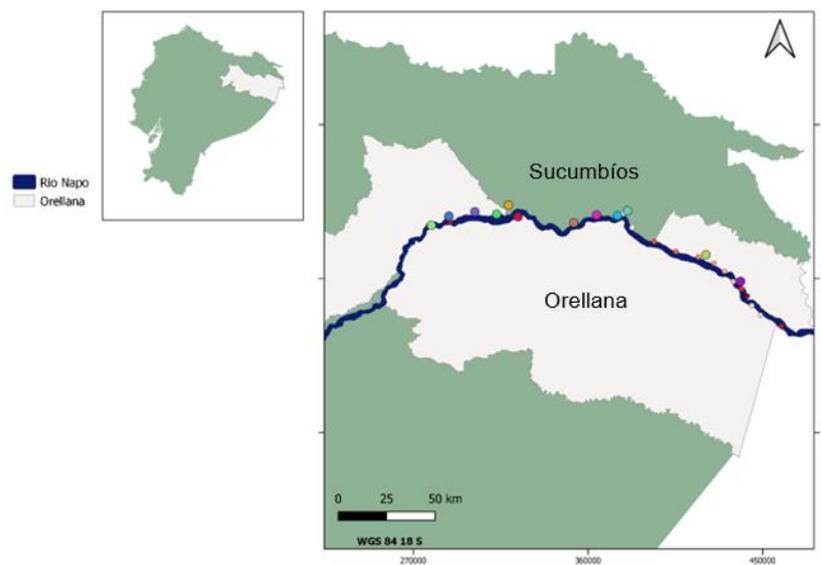


Figura 2.2 Río Napo “Tramo Ecuatoriano”

2.1.2 Características de las rutas de transporte

En el Tramo ecuatoriano del río Napo hay asentamientos donde la actividad comercial, mayormente petrolera se desarrolla con mayor intensidad, como en Francisco de Orellana y la parroquia de Pañacocha en el cantón Shushufindi.

Asimismo, entre las localidades de Pompeya en el cantón La Joya de los Sachas y Chiro Isla en el cantón de Aguarico se localizan una serie de concesionarias petroleras que requieren servicios de transporte de personal, insumos, equipos y víveres. Como resultado de esto, existen numerosos embarcaderos construidos por las mismas comunidades, por los gobiernos locales o por las empresas petroleras.

A continuación, se muestran las principales compañías con instalaciones comerciales con sus respectivas localizaciones como se muestra en la Figura 2.3, que benefician a las comunas aledañas [12]:

- Compañía de Transporte Fluvial Orellana (CCTFO).
- Compañías pertenecientes al cantón Aguarico (Caga y descarga de mercadería)
- Ecualogística (Empresa privada).
- Compañía turística YUTURI. (Usada para el embarque y desembarque de pasajeros).
- Hotel “La Misión”.
- Servicios petroleros Galeth-SEPEGA.

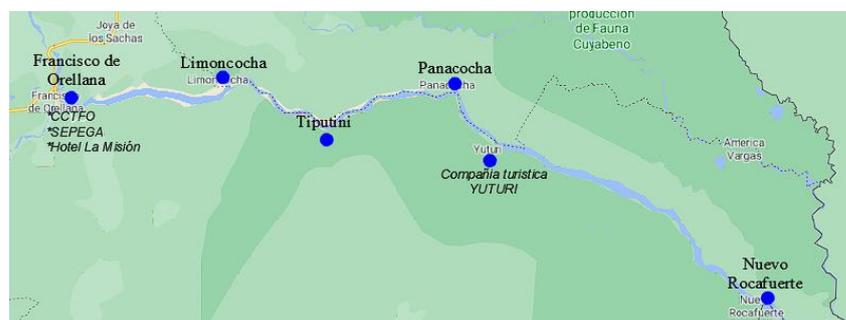


Figura 2.3 Principales puntos comerciales en el tramo ecuatoriano del río Napo.

Fuente: Estudio Binacional de Navegabilidad del Río Napo, 2010.

Por otro lado, como se muestra en la Figura 2.4, en el tramo ecuatoriano del río Napo, y particularmente sobre el margen derecho del río, se localiza una serie de “bloques o concesionarias “petroleras que se encuentran tanto en fase de exploración y explotación [12], que contratan a un número pequeño de personal de la comunidad.



Figura 2.4 Principales instalaciones de servicio para la industria petrolera.

Fuente: Estudio Binacional de Navegabilidad del Río Napo, 2010

Las diferentes operaciones realizadas a lo largo del río Napo en el tramo ecuatoriano se operan por empresas privadas y estatales. Por ejemplo, la empresa privada Dona-terra S.A. presta servicios a la industria petrolera, y es el principal proveedor de servicios de transporte personal, materiales y equipos siendo sus principales clientes las empresas Repsol YPF, Petroamazonas y Petrobrás [12]. Entre sus embarcaciones están:

- 01 deslizador de 9 [m] de eslora, capacidad para 16 pasajeros, un motor de 200 [HP] y velocidad de 23 [Knots] [12].
- 01 deslizador de 11 [m] de eslora, capacidad para 20 pasajeros, dos motores de 200 [HP] y velocidad de 23 [Knots] [12].
- 01 canoa de 26 [m] de eslora, capacidad para 20 pasajeros y 20 [ton] de carga y dos motores de 75 [HP].
- 01 canoa de 36 [m] de eslora, capacidad para 6000 galones de combustible y dos motores de 75 [HP].
- 01 gabarra de 38 [m] de eslora, 10 [m] de manga y 2 [m] de puntal con capacidad para 500 [ton]

En la se muestra un modelo típico de una embarcación tipo deslizadora, mientras que en la Figura 2.5 se muestra un modelo típico de una embarcación tipo canoa.



Figura 2.5 Embarcación deslizadora típica en el río Napo.

Fuente: Estudio Binacional de Navegabilidad del Río Napo, 2010



Figura 2.6 Canoas típicas de transporte de carga y pasajeros

Fuente: Estudio Binacional de Navegabilidad del Río Napo, 2010

Los deslizadores y canoas son usados durante todo el año mientras que las gabarras operan durante la época de creciente (meses de marzo y noviembre). Los destinos más frecuentes desde su base de operaciones en Francisco de Orellana son los mostrados en la

También la empresa privada Mariloginsa (Operador logístico integral especializado en soluciones multimodales), con base en el Puerto Francisco de Orellana, brinda servicios de transporte de pasajeros en el río Napo, siendo sus principales destinos los que se aprecian en la Figura 2.7, así mismo en la Tabla 2.2 se muestra características referenciales de sus embarcaciones.

Tabla 2.1 Tiempos y distancias de las embarcaciones de Donaterra S.A.

Fuente: Estudio Binacional de Navegabilidad del Río Napo, 2010.

Francisco de Orellana	Tiempo [horas]			Km
	Deslizador	Canoa	Gabarra	Distancia Aproximada [km]
Chiro Isla	3,5	7	30	157
El Edén	2,5	6	20	119
Pompeya	0,83	3	6	38

Tabla 2.2 Características embarcaciones de pasaje de Mariloginsa.

Fuente: www.mariloginsa.net

Número de motores	2
Potencia [HP] c/u	200
Velocidad [Knots]	32
Capacidad personas	20



Figura 2.7 Paradas estratégicas de la empresa Mariloginsa.

Fuente: www.mariloginsa.net

El transporte público en la ruta Nuevo Rocafuerte – Francisco de Orellana es realizado por cuatro empresas, de las cuales tres poseen embarcaciones tipo canoa. De las tres empresas, “Cetef” y “Kamu Kamu”, tienen su base en Francisco de Orellana, mientras que la restante, “Transrocafuerte”, tiene su base en Nuevo Rocafuerte. Además, la compañía de Transporte Fluvial “Transrocafuerte”, cuenta con dos embarcaciones de madera de 12 y 30 [ton] de capacidad, con motores

fuera de borda de 55 a 75 [HP]. Finalmente, la compañía de Transporte Fluvial Orellana - CCTFO cuenta con cerca de veinte embarcaciones de acero con una capacidad de carga de 2.5 a 50 [ton], y equipadas con motores fuera de borda con potencias de 35 a 75 [HP] [12].

Tabla 2.3 Duración, distancias y costos de las embarcaciones “Kamu Kamu”.

Fuente: Rome2rio

De Puerto Francisco de Orellana a	Servicio rápido			Servicio regular			Frecuencia
	Duración [h]	Dist. [Km]	costo [\$]	Duración [horas]	Dist. [Km]	costo [\$]	
Nuevo Rocafuerte	4	205,3	30	8	205,3	15	6 veces por semana

Las tarifas para el transporte de pasajeros y carga para las diferentes rutas a lo largo del río Napo que son aplicadas a las empresas públicas se rigen a lo establecido por la Dirección Marina Mercante (con sede en Guayaquil), en la resolución N° 169/2002, y son mostradas en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Tarifas para el transporte de pasajeros y carga.

Fuente: Estudio Binacional de Navegabilidad del Río Napo,2010.

Transporte de pasajero	\$/persona	\$/quintal	Distancia [Km]
Francisco de Orellana a Pompeya	2,40	0,70	39.93
Francisco de Orellana a Providencia	3,60	1,00	65.59
Francisco de Orellana a Pañacocha	7,80	1,50	113.07
Francisco de Orellana a Chiro Isla	10,20	2,00	147.53
Francisco de Orellana a Tiputina	13,80	2,70	170
Francisco de Orellana a Nuevo Rocafuerte	15	3,00	210

2.1.3 Características hidrográficas del río Napo

De acuerdo con información recolectada del “Estudio Binacional del Río Napo”, el río Napo tiene una estación de máxima creciente en los meses de junio a agosto, una época de mínima vaciante entre los meses de diciembre a febrero, y un periodo de transición entre los meses de marzo a noviembre. Estas estaciones están definidas por la cantidad de precipitación recibida en esta zona, afectando

la navegabilidad de ciertas embarcaciones, como barcazas y gabarras, por el río Napo en la siguiente forma:

Durante la época de creciente, embarcaciones de 1.20 [m] de calado o valores superiores, según el nivel que alcance el río, pueden navegar desde Nuevo Rocafuerte hasta la localidad de Francisco de Orellana como se muestra en la Figura 2.8 [12].



Figura 2.8 Navegabilidad del río Napo en época creciente.

Fuente: Estudio Binacional de Navegabilidad del Río Napo, 2010.

Durante la época de vaciante, como se muestra en la Figura 2.9, la navegabilidad está limitada a:

- Embarcaciones de hasta 1.20 [m] de calado desde Iquitos hasta Santa Clotilde y acceso al río Curaray en el territorio peruano.
- Embarcaciones de hasta 0.90 [m] de calado desde Santa Clotilde hasta las localidades de Cabo Pantoja (Perú) y Nuevo Rocafuerte (Ecuador).
- Embarcaciones de hasta 0.75 [m] de calado desde Nuevo Rocafuerte (Ecuador) hasta las proximidades de las localidades de Providencia – Itaya (Ecuador).

- Embarcaciones de hasta 0.60 [m] de calado desde Puerto Itaya hasta la localidad de Francisco de Orellana (Ecuador).

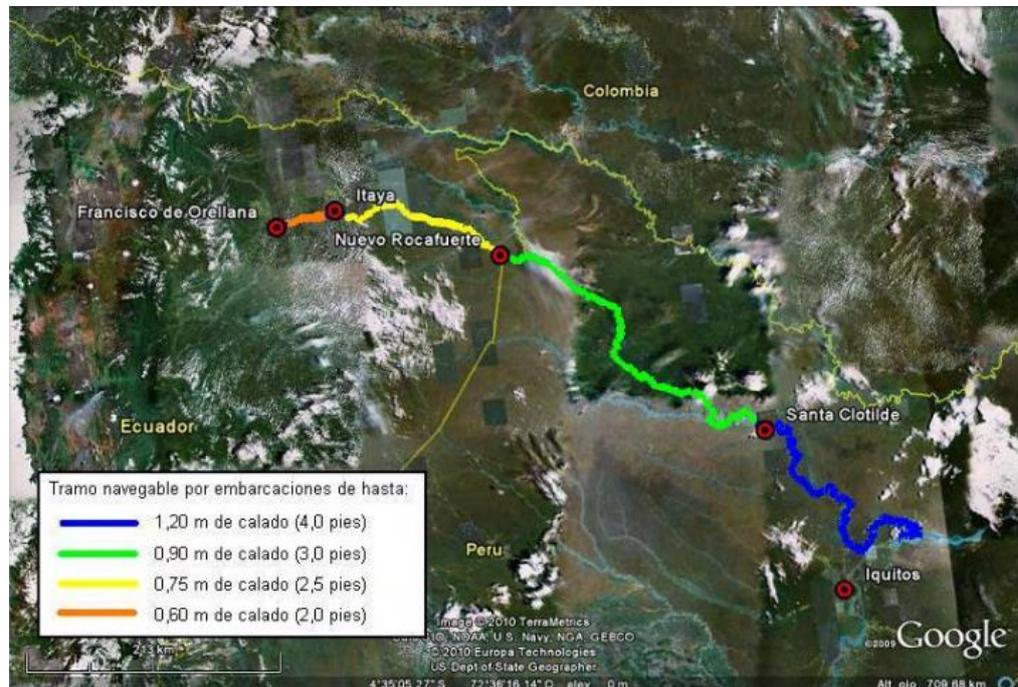


Figura 2.9 Navegabilidad por el río Napo en época de vaciante.

Fuente: Estudio Binacional de Navegabilidad del Río Napo, 2010.

2.1.3.1 Selección del calado de diseño

Para la selección del calado de diseño se consideró la siguiente metodología:

- Selección de una base de datos de embarcaciones operativas en el tramo del río Napo.
- De la base de datos seleccionada, se estableció un rango de calados operativos aplicando el histograma de frecuencias como herramienta estadística, de tal manera, que la selección se limite a los calados que aparecen con mayor frecuencia.
- De las referencias bibliográficas; Estudio Binacional de Navegabilidad del río Napo [20] e Informe Técnico de Comisión INAMHI [21], se extrajeron los datos relevantes de las profundidades en diferentes puntos a lo largo del río Napo entre Francisco de Orellana y Nuevo Rocafuerte.
- Empleando la información proporcionada por el INOCAR se elaboró una representación gráfica con las diferentes profundidades, cuya finalidad es

conocer las profundidades mínimas a lo largo del río Napo considerando diferentes temporadas como se aprecia en el APÉNDICE B.

- Como referencia para la selección del calado, se consideró la relación profundidad-calado de 3.61 de la referencia “Shallow Water Performance of a Planing Boat [1]”, usada para la estimación de la resistencia al avance.
- Finalmente se determinó un calado de diseño de 0.5 [m] considerando el rango de calados identificado en los pasos previos y la mínima profundidad reportada por las referencias bibliográficas y la base de datos del INOCAR.

2.2 Diseño conceptual

2.2.1 Requerimientos de diseño

Se identificaron las necesidades de las comunas ribereñas, considerando diferentes puntos de vista de las diferentes localidades. Los requerimientos para el diseño preliminar fueron:

- Diseño de una embarcación rápida que permita brindar servicio público de transporte y carga entre las comunidades ribereñas.
- Acorde a las características hidrográficas mencionadas en el río Napo durante las diferentes épocas del año, se seleccionó un **calado** mínimo de 0.50 [m].
- La **autonomía** fue determinada considerando como referencia el tramo más largo de comunicación entre las principales parroquias en el río Napo; Francisco de Orellana (Coca) – Nuevo Rocafuerte; con una distancia de 210 [km].
- La **velocidad** de las embarcaciones rápidas y canoas se manejan con diferentes rangos de velocidades. Las primeras trabajan en un rango de 25 a 40 [nudos], mientras que las canoas operan entre 12 a 20 [Knots], para el proyecto se consideró una velocidad mínima de operación de 28.5 [Knots].
- La **capacidad de carga** de la embarcación se seleccionó considerando la información recolectada sobre la capacidad necesaria para trasportación, y se estableció una capacidad máxima de 20 pasajeros y 3.37 [ton] como máximo para el transporte de carga.

- Finalmente se consideró una distribución general funcional, la maniobra de carga y descarga en general, para que se pueda usar la infraestructura existente.

2.2.2 Dimensionamiento conceptual

El dimensionamiento principal de la embarcación se realizó partiendo de un análisis estadístico de las características principales de embarcaciones que actualmente operan en el río Napo, tanto en el tramo ecuatoriano como en el tramo peruano. Para ello, se estructuró una base de datos, se realizaron regresiones lineales descartando los datos aberrantes para obtener un alto factor de correlación y mayor fiabilidad de los parámetros de análisis. A continuación, se detalla la base de datos que se usó:

Tabla 2.5 Base de datos embarcaciones fluviales operativas en el río Napo.

Fuente: Ing. Clemente Rendon-Subsecretaria

Nombre	Eslora [m]	Manga [m]	Puntal [m]	Calado [m]
Boca tiputini vi	9,00	2,42	0,75	0,35
Donna i	9,35	2,58	0,80	0,31
Donna ii	9,35	2,58	0,80	0,31
El avion 3	9,80	2,60	0,80	0,40
El avion 5	9,80	2,35	0,71	0,35
Fenix iii	9,80	2,60	1,00	0,80
Halcon 2	8,70	2,42	0,88	0,60
La joya del napo	17,20	3,40	0,90	0,60
La otra	9,00	2,42	0,75	0,35
Maikel uriel	9,55	2,36	0,85	0,40
Orellana 15	9,50	2,45	0,90	0,40
Yakuruna	9,50	3,12	1,00	1,00
Yaku runa 2	12,20	3,25	0,85	0,30
Yakuruna 3	12,20	3,25	0,85	0,30
Lancha de Río "Cotecmar"	12,72	2,80	--	0,71
Multipropose vessel	12,70	3,85	--	0,65
Ac1300	12,40	3,65	--	0,45
Ac1600	15,62	3,39	--	0,60

Nombre	Eslora [m]	Manga [m]	Puntal [m]	Calado [m]
Raven 17 patrol	17,83	5,43	--	0,79
Trans vichu	9,00	2,30	0,10	--
Trans vichu iv	14,25	2,80	1,00	--
Trans vichu vi	8,00	2,00	0,75	--
Trans vichu vii	8,30	2,30	0,90	--
Trans vichu ix	11,00	2,10	0,90	--
Trans vichu x	13,00	2,65	1,00	--
Transporte raivaj	12,28	2,20	0,75	--
Transporte morenito	13,00	2,50	0,95	--

A partir de la base de datos mostrada en la Tabla 2.5, se graficaron curvas de regresión lineal, y tomando como variable dependiente el calado, se obtuvieron las características principales de la embarcación que se muestran en la Tabla 2.6:

Tabla 2.6 Datos principales de la embarcación.

Fuente: Propia

Características	Valor	Unidades
Eslora [L]	13.46	m
Manga [B]	2.79	m
Puntal [D]	0.92	m
Calado [T]	0,5	m

2.2.3 Líneas de forma

Las formas de la embarcación fueron seleccionadas en forma de “V”, este tipo de formas son muy típicas para embarcaciones de planeo, ya que permiten la generación de fuerzas horizontales que contribuyen a la estabilidad del buque, además, reducen el impacto contra las olas, por ende, también las aceleraciones negativas, dando como ventaja un mayor confort de la embarcación [17]. Considerando lo mencionado, se seleccionaron las formas de la embarcación rápida disponible en la página web de GRABCAD [22], como se muestra en la Figura 2.10:

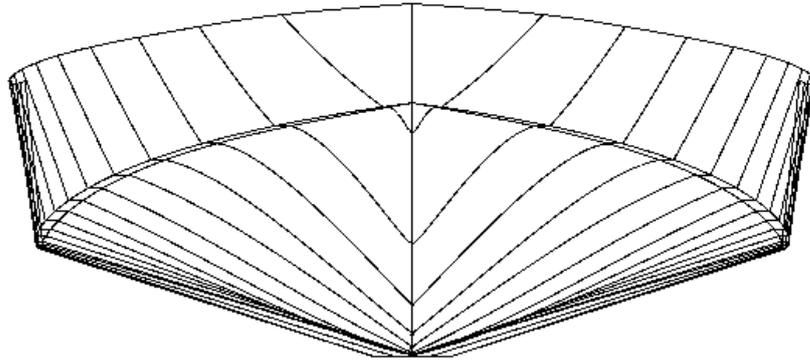


Figura 2.10 Vista frontal del modelo Damen.

Fuente: Propia

A continuación, se detallan las características principales del modelo Damen como se aprecia en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Características principales del modelo Damen

Fuente: Propia

Características	Valor	Unidades
Eslora [L]	13.46	m
Manga [B]	2.79	m
Puntal [D]	0.92	m
Calado [T]	0,5	m
Desplazamiento Δ	7.82	Ton
Volumen V	7.62	m ³
Lwl	12.34	m
Área mojada	30.98	m ²
Cp	0.65	--
Cb	0.46	--
Cm	0.72	--
Cwp	0.77	--

2.3 Dimensionamiento preliminar

En esta sección se realizó una segunda iteración de la espiral de diseño, y se determinaron mayores detalles de la embarcación en las etapas de: formas, distribución general, estructura general, resistencia y propulsión y estabilidad intacta de la embarcación. Finalmente, se realizaron estimaciones de costos de construcción y operación, además de un análisis de viabilidad del proyecto.

2.3.1 Líneas de forma

La modificación de las líneas de formas se realizó empleando un software CAD “Rhinoceros”, en la cual se cambiaron características tales como: longitud de la china, ángulo de astilla muerta, manga de la china, manga en el espejo de la china, área proyectada de la china y las dimensiones principales de la embarcación, esto considerando las características de tres diferentes modelos de series sistemáticas; series de Southampton (2011) [17], series sistemáticas 62 [23], series 50 [24] .

Las **series 50**, donde el casco es de los más largo y antiguos de las series planeadoras de EE.UU. fue desarrollada originalmente como un tipo de casco para semi-planeo cuyos ensayos en los canales de prueba se realizaron en 1940-1941, usando como variables las relaciones manga-calado, desplazamiento-eslora y asiento estático. Los diseños de la serie 50 incluyen: warps, secciones cóncavas y perfil lineal redondeado, características que son conocidas por generar un incremento en la resistencia en embarcaciones planeadoras a altas velocidades como se aprecia en la Figura 2.11. Los modelos fueron probados a diferentes números de Froude de 0.13 a 2.05 y comparten características similares como se muestra en la Tabla 2.8 [24].

Tabla 2.8 Características principales de los modelos de la Serie 50.

Fuente: Re-analysis of Series 50 Tests of V- Bottom Motor Boat

C_b	Coeficiente de bloque	0.40
$A_p/L_p \cdot B_{px}$	Coeficiente de área de planeo	0.84
$C_{AP/LP}$	Centroide del área de planeo en función de la eslora de la china medido desde el espejo	44%
C_x	Coeficiente de la sección máxima	0.60
L_{CG}	LCG de diseño como porcentaje de la eslora de la china medido desde el espejo.	43.5

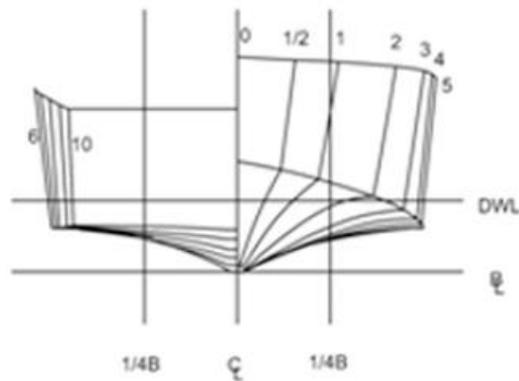


Figura 2.11 Modelo estándar de la Serie 50

Fuente: Re-analysis of series 50 Test of V-Bottom Motor Boats, SNAME (2013).

La **serie 62** fueron modelos actualizados de la serie 50 como se muestra en la Figura 2.12, en la cual se elaboraron 5 modelos con diferente relación eslora-manga, cuyas pruebas de resistencia fueron realizadas a diferentes números de carga y centros de gravedad longitudinal. La forma del casco fue modificada con respecto de la serie 50 en los siguientes aspectos [23]:

- El ángulo de astilla muerta en el espejo incremento a 12.5°
- La popa del fondo del casco tiene un ángulo de astilla muerta constante.
- La popa es estrecha, con el ancho del espejo igual al 65% del ancho máximo de la china.
- Las secciones de la popa son convexas.

Los 5 modelos desarrollados consideraron la relación eslora-manga en rangos de 2 a 7 y el rango de velocidad varia de números de Froude volumétrico de 0.2 a 6.

La **serie de Southampton** desarrollo cuatro modelos “monohedral” donde la relación eslora-manga varia de 6.25 a 3.77 y un ángulo constante de astilla muerta de 22.5 grados. El rango de velocidad fue de para un rango de Froude volumétrico de 2.71 a 8.02 [17], las vistas transversales de los diferentes modelos de la serie se aprecian en la Figura 2.13. En el APÉNDICE A se muestran las características principales los diferentes modelos de cada una de las series sistemáticas mencionadas.

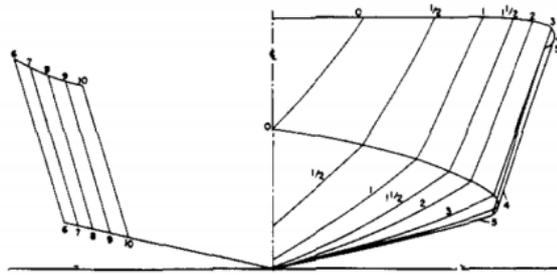


Figura 2.12 Modelo estándar de las Series Sistemáticas 62.

Fuente: Resistance test of a systematic series of planing hull (1960).

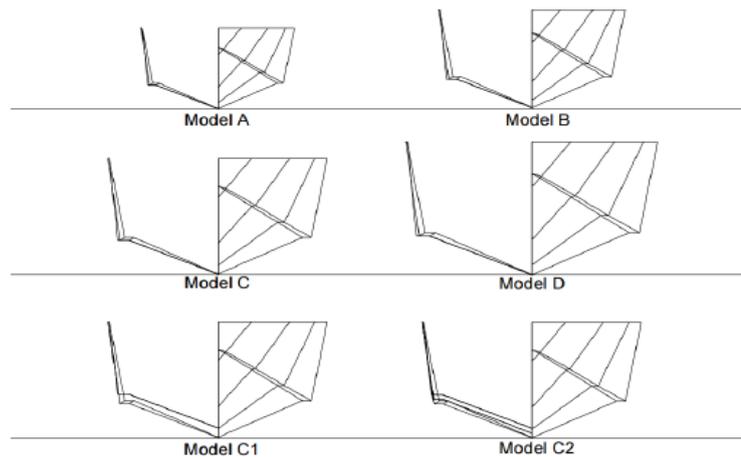


Figura 2.13 Modelos de la serie sistemática de Southampton.

Fuente: Hydrodynamics of planing hull (2014)

2.3.1.1 Modelo 1174-Serie 62

El modelo 1174 fue derivado de las formas de la serie 62 y se desarrolló para el estudio del comportamiento de la resistencia al avance en aguas de profundidad limitada para embarcaciones rápidas en la Universidad de Michigan [1]. Se utilizaron modelos a escala con una eslora de 1.05 [m] y la experimentación fue desarrollada considerando cuatro diferentes profundidades de 0.19, 0.30, 0.5 [m], aguas profundas, y tres diferentes posiciones del LCG localizados a 2%, 6% y 10% de la longitud de la china (L_p) medidos desde sección media. La sensibilidad de la resistencia al avance de la embarcación planeadora se analizó a un rango de números de Froude volumétricos de 0.5 a 3.5 y fueron comparados con los resultados obtenidos para aguas profundas.

Se obtuvieron gráficos y datos experimentales que comparan los valores de la resistencia, asiento dinámico y el crecimiento del centro de gravedad de la embarcación a los diferentes valores de profundidad y LCG [1]. En la Tabla 2.9 se muestran las características principales del modelo 1174.

Tabla 2.9 Características principales del modelo 1174-Serie 62.

Fuente: Shallow Water Performance of Planing Boat

Modelo 1174	
L [ft]	3,72
L_p [ft]	3,50
T [ft]	0,17
B_{pa} [ft]	0,95
B_{px} [ft]	1,14
B_{pt} [ft]	0,81
A_p [ft²]	3,32
V [ft³]	0,34
B_{px}/T	6,62

$A_p/(L_p, B_{px})$	0,83
L_p/B_{pa}	3,69
L_p/B_{px}	3,06
B_{px}/B_{pa}	1,21
B_{pt}/B_{px}	0,71
B_{pa}/B_{px}	0,83
$L_p/v^{1/3}$	5,03
$A_p/v^{2/3}$	6,87
LCG, % L_p Forward of Transom	48%

Donde:

L: Eslora total del modelo

L_p : Eslora de la china

T: Calado

B_{PA} : Manga media sobre la china

B_{PX} : Manga máxima en la china

B_{PT} : Manga sobre la china en el espejo

A_p : Área proyectada de la china

V: Volumen desplazado

2.3.1.2 Selección de las formas de la embarcación

Para la selección final de las formas del proyecto se estableció la siguiente metodología:

- Considerando el calado de diseño definido en la sección 2.1.3.1 y tomando en consideración los valores de las relaciones adimensionales de los diferentes

modelos de las series sistemáticas, se obtuvo un grupo de datos, cada uno con diferentes dimensiones.

- Se tomó como punto de partida al plano de líneas de forma conceptual “Damen”, cuya geometría fue generada en el programa CAD Rhinoceros, donde se realizaron modificaciones en las formas considerando las proporciones de los diferentes modelos en el literal anterior.
- Empleando el software de arquitectura naval “Maxsurf”, se verificaron las características hidrostáticas de los diferentes modelos.
- Se tomó como referencia de comparación las relaciones adimensionales del modelo 1174 usado en el estudio “Shallow Wáter Performance of a Planing Boat [1]”, empleado para la estimación de la resistencia al avance.
- La selección de las formas finales del proyecto se eligió en función de lo siguiente:
 - Considerar el modelo cuyas relaciones adimensionales con respecto al modelo 1174 tengan la menor diferencia
 - Considerar el modelo que posea un mayor desplazamiento dado que uno de los parámetros principales de diseño es la capacidad de carga.
 - Posteriormente, se tomó en cuenta la disponibilidad de información bibliográfica de las tres diferentes series sistemáticas mencionadas anteriormente.
- Finalmente, se seleccionó el modelo 4666 de la serie 62 considerando los criterios mencionados en el apartado anterior, cuyas características principales se muestran en Tabla 2.10, el modelo 4666 será mencionado como “modelo del proyecto” para futuros apartados.

En el Apéndice A se muestra detalles sobre las dimensiones y las relaciones adimensionales de los modelos modificados de las series sistemáticas que mantenían un mayor margen de relación con respecto al modelo 1174.

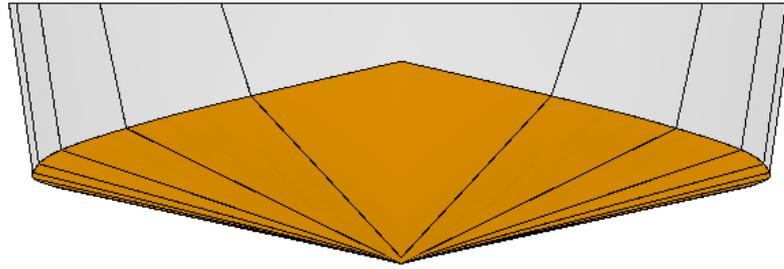


Figura 2.14 Modelo del proyecto.

Fuente: Propia

Tabla 2.10 Características principales del modelo del proyecto.

Fuente: Propia

Características	Valor	Unidades
Eslora [L]	11.84	m
Manga [B]	3.69	m
Puntal [D]	1.23	m
Calado [T]	0,5	m
Desplazamiento Δ	9.91	Ton
Volumen V	9.70	m ³
Lwl	11.50	m
Área mojada	36.71	m ²
Cp	0.805	--
Cb	0.482	--
Cm	0.618	--
Cwp	0.80	--

Tabla 2.11 Rango de aplicabilidad de coeficientes adimensionales.

Fuente: Propia

Coeficientes	Cb	Cm	Cw
Savitsky and Brown (1976)	0,35-0,64	0,55-0,87	0,73-0,83
Modelado Seleccionado	0,48	0,62	0,80

2.3.2 Distribución general

La distribución general de la embarcación rápida, mostrada en la Figura 2.15, se la determinó considerando los requerimientos de capacidad de carga establecidos

anteriormente. Para ello se definieron los siguientes espacios a lo largo de la embarcación:

- Zona de embarque y desembarque

Debido a los escasos de puertos de desembarque y embarque en la zona de estudio, se estableció una plataforma deslizante manualmente de 0.7 [m²] con pasamanos localizado a babor entre la zona de carga y el servicio higiénico, para comunicar a la embarcación y el punto de embarque para el tránsito de personas y carga.

- Zona de servicios

Esta zona está destinada para cubrir las necesidades de los usuarios, durante los recorridos a lo largo del río Napo. Esta zona está ubicada a popa al costado de la zona de embarque y desembarque, y comprende un servicio higiénico para los usuarios, en la parte inferior del piso se colocó un depósito de aguas grises, además, un pequeño stand de víveres que esta diagonal al baño, para satisfacer las necesidades alimenticias de los pasajeros.

- Zona de pasajeros

Comprende la zona de carga ligera y pasajeros de 13.14 [m²] ubicada entre las estaciones 11 y 21. Este espacio tiene 20 sillas confortables distribuidas de forma simétrica con respecto a la línea de crujía. Los pasajeros tendrán derecho a llevar en esta zona una maleta de mano o bolsos de hasta 10 [Kg], las cuales podrán ser ubicadas en los compartimentos personales encima de los asientos. Esta zona consta además con televisión y aire acondicionado.

- Zona de Carga

Esta zona tiene un área de 7.13 [m²] y es usada exclusivamente para el transporte de hasta 3.15 [tons] de carga pesada. En esta zona se transportará víveres siempre que tengan un empaque adecuado, diferentes tipos de materiales y objetos, entre otros de hasta 23 [Kg]. La embarcación tendrá la capacidad de servicio de encargos para los diferentes puertos.

- Zona de Proa

En este lugar se encontrará situada la zona de mando, alberga todos los equipos y sistemas necesarios para controlar la navegación tales como;

sistema de radiocomunicación, equipos de navegación y equipos de seguridad. Asimismo, esta permite una adecuada visibilidad de la persona al mando, y posee algunas prestaciones para la comodidad del piloto, como armarios de almacenaje y herramientas, piezas necesarias de navegación.

Nuestra propuesta tiene una eslora L de 11.84 [m], y se obtuvo un espaciamiento entre refuerzos de 0.41 [m], el cual se redondeó a 0.4 [m] como espaciamiento entre cuadernas.

A pesar de que para embarcaciones con eslora menor a 15 [m], no es necesario un mamparo de colisión, en el diseño desarrollado se situó uno entre el $0.05L$ y $0.1L$, en la estación número 27.

2.3.3 Arreglo estructural

El arreglo estructural de la embarcación es uno de los puntos más importantes a analizar en el proceso de diseño, porque garantiza la integridad de la embarcación y de los tripulantes. Debido a que es una embarcación rápida, se consideraron las diferentes presiones actuantes en el casco por las altas concentraciones de esfuerzos que se producen. El diseño estructural se elaboró empleando las reglas de la Sociedad de Clasificación Internacional "American Bureau of Shipping *Rules for Building and Classing High Speed Craft*" [25], la cual es una de las más reconocidas sociedades dentro de las IACS.

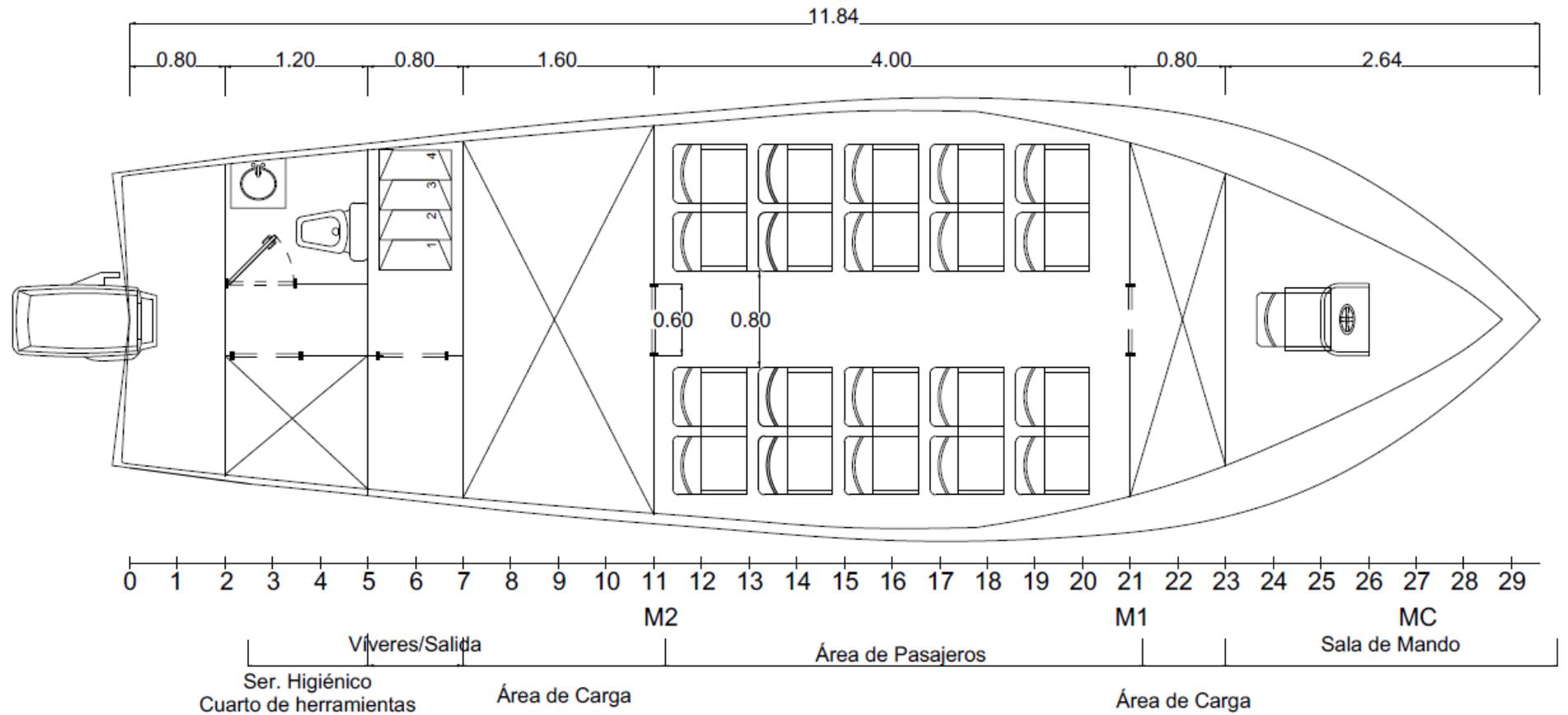


Figura 2.15 Distribución preliminar de áreas y espacios a 0.43 [m] de línea base.

Fuente: Propia

2.3.3.1 Material

El uso del aluminio en la industria naval ha incrementado debido a las grandes ventajas que poseen en función del acero e inclusive la fibra de vidrio. Por ejemplo, la resistencia al impacto de este material es elevada lo que permite a las embarcaciones conservarse en buen estado y resistir el continuo golpe del mar, debido a que su módulo de elasticidad es bajo (1/3 del acero). Permitiendo que su deflexión elástica sea mayor, es decir, la energía al impacto se disipa más gradualmente que cuando se aplica a materiales menos elásticos, absorbiendo mucha más energía que un material quebradizo como la fibra de vidrio. Por esta razón se lo usa con buenos resultados en la construcción de botes de alta velocidad [26].

Para el presente proyecto se usaron dos diferentes tipos de aleaciones de aluminio considerando la disponibilidad del material en el mercado ecuatoriano e información bibliográfica [26], tanto para el planchaje como para los refuerzos de la embarcación. El primer tipo es aluminio 5086 H116 y se lo usó para las planchas del forro del casco debido a que ofrece buena manejabilidad, soldabilidad, ductilidad, excelentes cualidades de acabado, resistencia a la fatiga media y muy buena resistencia a la corrosión. El segundo tipo es la aleación de aluminio 6061-T6 y se lo uso para construir los refuerzos. Se escogió este material debido a la buena soldabilidad, resistencia moderada alta y alta resistencia al desgaste. A continuación, en la Tabla 2.12 se muestran las características principales del material:

Tabla 2.12 Esfuerzos permisibles para el aluminio naval

Fuente: ISO 12215-5

Material	Aplicación	σ_y [N/mm ²]	σ_u [N/mm ²]
Aluminio 5086 H116	Planchas	185	275
Aluminio 6061-T6	Refuerzos	240	260

Figura 2.1 Aleaciones de aluminio típicas usadas en el ámbito naval.

Fuente: Apuntes de Materiales en Medios Marinos (ESPOL), 2015

Tabla 2.3 Aleaciones de tipo marino populares					
Aleación	Tratamiento	Resistencia a la fluencia	Resistencia al corte	Formas disponibles	Usos
5050	H34	24,000	18,000	Laminas, planchas, tubos	Cascos pequeños
	H38	29,000	20,000		
5052	H34	31,000	21,000	Laminas, planchas, varillas, tubos, barras, remaches	Casetas, cascos pequeños
	H38	37,000	24,000		
5056	H18	59,000	34,000	Laminas, varillas, remaches	Remaches
	H38	50,000	32,000		
5083	H112	23,000	25,000	Laminas, planchas, perfiles estirados, forjados	Cascos, cubiertas, mamparas cuadernas maestras
	H321	33,000	28,000		
	H343	41,000	30,000		
5086	H112	19,000	23,000	Laminas, planchas, perfiles estirados, forjados	Cascos soldados, cubiertas, mamparas cuadernas
	H32	30,000	28,000		
	H34	37,000			
5454	H112	18,000	23,000	Laminas, planchas, perfiles estirados, forjados	Cascos pequeños, pasamanos
	H34	35,000	26,000		
	H311	26,000	23,000		
5456	H24	41,000	31,000	Laminas, planchas, perfiles estirados, forjados	Casos soldados
6061	T4	21,000	24,000	Laminas, planchas, perfiles estirados, forjados	Cascos, cubiertas, mástiles, plumas, remaches
	T6	40,000	30,000		
	T8	52,000	32,000		
6063	T4	13,000	16,000	Tubos s/c perfiles estirados	Pasamanos, mástiles pequeños, plumas
	T5	21,000	17,000		
	T6	31,000	22,000		
6066	T4	30,000	29,000	Tubos s/c perfiles estirados	mástiles, plumas
	T6	52,000	34,000		
6070	T6	52,000	34,000	Tubos s/c perfiles estirados	mástiles, plumas
6351	T4	27,000	22,000	Tubos s/c perfiles estirados	Cascos cubiertas, cuadernas, mástiles
	T6	43,000	29,000		
7001	T6	91,000		Tubos s/c perfiles estirados	mástiles
7075	T6	73,000	48,000	Varias formas de perfiles	Propósito general, alta resistencia

2.3.3.2 Arreglo Estructural

La selección del espaciamiento entre cuadernas se estableció empleando la Norma para la Construcción y Clasificación de Embarcaciones de Recreo (RINA) [27] (Sección B-parte1), aplicable a todas las embarcaciones,

independientemente de cuál sea el material de construcción, sigue la siguiente formulación:

$$S_R = 0.35 + 0.005L \quad (2.1)$$

Donde:

L : Eslora en flotación, tomada desde el extremo de la roda hasta el codaste en el plano de simetría.

El cálculo estructural se realizó empleando ABS **HIGH SPEED CRAFT 2003** Part 3 Hull Construction and Equipment [25], la cual establece el siguiente sistema de cálculo:

2.3.3.2.1 Presiones de diseño (HSC 3-2-2)

La presión de diseño en el fondo debe ser el mayor de lo calculado de las siguientes ecuaciones:

Presiones de diseño para el fondo:

- Presión en el fondo por slamming

$$P_{bxx} = \frac{N_1 \Delta}{L_w B_w} (1 + n_{cg}) F_D F_V \left[\frac{KN}{m^2} \right] \quad (2.2)$$

- Presión hidrostática

$$P_d = N_3 (0.64H + d) \left[\frac{KN}{m^2} \right] \quad (3.3)$$

Donde:

n_{cg} : La aceleración vertical de la embarcación

N_1 : 0.1

N_3 : 9.8

L_w : Longitud de la embarcación en la línea de flotación

B_w : Manga máxima en flotación

Δ : Desplazamiento a la línea de flotación

F_V : Factor de aceleración vertical el cual toma un valor de 1

F_D : Factor de área de diseño dado en 3-2-2/tabla 2. Para el presente caso se toma un valor interpolado de 0.79 para un s de 400 [mm].

s [mm]	F _D
250	0.85
500	0.75
750	0.60
1000	0.50
1250	0.40

H : Parámetro de ola ($0.0172L+3.653$ [m]), con un valor de 3.86 [m]

d : Calado de diseño

Presión de diseño en el costado y espejo:

- Presión por Slamming

$$P_{xx} = \frac{N_1 \Delta}{L_w B_w} * (1 + n_{xx}) \left(\frac{70 - \beta_{sx}}{70 - \beta_{cg}} \right) F_D \left[\frac{KN}{m^2} \right] \quad (4.4)$$

- Presión hidrostática

$$P_s = N_3 (H_s - y) \left[\frac{KN}{m^2} \right] \quad (5.5)$$

Donde:

n_{xx} : Promedio de 1/100 las aceleraciones verticales más altas, puede ser calculada usando: $n_{xx} = n_{cg} \cdot K_v$

K_v : Factor vertical de la aceleración, para el presente caso con un valor de 1.

β_{sx} : Angulo de astilla muerta al costado de una sección al LCG, con un valor de 55°

β_{cg} : Angulo de astilla muerta al LCG, con un valor de 12.5°

H_s : $0.083L+d$ [m], con un valor de 1.48

y : Distancia desde la línea base hasta el punto hidrostático considerado, para este caso 0.82 [m].

Presión de diseño en los extremos

- Presión extremos

$$P_{sf} = 0.28 F_a C_f N_3 (0.22 + 0.15 \tan \alpha) (0.4V \sin \beta + 0.6\sqrt{L})^2 \left[\frac{KN}{m^2} \right] \quad (6.6)$$

Presión para mamparo de colisión

- Presión

$$P_t = N_3 h \left[\frac{KN}{m^2} \right] \quad (7.7)$$

$$P_t = \rho g (1 + 0.5n_{xx}) h_2 \left[\frac{KN}{m^2} \right] \quad (8.8)$$

Donde:

F_a : 3.25 para planchas y 1 para longitudinales, transversales y vigas

C_f : 0.0125L para embarcaciones de eslora menor a 80 [m]

β : Angulo que forma la línea de crujía con la tangente en el costado como se muestra en la Figura 2.16, para el presente caso con un valor de 18.52°.

α : Angulo entre una línea vertical y la tangente del costado de la embarcación en la línea de flotación como se muestra en la Figura 2.16 con un valor de 6.20° para el presente caso.

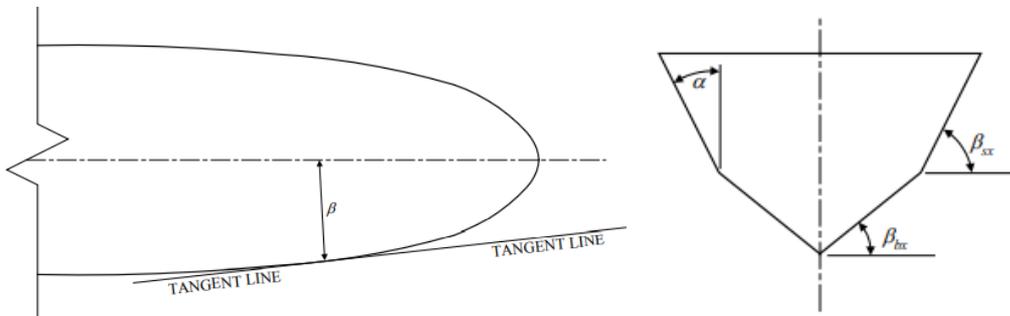


Figura 2.16 Representación gráfica de las variables β , β_{bx} , β_{sx} y α

Fuente: ABS HSC,2014

h : Es el mayor de las siguientes distancias en metros, desde el borde inferior del panel o centro de área soportada por refuerzo a:

- Punto localizado a 2/3 de la cubierta superior principal, con un valor de 0.72 [m]
- Punto localizado por encima de la parte superior del tanque no mayor de la siguiente ecuación.

$$a) 0.01L + 0.15 [m] = 0.27 \quad (9.9)$$

$$b) 0.46 [m]$$

Presiones de diseño para la cubierta

Las presiones de diseño para la cubierta están dadas en HSC 3-2-2/Tabla 3, estas cargas sobre la estructura del casco dependen de la función de la embarcación ya sea de su carga útil o del entorno operativo. La zona de la cubierta principal se dividió para dos tipos de presiones actuantes, la primera considero la zona de carga y la segunda la zona de pasajeros. Para la cubierta de pasajeros se aplicó la formulación que relaciona la cubierta interna en la línea de francobordo (marco rojo), mientras que para la estimacion de la presión actuante en la cubierta de carga se considero la fuerza del peso que soporta la cubierta (marco azul) como se muestra en la Figura 2.17:

<i>Location</i>	kN/m^2	tf/m^2	<i>psi</i>
Exposed freeboard deck, and superstructure and deckhouse decks forward of 0.25L.	$0.20L + 7.6$	$0.020L + 0.77$	$0.0088L + 1.10$
Freeboard deck inside enclosed superstructures and deckhouses, exposed superstructure and deckhouse decks aft of 0.25L , and internal decks included in the hull girder bending moment	$0.10L + 6.1$	$0.010L + 0.62$	$0.0044L + 0.88$
Enclosed accommodations decks	5.0	0.5	0.71
Concentrated deck cargo loads	$W(1 + 0.5n_{xx})$	$W(1 + 0.5n_{xx})$	$W(1 + 0.5n_{xx})$
Enclosed store rooms, machinery spaces, etc.	$\rho h(1 + 0.5n_{xx})$	$\rho h(1 + 0.5n_{xx})$	$(\rho/144)h(1 + 0.5n_{xx})$

Figura 2.17 Presiones de diseño para la cubierta principal

Fuente: ABS HSC,2014

Donde:

W : Capacidad de carga de la cubierta [KN/m²], para el presente caso 4.33 [KN/m²]

n_{xx} : Promedio de 1/100 las aceleraciones verticales más altas.

Presión de diseño para la Superestructura

La selección de la presión de diseño para la superestructura se la considero tomando como referencia los puntos de análisis dados en la norma ABS HSC, 2014, como se muestra en la Figura 2.18. Se tomo como presión de diseño la localizada en el punto "House Top" para esloras menores de 12.2 [m].

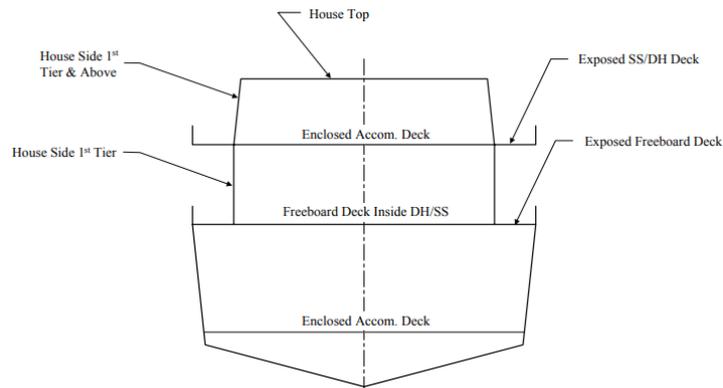


Figura 2.18 Puntos de análisis para la presión de diseño en superestructuras

Fuente: ABS HSC,2014

Location	$L \leq 12.2m$ (kN/m ²)	$12.2m < L \leq 30.5m$ (kN/m ²)	$30.5m < L \leq 61m$ (kN/m ²)	$61m < L \leq 90m$ (kN/m ²)	$L > 90m$ (kN/m ²)
Superstructure and Deckhouse Front, forward of $0.4L$ - 1 st Tier	37.9	$2.45L + 7.97$	82.8	$0.55L + 49.5$	98.7
Superstructure and Deckhouse Front, aft of $0.4L$ - 1 st Tier	24.1	$0.75L + 15$	37.9	$2.1L - 90$	98.7
Superstructure and Deckhouse Front - 2 nd Tier and above	$9.8(2 + L/200)$	$9.8(2 + L/200)$	$0.46L + 7.2$	$0.46L + 7.2$	$0.46L + 7.2$
Superstructure and Deckhouse Aft Ends and House Sides 1 st Tier	10.3	$0.19L + 8$	13.8	$0.27L - 2.6$	$0.27L - 2.6$
Superstructure and Deckhouse Aft Ends and House Sides 2 nd Tier and Above	10.3	10.3	10.3	$0.22L - 3.1$	$9.8(1.25 + L/200)$
House Tops forward of $L/2$	6.9	$0.09L + 5.75$	8.6	8.6	8.6
House Tops aft of $L/2$	3.4	$0.19L + 1.1$	6.9	6.9	6.9

Figura 2.19 Formulaciones para el cálculo de presiones en superestructuras

Fuente: ABS HSC,2014

2.3.3.2.2 Cálculo de espesores (HSC 3-2-2)

Para la embarcación diseñada en este proyecto se utilizó un reforzamiento transversal con separación entre refuerzos terciarios de 400 [mm]. A continuación, se describe la fórmula que se empleó para determinar el espesor en las diferentes partes de la embarcación:

$$t = s \sqrt{\frac{pk}{1000\sigma_a}} \text{ [mm]} \quad (10.10)$$

Donde:

s : espaciamiento en mm, del casco exterior, cubiertas, superestructura, mamparo o refuerzos.

p : Presión de diseño (fondo, cubierta, costados, mamparos)

k : Factor de proporción dimensional del panel, para el presente proyecto se tomó el valor de 0.5 ya que la relación l/s es >2 como se muestra en la siguiente figura.

l/s	k	k_1
>2.0	0.500	0.028
2.0	0.497	0.028
1.9	0.493	0.027
1.8	0.487	0.027
1.7	0.479	0.026
1.6	0.468	0.025
1.5	0.454	0.024
1.4	0.436	0.024
1.3	0.412	0.021
1.2	0.383	0.019
1.1	0.348	0.017
1.0	0.308	0.014

Figura 2.20 Factor de proporción dimensional para paneles.

Fuente: ABS HSC,2014

σ_a : Esfuerzo de diseño, se lo selecciona de acuerdo con la Figura 2.21.

Por otra parte, los espesores no deben ser menor que los siguientes valores establecidos:

Espesor mínimo de fondo

$$t = 0.70\sqrt{L q_a} + 1.0 \text{ [mm]} \quad (11.11)$$

No será tomado menor que 4 [mm].

Espesor mínimo de costado

$$t = 0.62\sqrt{L q_a} + 1.0 \text{ [mm]} \quad (12.12)$$

No será tomado menor que 3.5 [mm].

Espesor mínimo de cubierta

$$t = 0.62\sqrt{L q_a} + 1.0 \text{ [mm]} \quad (13.13)$$

No será tomado menor que 3.5 [mm].

<i>Location</i>		<i>Design Stress, $\sigma_a^{(1)}$</i>	
Bottom Shell		Slamming Pressure	$0.90\sigma_y^{(2)}$
		Hydrostatic Pressure	$0.55\sigma_y$
Water Jet Tunnels		Slamming Pressure	$0.60\sigma_y$
		Hydrostatic Pressure	$0.55\sigma_y$
Side Shell	Below Bulkhead Deck	Slamming Pressure	$0.90\sigma_y$
		Hydrostatic Pressure	$0.55\sigma_y$
	Above Bulkhead Deck (i.e. foc'sles)	Slamming Pressure	$0.90\sigma_y$
		Hydrostatic Pressure	$0.55\sigma_y$
Deck Plating	Strength Deck	$0.60\sigma_y$	
	Lower Decks/Other Decks	$0.60\sigma_y$	
	Wet Decks	$0.90\sigma_y$	
	Superstructure and Deckhouse Decks	$0.60\sigma_y$	
Bulkheads	Deep Tank	$0.60\sigma_y$	
	Watertight	$0.95\sigma_y$	
Superstructure aft of $0.25L$ from F.P. & Deckhouses	Front, Sides, Ends, Tops	$0.60\sigma_y^{(3)}$	

Figura 2.21 Esfuerzo de diseño para el aluminio y acero

Fuente: ABS HSC,2014

Espesor mínimo de cubiertas bajas y mamparos

$$t = 0.52\sqrt{L q_a} + 1.0 \text{ [mm]} \quad (14.14)$$

No será tomado menor que 3.5 [mm].

Donde:

L : Es la eslora de la embarcación

q_a : $115/\sigma_{ya}$

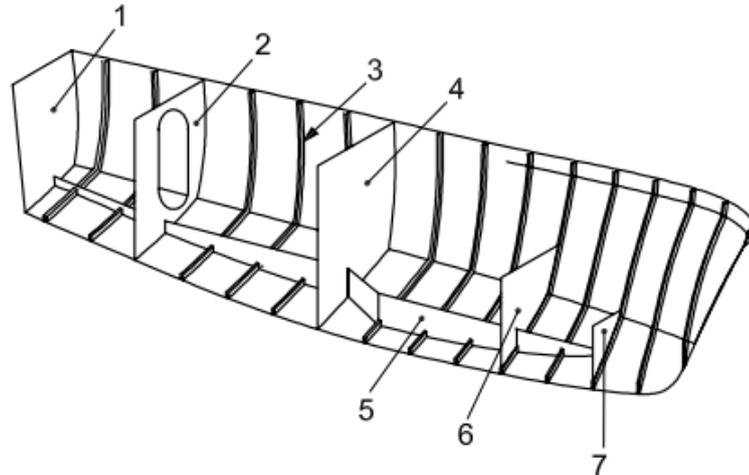
σ_{ya} : Limite elástico sin soldar para las aleaciones de aluminio en N/mm^2

2.3.3.2.3 Refuerzos (HSC 3-2-4)

El cuadernaje usado fue transversal a lo largo de toda la embarcación debido a que los efectos de flexión no son predominantes en embarcaciones de esloras menores de 24 [m] [25]. La distribución típica de los refuerzos está dada como se muestra en la Figura 2.22.

El módulo de sección de cada longitudinal, refuerzo transversal, larguero y la viga no será menor que la calculada por la siguiente ecuación:

$$SM = 83.3 * \frac{psl^2}{\sigma_a} [cm^3] \quad (15.15)$$



Key	
1	transom
2	bulkhead
3	frame
4	bulkhead
5	bottom girder
6	deep floor
7	deep floor

Figura 2.22 Arreglo estructural transversal típica para embarcaciones de recreo.

Fuente: ISO 12215-6,2008

Y su momento de inercia no debe ser menor que:

$$I = 260 * \frac{psl^3}{K_4 E} [cm^4] \quad (16.16)$$

Donde:

p : Presión de diseño

s : Espaciamiento en metros

l : Longitud en metros, del longitudinal, refuerzo, web o viga transversal, entre los soportes.

σ_a : Esfuerzo del diseño, sigue la siguiente configuración por lugar.

K_4 : Constante del refuerzo dependiendo de la ubicación.

E : $6.9E4$ [N/mm²]

<i>Location</i>	<i>Steel and Aluminum</i>	<i>FRP</i>
Bottom Longitudinals – Slamming Pressure	$0.65 \sigma_y$	$0.33 \sigma_u$
Bottom Longitudinals – Sea Pressure	$0.50 \sigma_y$	$0.40 \sigma_u$
Side Longitudinals – Slamming Pressure	$0.60 \sigma_y$	$0.40 \sigma_u$
Side Longitudinals – Sea Pressure	$0.50 \sigma_y$	$0.40 \sigma_u$
Deck Longitudinals – Strength Decks	$0.33 \sigma_y$	$0.40 \sigma_u$
Deck Longitudinals – Other Decks	$0.40 \sigma_y$	$0.40 \sigma_u$
Wet Deck Longitudinals	$0.75 \sigma_y$	$0.40 \sigma_y$
Bottom Transverse and Girders – Slamming Pressure	$0.80 \sigma_y$	$0.33 \sigma_u$
Bottom Transverses and Girders – Sea Pressure	$0.60 \sigma_y$	$0.33 \sigma_u$
Side Transverses and Girders – Slamming Pressure	$0.80 \sigma_y$	$0.33 \sigma_u$
Side Transverses and Girders – Sea Pressure	$0.60 \sigma_y$	$0.33 \sigma_u$
Deck Transverses and Girders– Strength Deck	$0.75 \sigma_y$	$0.33 \sigma_u$
Deck Transverses and Girders– Other Decks	$0.75 \sigma_y$	$0.33 \sigma_u$
Wet Deck Transverses and Girders	$0.75 \sigma_y$	$0.33 \sigma_y$
Watertight Bulkheads	$0.85 \sigma_y$	$0.50 \sigma_u$
Tank Bulkheads	$0.60 \sigma_y$	$0.33 \sigma_u$
Superstructure and Deckhouse	$0.70 \sigma_y$	$0.33 \sigma_u$

Figura 2.23 Esfuerzo de diseño para refuerzos.

Fuente: ABS HSC,2014

2.3.4 Resistencia y propulsión

Una embarcación planeadora pasa por tres diferentes regímenes: zona de desplazamiento, pre-planeo y planeo con diferente comportamiento por cada uno de ellos. La zona de desplazamiento es definida para números de Froude volumétrico menores que 1, donde la embarcación obtiene su sustentación por fuerzas hidrostáticas. A medida que su velocidad aumenta, a valores equivalentes a Froude volumétricos entre 1 y 2, se vuelven evidentes los efectos de sustentación dinámica y una correspondiente reducción de la resistencia. Finalmente, la embarcación entra en zona de planeo a Froude volumétricos mayores que 2, donde los efectos de sustentación dinámica producen una contribución positiva a la sustentación, y donde existe una considerada elevación

del centro de gravedad, ángulo de asiento positivo, emergiendo la zona de proa de la superficie [4].

La predicción de la resistencia al avance en embarcaciones planeadoras puede ser realizada empleando el método tradicional de Savitsky [2], Blount and Fox [28]. Este método considera la navegación en aguas profundas, ignorando los efectos hidrodinámicos cuando se navega en aguas pocas profundas, como en ríos o aguas confinadas. En un intento por incluir dichos efectos, en este proyecto se compararon las predicciones de la resistencia al avance realizadas con el método de Savitsky y resultados experimentales realizadas por Toro con una relación profundidad-calado de 3.61; 5.78 y 9.63 [1].

2.3.4.1 Método de Savitsky para embarcaciones planeadoras.

Este es uno de los métodos más usados para la predicción de la resistencia al avance para embarcaciones con formas prismáticas. En este método se realizó una serie de experimentos con placas planas y se desarrollaron fórmulas semi-empíricas para extrapolar a fondos con astilla muerta la cual describen la sustentación, arrastre, área mojada, centro de presión y los límites de estabilidad de “Porpoising” en función de la velocidad, asiento dinámico, ángulo de astilla muerta y la carga.

Para el cálculo de la resistencia al avance se consideraron los siguientes parámetros:

- V : Velocidad de navegación
- B : Manga en flotación
- Δ : Peso de la embarcación en “Condición de carga máxima”
- β : ángulo de astilla muerta
- τ : ángulo de asiento dinámico
- LCG : Centro de gravedad longitudinal medido desde el espejo

El proceso iterativo para el cálculo del asiento dinámico se estableció de la siguiente manera:

1. Se asume un ángulo de asiento dinámico en grados, τ .
2. Se calcula el coeficiente de sustentación corregido considerando el ángulo de astilla muerta, que es asumido constante, mediante la siguiente formulación:

$$C_{L\beta} = \frac{\Delta}{0,5\rho b^2 V^2} \quad (17.17)$$

Donde,

$C_{L\beta}$: Coeficiente de sustentación corregido

Δ : Desplazamiento [N]

ρ : Densidad del agua [Kg/m³]

b : Manga en flotación [m]

V : Velocidad del buque [m/s]

3. Se determina el coeficiente de sustentación " C_{Lo} " mediante el método de Newton-Rhapson.

$$C_{L\beta} = C_{Lo} - 0,0065\beta C_{Lo}^{0,6} \quad (18.18)$$

Donde;

β : ángulo de astilla muerta [grados]

4. Se calcula la relación eslora-manga media mojada " λ " mediante el método de Newton-Rhapson de la siguiente expresión:

$$C_{Lo} = \tau^{1,1} \left[0,0120\lambda^{\frac{1}{2}} + 0,0055 \frac{\lambda^{2,5}}{C_V^2} \right] \quad (19.19)$$

Donde:

C_V : Coeficiente de velocidad

$$C_V = \frac{V}{\sqrt{gb}} \quad (20.20)$$

5. Se calcula la longitud media mojada en metros mediante la expresión:

$$\lambda = \frac{l_m}{b} \quad (21.21)$$

6. La longitud medida desde el espejo de popa hasta la componente Normal de sustentación " l_p ", se calcula mediante:

$$C_P = \frac{l_p}{l_m} \quad (22.22)$$

Donde:

C_p : Coeficiente de presión

$$C_p = 0,75 - \frac{1}{5,21 \left(\frac{C_Y}{\lambda}\right)^2 + 2,39} \quad (23.23)$$

7. Se calculó la componente normal de la sustentación en Newtons, como:

$$N = \Delta \cos(\tau) \quad (24.24)$$

8. Se determina la diferencia de momento en Newton-metro, entre el peso de la embarcación y la fuerza de sustentación normal, cómo:

$$\delta M = \Delta * LCG - N * l_p \quad (25.25)$$

Donde,

Si δM toma un valor de cero, se escoge el valor del ángulo de asiento dinámico que se asume en el paso 1, caso contrario, se repite el proceso aumentando o disminuyendo el ángulo de asiento dinámico asumido en un cierto valor $\Delta\tau$.

2.3.4.2 Método de Savitsky y Brown, régimen de Pre-planeo

El cálculo de la resistencia al avance en la zona de pre-planeo se la realizó considerando la metodología descrita por Savitsky y Brown [4]. El procedimiento general para la estimación de la resistencia empleando este método asume que el eje de empuje y el vector de fuerza viscosa coinciden y que ambas pasan a través del centro de gravedad, las formulaciones empíricas que relacionan la sustentación, área mojada y centro de presión se combinan, como se muestra en la Figura 2.24, la cual es usada para obtener las condiciones de equilibrio en la condición de pre-planeo [4].

Para el cálculo de la resistencia al avance se consideró los siguientes parámetros de entrada:

- L_{wl} : Eslora en flotación
- Bp_x : Manga máxima de la china,
- T_x : Calado,
- LCG : Centro de gravedad longitudinal de la embarcación,
- Δ : Desplazamiento de la embarcación, Δ

- ∇ : Volumen desplazado,
- $\frac{L_{wl}}{\nabla^{\frac{1}{3}}}$
- β : Ángulo de astilla muerta,
- i_e : Angulo medio de entrada de línea de flotación,

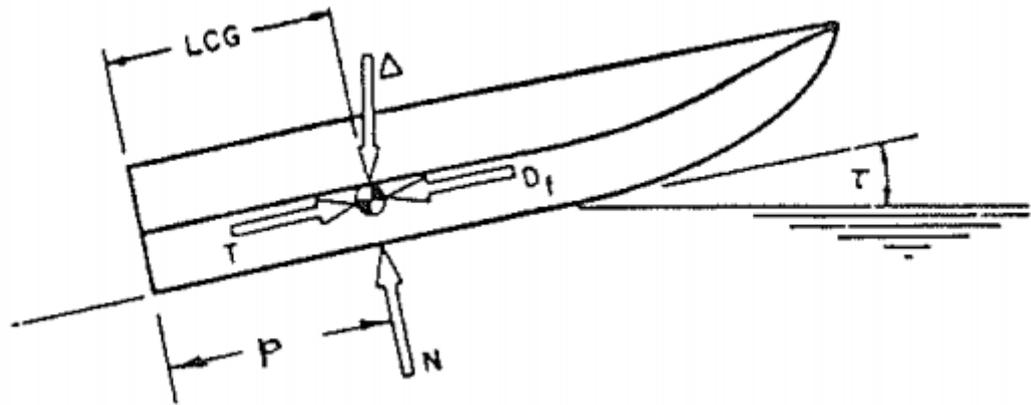


Figura 2.24 Condición de equilibrio en el régimen de pre-planeo

Fuente: Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planning Hulls in Smooth and Rough Water [4]

Además, se estimaron los siguientes parámetros con los datos ya mencionados:

- Número de Froude volumétrico:

$$F_{nv} = \frac{V}{\sqrt{g\nabla^{\frac{1}{3}}}} \quad (26.26)$$

- Coeficiente de velocidad

$$C_v = \frac{V}{\sqrt{gBp_x}} \quad (27.27)$$

- Coeficiente de sustentación de astilla muerta

$$C_{L\beta} = \frac{\Delta}{\frac{1}{2}\rho V^2 B p_x^2} \quad (28.28)$$

- Coeficiente de sustentación de placa plana

$$C_{L\beta} = C_{L0} - 0.0065\beta C_{L0}^{0.6} \quad (29.29)$$

- Relacion p/b

$$\frac{p}{b} = \frac{LCG}{Bp_x} \quad (30.30)$$

Donde:

p : Distancia del espejo al punto de la fuerza normal resultante en el fondo de la embarcación en condición de planeo.

b : Manga

El cálculo comienza con la estimación de la relación eslora-manga media mojada “ λ ”, que se obtiene de la Figura 2.25.

Para verificar si a la embarcación se encuentra en zona de planeo o Pre-planeo primero se calculó la relación eslora-manga media mojada de la quilla “ λ_k ” [4] utilizando la siguiente ecuación:

$$\lambda_k = \lambda - 0.03 + \frac{\left(0.57 + \frac{\beta}{1000}\right) \left(\frac{\text{tg}(\beta)}{2\text{tg}(T_x)} - \frac{\beta}{167}\right)}{2} \quad (31.31)$$

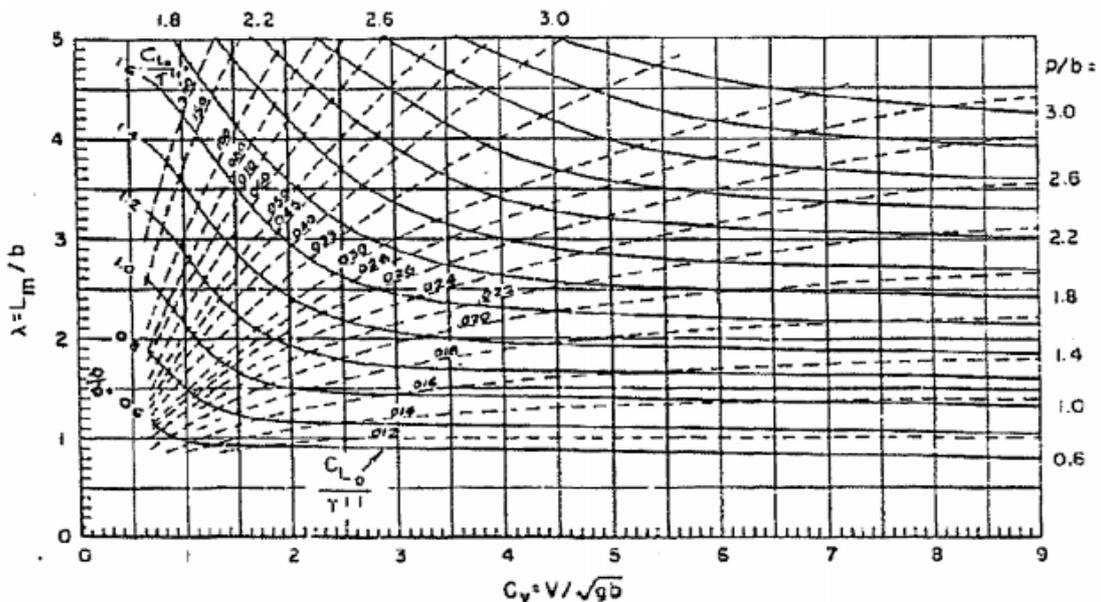


Figura 2.25 Nomograma para la estimación de λ

Fuente: Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planning Hulls, Savitsky and Brown, (1976) [4]

Si $\lambda_k > \frac{L_{wl}}{B_{px}}$ se empleó la siguiente ecuación para estimar la resistencia en zona de Pre-planeo.

$$\frac{R_t}{\Delta} = A_1 + A_2X + A_4U + A_5W + A_6XZ + A_7XU + A_8XW + A_9Z + A_{10}Z + A_{15}W^2 + A_{18}XW^2 + A_{19}ZX^2 + A_{24}UW^2 + A_{27}WU^2 \quad (32.32)$$

Si $\lambda_k < \frac{L_{wl}}{B_{px}}$ se usó la siguiente ecuación para la zona de planeo.

$$R_t = \Delta \tan \tau + \frac{0.5\rho V^2 \lambda B_{px}^2 C_f}{\cos \tau \cos \beta} \quad (33.33)$$

Donde:

ρ : Densidad del agua

C_f : Coeficiente de fricción Schoenherr

X, U, W, Z , Coeficientes para la resistencia

Donde los coeficientes de resistencia se obtienen de Figura 2.26.

Coefficient	Multi- ples	$F_{H\bar{V}} = 1.0$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
A_1	1	0.06473	0.10776	0.09483	0.03475	0.03013	0.03163	0.03194	0.04343	0.05036	0.05612	0.05967
A_2	X	-0.48680	-0.88787	-0.63720	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A_4	U	-0.01030	-0.01634	-0.01540	-0.00978	-0.00664	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A_5	W	-0.06490	-0.13444	-0.13580	-0.05097	-0.05540	-0.10543	-0.08599	-0.13289	-0.16597	-0.18661	-0.19758
A_6	XZ	0.0	0.0	-0.16046	-0.21880	-0.19359	-0.20540	-0.19442	-0.18062	-0.17813	-0.18288	0.20152
A_7	XU	0.10628	0.18186	0.16803	0.10434	0.09612	0.06007	0.06191	0.05487	0.05099	0.04744	0.04645
A_8	XW	0.97310	1.83080	1.55972	0.43510	0.51820	0.58230	0.52049	0.78195	0.92859	1.18569	1.30026
A_9	ZU	-0.00272	-0.00389	-0.00309	-0.00198	-0.00215	-0.00372	-0.00360	-0.00332	-0.00308	-0.00244	-0.00212
A_{10}	ZW	0.01089	0.01467	0.03481	0.04113	0.03901	0.04794	0.04436	0.04187	0.04111	0.04124	0.04343
A_{13}	W ²	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.08317	0.07366	0.12147	0.14928	0.18090	0.19769
A_{18}	XW ²	-1.40962	-2.46696	-2.15556	-0.92663	-0.95276	-0.70895	-0.72057	-0.95929	-1.12178	-1.38644	-1.55127
A_{19}	ZX ²	0.29136	0.47305	1.02992	1.06392	0.97757	1.19737	1.18119	1.01562	0.93144	0.78414	0.78282
A_{24}	UW ²	0.02971	0.05877	0.05198	0.02209	0.02413	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A_{27}	WU ²	-0.00150	-0.00356	-0.00303	-0.00105	-0.00140	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Average per- cent differ- ence be- tween mea- sured R_T/Δ and equa- tion (5)		6.0	4.7	4.1	3.8	3.3	3.4	3.5	3.4	3.4	3.6	4.0
$\sqrt{\Sigma(\text{Difference})^2}$		0.025	0.033	0.027	0.027	0.028	0.031	0.035	0.037	0.043	0.046	0.049

Figura 2.26 Coeficientes para la estimación de resistencia.

Fuente: Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planning Hulls, Savitsky and Brown, (1964) [4]

2.3.5 Equipos y Sistema eléctrico

2.3.5.1 Equipos

Los equipos necesarios en una embarcación de recreo varían en función de la eslora y de la zona de navegación. La norma española ORDEN FOM/1144/2003 [29], referida al Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar, en su forma enmendada, regulan los equipos necesarios que debe llevar una embarcación de recreo.

Se define las siguientes zonas, para delimitar la distancia, medida desde la línea costera, permitida para la navegación de las embarcaciones.

- I. *Zona I*: Permite la navegación ilimitada.
- II. *Zona II*: La distancia entre la línea de costa y su paralela no debe ser superior a 60 millas náuticas.
- III. *Zona III*: La distancia entre la línea de costa y su paralela no debe ser superior a 25 millas náuticas.
- IV. *Zona IV*: La distancia entre la línea de costa y su paralela no debe ser superior a 12 millas náuticas.
- V. *Zona V*: La embarcación no debe alejarse más de 5 millas náuticas de un puerto o playa de abrigo.
- VI. *Zona VI*: La embarcación no debe alejarse más de 2 millas náuticas de un puerto o playa de abrigo.
- VII. *Zona VII*: La navegación en esta zona está limitada a aguas costeras protegidas o puertos.

De acuerdo con el tipo de embarcación para proyecto y su operación en el río Napo, esta opera en aguas protegidas lo que implica su navegación en la zona VII. La misma orden, estipula las zonas de navegación permitidas para las diferentes categorías de diseño como se muestra en la Figura 2.27.

En el presente proyecto se asignó como categoría de diseño el literal D” En aguas protegidas”. Por lo que la selección de los equipos necesarios para la embarcación se estableció en el siguiente orden:

Categoría de Diseño (Anexo I 1 del R.D. 297/1998)			Definición	Zonas de Navegación correspondientes
Embarcaciones diseñadas para la navegación	Fuerza del Viento (Escala Beaufort)	Altura significativa de las olas (metros)		
A: Oceánica	Más de 8	Más de 4	Embarcaciones diseñadas para viajes largos en los que los vientos puedan superar la fuerza 8 (escala de Beaufort) y las olas la altura significativa de 4 metros o más, y que son embarcaciones autosuficientes en gran medida.	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
B: En Alta Mar	Hasta 8 incluido	Hasta 4 incluido	Embarcaciones diseñadas para viajes en alta mar en los que pueden encontrarse vientos de hasta fuerza 8 y olas de altura significativa de hasta 4 metros.	2, 3, 4, 5, 6, 7
C: En aguas costeras	Hasta 6 incluido	Hasta 2 incluido	Embarcaciones diseñadas para viajes en aguas costeras, grandes bahías, y grandes estuarios, lagos y ríos, en los que pueden encontrarse vientos de hasta fuerza 6 y olas de altura significativa de hasta 2 metros.	4, 5, 6, 7
D: En aguas protegidas	Hasta 4 incluido	Hasta 0,5 incluido	Embarcaciones diseñadas para viajes en pequeños lagos, ríos y canales, en los que pueden encontrarse vientos de hasta 4 y olas de altura significativa de hasta 0,5 metros.	7

Figura 2.27 Relación entre las categorías de diseño y las zonas de navegación.

Fuente: Orden FOM/1144/2003 [29]

- Equipo de seguridad
- Equipo de gobierno
- Equipo de fondeo
- Equipo lumínico
- Equipo de radiocomunicación
- Equipo de achique

En el siguiente capítulo se detallaron los equipos usados en la embarcación.

2.3.5.2 Sistema Eléctrico

El Sistema eléctrico operacional de la embarcación fue diseñado para funcionar utilizando las placas fotovoltaicas colocadas en la parte superior de la superestructura. Para esto se realizó el balance eléctrico de la embarcación incluyendo todos los elementos que requieren de energía eléctrica. La metodología sugerida por Guamán y J. Domínguez [13], sigue los pasos mostrados en la Figura 2.28.

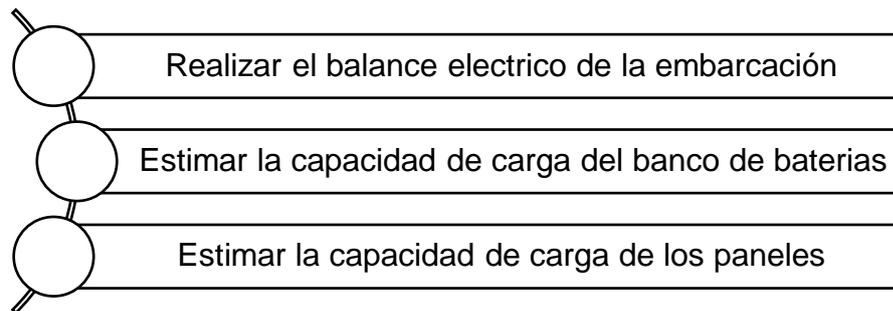


Figura 2.28 Proceso resumido de la estimación de carga eléctrica de la embarcación.

Fuente: Estudio de Viabilidad Técnica, Económica y Ambiental de Lanchas Solares

El sistema simplificado se conformó paneles solares fotovoltaicos cuya función es la generación de energía eléctrica la cual alimentara al banco de baterías de la embarcación, para posteriormente distribuir la energía a todas las conexiones. El banco de baterías deberá ser graduado con un regulador de carga solar programable.

2.3.5.2.1 Dimensionamiento del banco de baterías

El consumo eléctrico de la embarcación por día se obtuvo considerando los diferentes equipos eléctricos operativos, los cuales son detallados en la sección 3.5.2. Se procedió a definir la capacidad del almacenamiento en Amperios-hora (A-h) empleando la siguiente ecuación:

$$I_s = \frac{E_{ts}}{Vn} \quad (34.34)$$

Donde:

I_s : Capacidad de almacenamiento[A-h]

E_{ts} : Capacidad de consumo de la embarcación

Vn : Voltaje nominal del sistema

Luego, se asumen los días de autonomía, es decir, los días que no se recargaran las baterías, donde para un sistema con energía solar para embarcaciones de recreo se aplica usualmente de 1 a 3 días [13]. Para el presente proyecto se seleccionó como base de diseño 1 día de autonomía, es decir, 10 horas de

navegación de la embarcación considerando diferentes paradas, la capacidad nominal del banco de baterías será:

$$I_{cnb} = I_s * Da \quad (35.35)$$

Donde:

Da : Días de autonomía

Para cuantificar la energía que se requiere almacenar en las baterías, se considera la profundidad de carga de la batería, típicamente las baterías de litio toman valores de 98% de carga [30]:

$$I_{cbb} = \frac{I_{cnb}}{Pd} \quad (36.36)$$

Donde:

Pd : Profundidad de carga de la batería

I_{cbb} : Capacidad corregida del banco de baterías.

Finalmente, el número de baterías se obtuvo empleando la siguiente formulación:

$$N_p = \frac{I_{cbb}}{I_{nb}} \quad (37.37)$$

$$N_s = \frac{V_n}{V_{nb}} \quad (38.38)$$

$$N = N_p * N_s \quad (39.39)$$

Donde:

I_{nb} : Corriente nominal de la batería(A-h)

V_{nb} : Voltaje nominal de la batería

N_p : Número de baterías en paralelo

N_s : Número de baterías en serie

N : Número de baterías requerido por el sistema

2.3.5.2.2 Cálculo del sistema fotovoltaico

Para el cálculo del sistema fotovoltaico se debe tener en consideración la energía solar promedio anual disponible en la zona del río Napo entre Nuevo Rocafuerte y Francisco de Orellana. En el presente proyecto se utilizó la información proporcionada por "PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION

SYSTEM” [31], donde está disponible información acerca de la irradiación solar emitida en las diferentes partes del mundo. Para el presente proyecto se consideró la información entre 2014 y 2015, mostrada en la Figura 2.29, debido a que fueron los datos más actualizados. De la siguiente gráfica se consideró el mínimo valor reportado “106.35 [KWh/m²/día”].

Se procedió con el cálculo de la corriente necesaria para el panel.

$$I_0 = \frac{I_s}{\bar{n}} \quad (40.40)$$

Donde:

- I_0 : Corriente pico del sistema
- \bar{n} : Energía solar promedio anual [KWh/m²/día]
- I_s : Capacidad de almacenamiento[A-h]

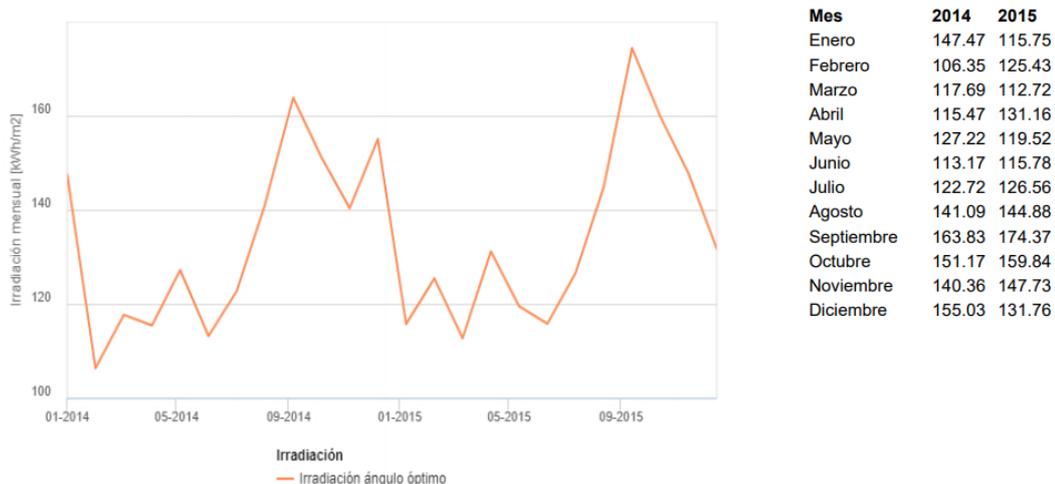


Figura 2.29 Irradiación solar mensual en la zona del río Napo [-0.525,-76.037]

Fuente: PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM

La determinación del número total de módulos esta dado por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{M * N}{E_{fp}} \quad (41.41)$$

$$M = \frac{I_0}{I_m} \quad (42.42)$$

$$N = \frac{V_n}{V_m} \quad (43.43)$$

Donde,

K : Número de paneles

M : El número de paneles en paralelo

N : Número de paneles en serie

E_{fp} : Factor global de funcionamiento de conjuntos de paneles solares, valor estándar 0.95.

2.3.6 Estabilidad intacta

Un análisis de estabilidad adecuado garantiza la seguridad e integridad de los pasajeros. Para el análisis de estabilidad se empleó 2000 HSC CODE según la Organización Marítima Internacional, la cual es aplicable para embarcaciones monocasco de alta velocidad [32].



Figura 2.30 Proceso de análisis de Arquitectura Naval

Fuente: Propia

Los criterios de estabilidad aplicables que se usaron se detallan a continuación:

- I. Resolución A.562(14), criterio meteorológico.
- II. El área bajo la curva de brazos adrizantes (curva GZ) no debe ser inferior a 0.07m.rad hasta un ángulo de 15° si el brazo adrizante (GZ) máximo se da a un ángulo $\Theta = 15^\circ$, ni a 0,055 m.rad hasta un ángulo $\Theta = 30^\circ$ si el brazo adrizante máximo se da a un ángulo $\Theta = 30^\circ$ o superior. Cuando el brazo adrizante máximo se da a un ángulo Θ comprendido entre 15° y 30°, el área

comprendida correspondiente bajo la curva de brazos adrizantes deberá ser igual a:

$$A = 0.055 + 0.001(30^\circ - \theta_{max})m.rad \quad (44.44)$$

- III. El área bajo la curva de brazos adrizantes entre los ángulos $\Theta=30^\circ$ y $\Theta=40^\circ$, o entre $\Theta=30^\circ$ y el ángulo de inundación Θ , si éste es inferior a 40° , no deberá ser inferior a 0.03 m.rad.
- IV. El brazo adrizante GZ deberá ser como mínimo de 0.20 [m] a un ángulo de escora igual o superior 30° .
- V. El brazo adrizante máximo deberá corresponder a un ángulo de escora no inferior a 15° .
- VI. La altura metacéntrica inicial GM_0 no deberá ser inferior a 0,15 m.

2.4 Evaluación económica

Un estudio de viabilidad del proyecto demuestra si un proyecto puede ponerse en ejecución y se mantendrá en el tiempo, mostrando evidencia de la planificación que se ha llevado a cabo incluyendo obstáculos y dificultades que podrían involucrarse en un futuro. Este tipo de estudio se sustenta para la toma de decisiones del beneficiario en herramientas financiera como el cálculo del VAN y TIR permitiendo al beneficiario perfilar los posibles escenarios que se puedan presentar y la manera en que se los puedan desarrollar para crear un impacto positivo en la administración financiera del proyecto [33].

El Valor Actual Neto (VAN), en el campo de la matemática financiera, es un indicador que permite determinar la factibilidad de un plan de negocio estimando los flujos llevados al futuro como lo son: ingresos, egresos y descuento de rubros iniciales de inversión, retornándolos al tiempo presente con el fin de determinar si la inversión pierde o no valor monetario. El objetivo del VAN en el análisis de viabilidad es alcanzar un rendimiento financiero positivo, cuando este retorna un valor negativo implica que los flujos de salida superan a los flujos de entrada, indicando que la inversión no será productiva, por ende, no se recomienda el financiamiento del proyecto. Para su cálculo se utiliza la siguiente ecuación [34]:

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{R_n}{(1+i)^n} \quad (45.45)$$

Donde:

I : Inversión inicial

R_n : Flujos de efectivo por periodo

$(1+i)$: Factor de descuento de los flujos de efectivos

n : Años

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es una variable relevante en el análisis de viabilidad de un proyecto. Se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos, señalando el rendimiento generado por los fondos invertidos en el proyecto en una sola cifra. Esta tasa de interés utiliza el cálculo del Valor Actual Neto haciendo que este sea igual a 0. Para su cálculo se utiliza la siguiente ecuación [34]:

$$VAN = \sum_{n=1}^N \frac{R_n}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (46.46)$$

Donde:

TIR : Tasa Interna de Retorno

R_n : Flujos de efectivo por periodo

n : Años

VAN : Valor Actual Neto

Inicialmente se realizó la estimación de costos para determinar la viabilidad del proyecto. Este proceso fue dividido en tres grupos principales: costes de diseño y construcción, de operación y de mantenimiento de la embarcación.

➤ Costes de diseño y construcción:

En este grupo se incluyeron costos por la construcción de la embarcación considerando los diferentes grupos constructivos aplicados al proyecto, en incluyendo mano de obra, material y servicio.

➤ Costes de operación y mantenimiento

Este grupo incluye los consumibles fijos que tendrá la embarcación para su periodo de operación como lo son combustibles, además del mantenimiento y reparaciones que esta debe estipular cada cierto tiempo.

➤ Evaluación económica

Se realizó un estudio de viabilidad económica del proyecto, considerando como indicadores a las siguientes variables:

- VAN, Valor Actual Neto.
- TIR, Tasa Interna de Retorno.

CAPITULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos del diseño de la embarcación planeadora, considerando como alcance la etapa conceptual y preliminar del proyecto. Se describirán los resultados teóricos, experimentales y estadísticos siguiendo las diferentes etapas de la espiral de diseño, partiendo de la selección del calado de diseño hasta la evaluación económica del proyecto, además, se describirán y analizarán los resultados obtenidos del comportamiento de la embarcación a diferentes profundidades de agua, considerando datos experimentales y formulaciones semi-empíricas.

3.1 Desarrollo del diseño

A continuación, se mostrará la evaluación de resultados obtenidos considerando la metodología planteada en la sección 2.

3.1.1 Calado de diseño

3.1.1.1 Selección del rango de calado

Se seleccionó estadísticamente el límite superior e inferior de calados de la base de datos que se muestra en la sección 2.2.2, que aparecen con mayor frecuencia, dado esto, se seleccionó la profundidad para el proyecto en función del rango de calados establecidos y la relación profundidad-calado dada por Toro [1]. La gráfica de frecuencias de la Figura 3.1 se elaboró siguiendo la recomendación dada por la referencia “Probabilidad y Estadística Básica para Ingenieros” [35], cuyo procedimiento se describe a continuación:

- Se seleccionó como unidad de medida de los datos, el calado.
- Se obtuvo el rango de la base de datos: distancia entre el mayor y el menor valor, siendo 2.30 [m] y 0.15 [m] respectivamente.
- Se selecciono el número de clases o intervalos empleando la fórmula de Sturges que se muestra a continuación:

$$K = 1 + 3.322 \text{ Log}(N) \quad (3.1)$$

Donde:

N : Número de datos

K : Intervalos

$\text{Log}(N)$: Logaritmo de base 10

Se obtuvo un valor de 5.66 intervalos, es decir que la muestra tuvo 6 intervalos.

- Finalmente, se determinó la longitud de la clase o la amplitud, la cual se calculó de la relación entre el rango y número de intervalos, obteniendo una amplitud de 0.38, esto nos permitirá definir los límites superiores e inferiores como se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Rango de calados operativos para el histograma de frecuencias

Fuente: Propia

Límite inferior Limite Superior

0,00	0,38
0,39	0,77
0,77	1,15
1,15	1,53
1,53	1,91
1,91	2,29

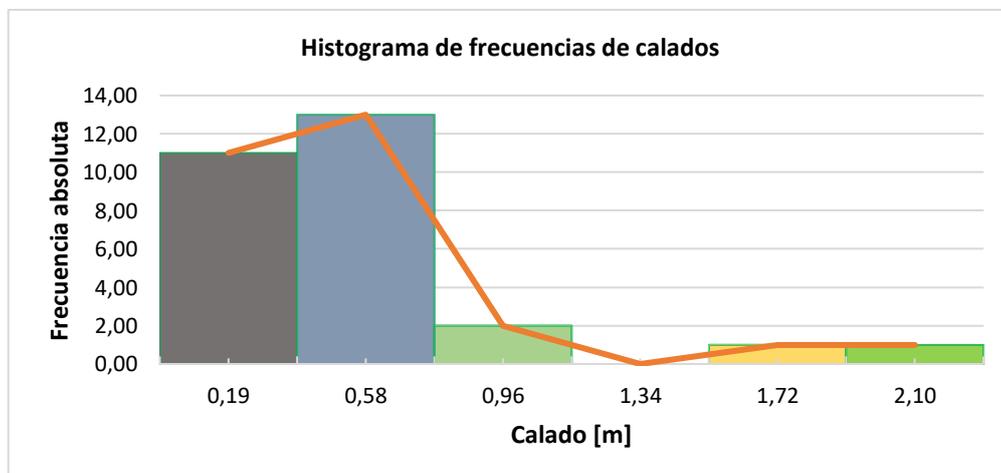


Figura 3.1 Histograma de frecuencia de las embarcaciones operativas en función del calado.

Fuente: Propia

3.1.1.2 Zonas analizadas y selección del calado de diseño

Las profundidades del tramo del río Napo entre Francisco de Orellana y Nuevo Rocafuerte fueron evaluadas utilizando los datos publicados en el Estudio Binacional de Navegabilidad del Río Napo [20], el Informe técnico de comisión N° HYBAM 011-2009(INAMHI) [21], y la base de datos del INOCAR [36]. A continuación, en la Figura 3.2 se muestra una gráfica de los lugares analizados, mientras que en la Tabla 3.2, Tabla 3.3, y Tabla 3.4 se muestra los puntos analizados por fuente a las diferentes épocas del año.



Figura 3.2 Zonas analizadas en el tramo del río Napo

Fuente: Propia

Tabla 3.2 Zonas de estudio “Época de creciente”

Fuente: Propia

Fuente: INAMHI, 2009 (E. creciente)	NAPO D.J. YASUNI	NAPO 1+ 55 Km
	NAPO 1+ 30 Km	NAPO 1+ 65 Km BRAZO
	NAPO 1+ 35 Km	NAPO 1+ 75 Km
	TIPUTINI	NAPO 1+ 85 Km
	NAPO AJ TIPUTINI	NAPO 1+ 100 Km
	NAPO 1+ 45 Km	NAPO 1+ 110 Km
	NAPO 1+ 50 Km	

Tabla 3.3 Zonas de estudio “Época de vaciante”

Fuente: Propia

Fuente: INOCAR, 2009 (E. vaciante)	Comuna San Carlos	Comuna San Roque
	Comuna Paratuyaca	Dumbique
	Comuna San Francisco de Chicta	Panacocha
	Limoncocha	Huami Sinchichicta
	Comuna Pilchi	Santa Maria Huririma
	Sani Isla	Comuna San Vicente

Tabla 3.4 Zonas de estudio “Época de transición”

Fuente: Propia

Fuente: INOCAR, 2009 (E. Transición)	Nuevo Rocafuerte; Pañacocha	Puerto Itaya; Francisco de Orellana
--	-----------------------------	-------------------------------------

De la fuente bibliográfica INAMHI [21] se obtuvieron perfiles transversales de las diferentes zonas analizadas a lo largo del río Napo, lo que nos permitió realizar una estimación de la profundidad, a continuación, en la Figura 3.3, y Figura 3.4 se muestran ejemplos de las gráficas empleadas durante este proceso.

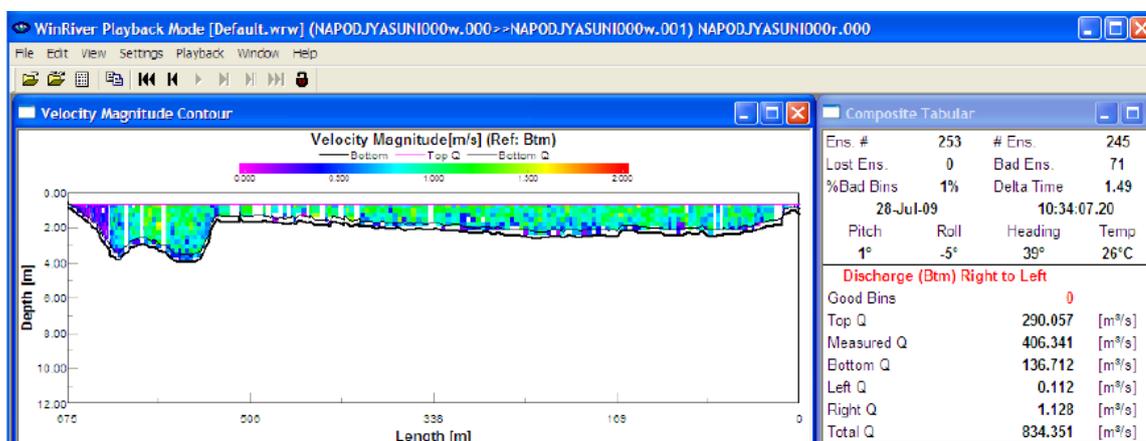


Figura 3.3 Vista transversal del punto NAPO D.J. YASUNI.

Fuente: INAMHI (2009)

Se muestran en la Tabla 3.5 datos referenciales obtenidos en el Estudio Binacional acerca de las profundidades en épocas de vaciante según fuente del

INOCAR mientras que, en la Figura 3.5 se muestra la variación de profundidades en un intervalo de tiempo dado en época de transición.

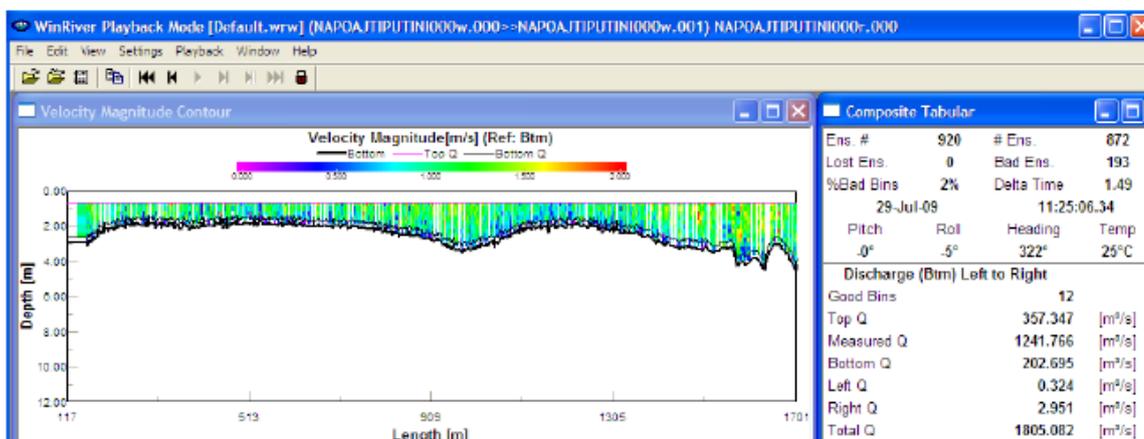


Figura 3.4 Vista transversal del punto NAPO AJ TIPUTINI.

Fuente: INAMHI (2009)

Tabla 3.5 Profundidades mínimas en el río Napo según relevamiento del INOCAR

Localidad	Profundidad mínima [cm]
Comuna San Carlos	110
Comuna Paratuyaca	70
Comuna San Francisco De Chicta	20
Limoncocha	70
Comuna Pilchi	70
Sani Isla	30
Comuna San Roque	30
Dumbique	10
Pañacocha	10
Huarmi Sinchichicta	50
Comuna San Vicente	20
Santa Maria De Huiririma	30

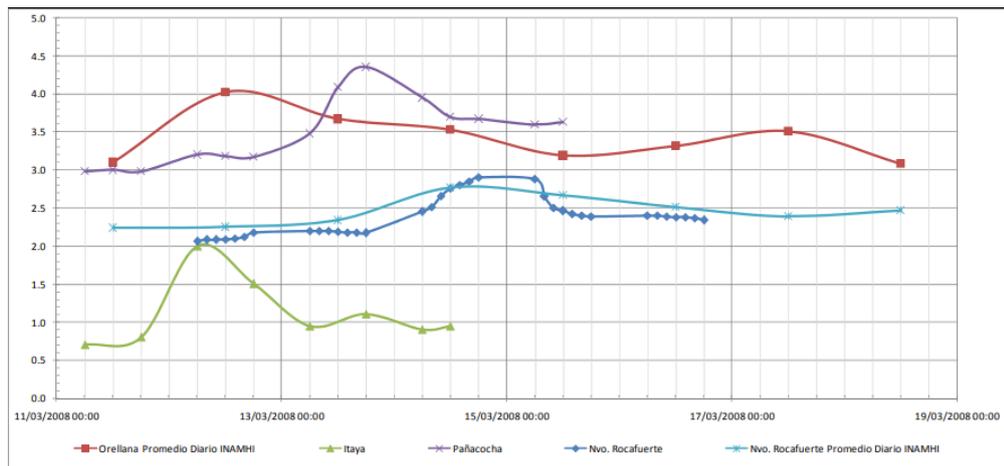


Figura 3.5 Niveles hidrométricos empleados para el relevamiento efectuado en marzo de 2008.

Fuente: Estudio Binacional de Navegabilidad del Río Napo (2010)

De la Figura 3.6 se escogió el calado de diseño siguiendo la siguiente metodología:

1. Se estableció la relación profundidad-calado de 3.61 considerando la referencia bibliográfica guía "SHALLOW-WATER PERFORMANCE OF A PLANING BOAT" [1], dado que la resistencia se aproximó usando los resultados de los experimentos con esta relación.
2. Se consideró la columna de los promedios de profundidades en época de creciente como se muestra en la Figura 3.6.
3. El calado mínimo se seleccionó considerando la profundidad mínima reportada en la, de 1.05 [m]. Sin embargo, esto representaba un calado de diseño de 0.29 [m], este se descartó debido a que no se encuentra dentro del rango de calado mencionado en la sección 3.1.1.1. Por lo que, se seleccionó una profundidad mínima de navegación de 1.60 [m], para no alejarnos de la relación establecida "H/T:3.61", y un calado de diseño 0.5 [m] considerando una diferencia porcentual del 11.35% con respecto al calado de 0.44 [m].

Es importante destacar que la profundidad mínima de 1.60 [m] es un límite operativo para que la embarcación pueda alcanzar la velocidad de diseño de 28.5 [nudos]. Por lo que, la embarcación fluvial será capaz de navegar a profundidades menores disminuyendo su velocidad de navegación.

	Puntos analizados		Distancias [km]	Profundidad [m]					H/T 3,61		
				Época de Creciente			Transición	Época de vaciante	T[m] prom. Min	T[m] Tran	T[m]vac.
				Max	Min	Prom.			27/07/2009-01/08/2009	11/03/2008-17/03/2008	2009
N1	Nuevo Rocafuerte	NAPO D.J. YASUNI		3,27	0,77	1,6	2,47	0	0,44	0,68	
N2		NAPO 1+ 30 Km	30,00	3,59	0,76	2,1	0	0	0,58		
N3		NAPO 1+ 35 Km	5,12	8,22	0,63	3,5	0	0	0,97		
N4		TIPUTINI	4,84	16,75	1,08	9,61	0	0	2,66		
N5	Santa Maria Huririma	NAPO AJ TIPUTINI	4,77	3,69	1,2	1,05	0	0,3	0,29		
N6		NAPO 1+ 45 Km	0,39	6,21	1,2	2,97	0		0,82		0,08
N7		NAPO 1+ 50 Km	5,00	7,76	1,99	3,93	0	0	1,09		
N8		NAPO 1+ 55 Km	5,00	3,33	0,55	1,72	0	0	0,48		
N9	Huami Sinchichicta	NAPO 1+ 65 Km BRAZO	10,00	5,07	0,55	2,09	0	0,5	0,58		0,14
N10		NAPO 1+ 75 Km	10,00	5,41	1,79	3,47	0	0	0,96		
N11		NAPO 1+ 85 Km	10,00	4,1	1,17	2,27	0	0	0,63		
N12		NAPO 1+ 100 Km	15,00	4,97	0,07	2,06	0	0	0,57		
N13	Pañacocha	NAPO 1+ 110 Km	10,00	7,59	0,15	2,24	3,30	0,1	0,62	0,91	0,03
N14		Dumbique	4,18	0	0	0	0	0,1			0,03
N15		Comuna San Roque	10,70	0	0	0	0	0,3			0,08
N16		Sani Isla	11,96	0	0	0	0	0,3			0,08
N17	Puerto Itaya	Comuna Pilchi	32,00	0	0	0	0,92	0,7	0,26	0,19	
N18		Limoncocha	4,79	0	0	0	0	0,7			0,19
N19		Comuna San Francisco de Chicta	9,58	0	0	0	0	0,2			0,06
N20		Comuna Paratuyaca	10,70	0	0	0	0	0,7			0,19
N21	Comuna San Carlos	NAPO 1+190 KM	13,64	6,79	1,13	2,47	0	1,1	0,68		0,30
N22	Franc. Orellana	NAPO DJ COCA	9,32	4,31	0,22	1,67	3,41	0	0,46	0,94	
N23		Comuna San Vicente		0	0	0	0	0,2			0,06

Figura 3.6 Resumen de las profundidades en los diferentes puntos analizados.

Fuente: Propia

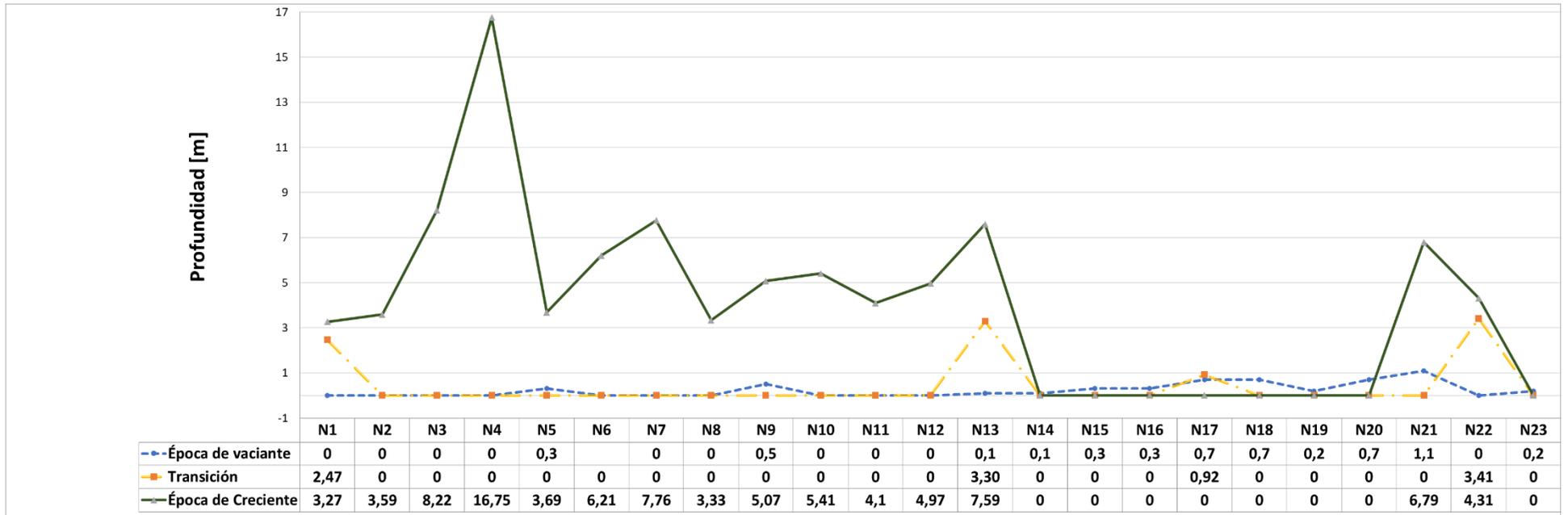


Figura 3.7 Gráfica de la variación de profundidades a lo largo del río Napo.

Fuente: Propia

3.1.2 Dimensiones principales del casco a nivel conceptual

Empleando la base de datos mostrada en la Tabla 2.5, se determinaron las dimensiones principales conceptuales de la embarcación en función del calado. Se eliminaron datos que mostraron una gran dispersión en función del coeficiente de correlación.

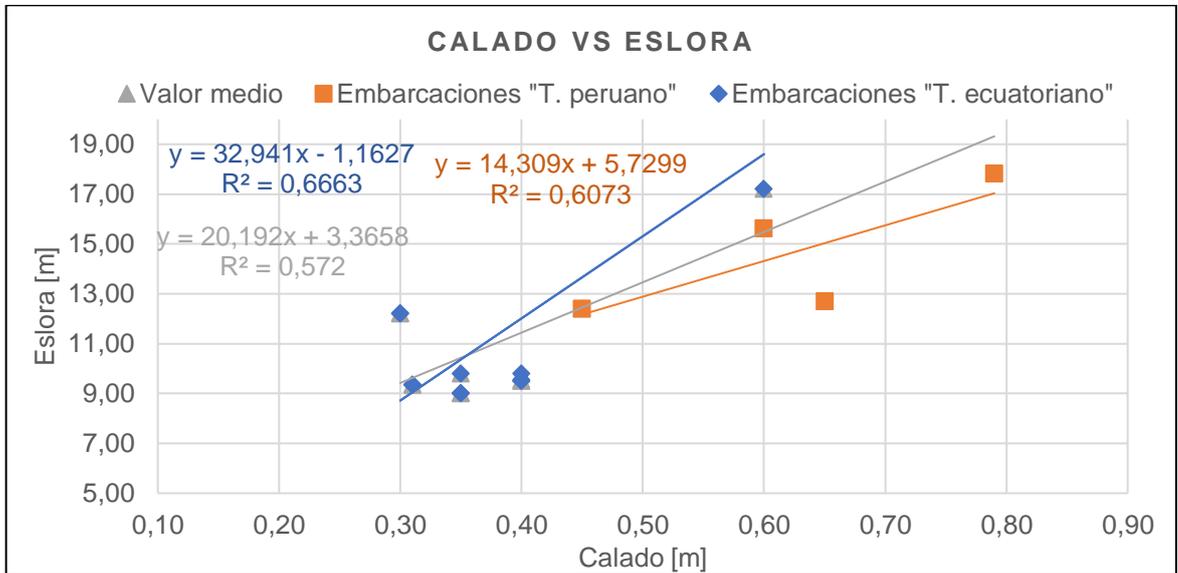


Figura 3.8 Calado vs Eslora.

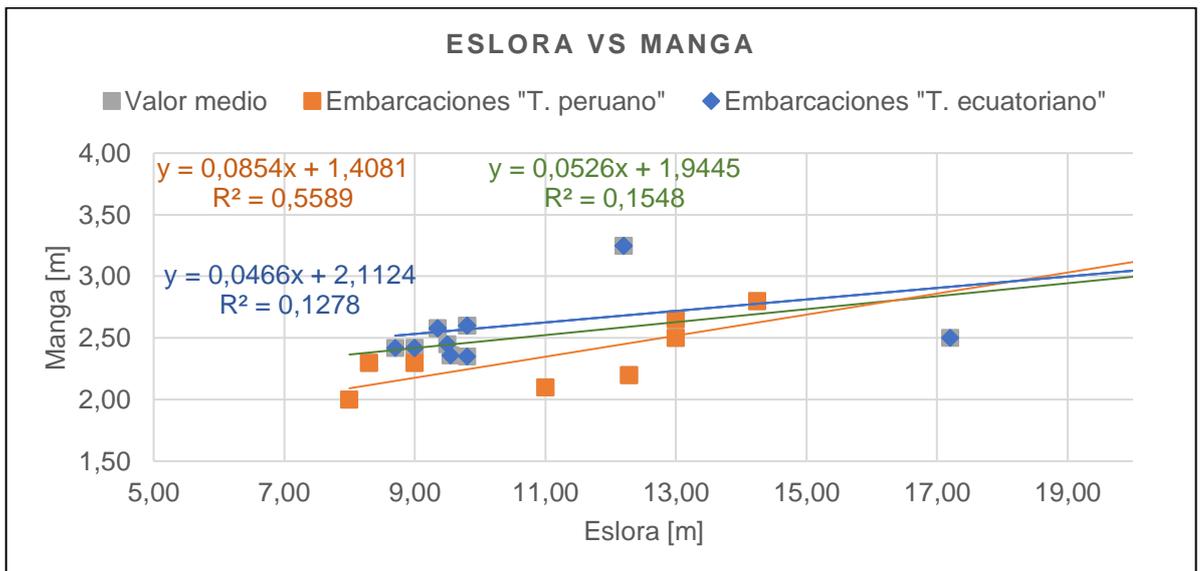


Figura 3.9 Eslora vs Manga

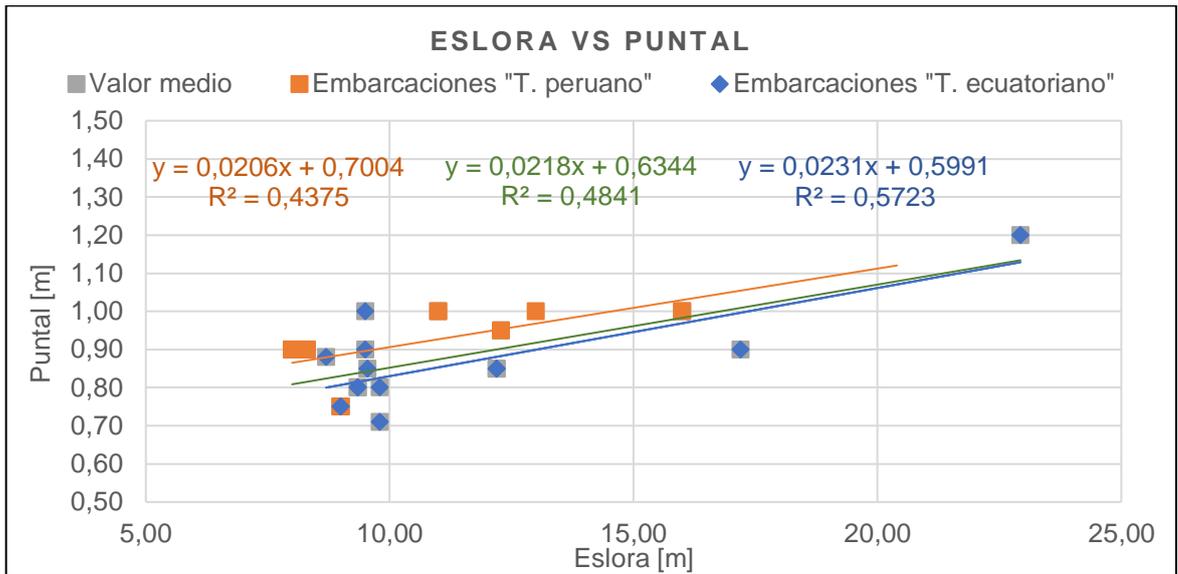


Figura 3.10 Esloira vs puntal

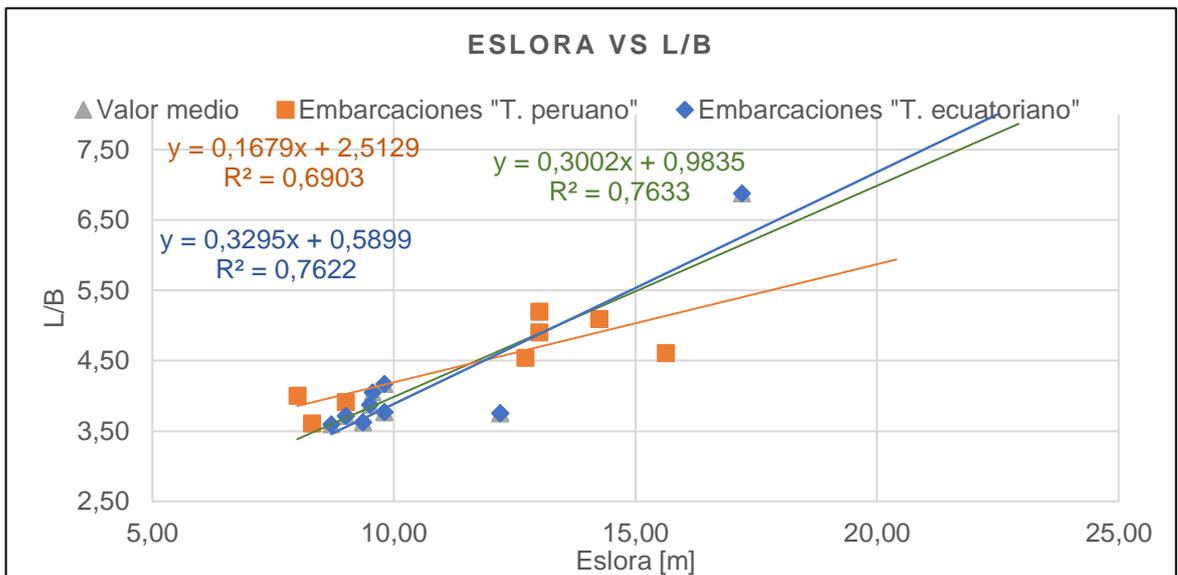


Figura 3.11 Esloira vs L/B

De la Figura 3.8 a la Figura 3.11 se muestran que los coeficientes de correlación de las regresiones lineales están en un rango de 0.1278 a 0.7633, a pesar de haber descartado valores fuera de su tendencia. Sugiriendo que el grado de dispersión de los datos continúa siendo elevado, y que las ecuaciones obtenidas de las regresiones no muestran un adecuado grado de confiabilidad. Además, se nota que las rectas de las embarcaciones operando en el tramo ecuatoriano y peruano tienen pendientes diferentes. Lo que evidencia una gran diferencia en las relaciones de: calado-esloira, esloira-manga, y esloira-puntal, por otra parte, en la

Figura 3.9 y Figura 3.10 se nota que esta diferencia es menor entre rectas que relacionan las eslora-manga y eslora-puntal.

A partir de las regresiones lineales, considerando las embarcaciones ecuatorianas, se determinaron las dimensiones características mostradas en la Tabla 3.6, las cuales se tomarán como referencia para la selección de las dimensiones principales usando las series sistemáticas.

Tabla 3.6 Características principales conceptuales del modelo DAMEN

Fuente: Propia

Características	Valor	Unidades
Eslora [L]	13.46	m
Manga [B]	2.79	m
Puntal [D]	0.92	m
Calado [T]	0,5	m
Desplazamiento Δ	7.82	Ton
Volumen V	7.62	m ³
Lwl	12.34	m
Área mojada	30.98	m ²
Cp	0.65	--
Cb	0.46	--
Cm	0.72	--
Cwp	0.77	--

3.1.3 Formas preliminares del casco

Las formas del casco se seleccionaron considerando las diferentes series sistemáticas mencionadas en la sección 2.3. Se consideró mantener una relación muy próxima entre las relaciones adimensionales del modelo 1174-Serie 62 con los modelos analizados, empleando la metodología mencionada en la sección 2.3.1.2. Como resultado, se seleccionó el modelo 4666 de la serie 62, cuyas relaciones adimensionales obtenidas a partir del calado de diseño se muestran en la Tabla 3.7, donde se aprecia que la mayor diferencia en las relaciones adimensionales ocurre para la relación de eslora de la china (L_p)-manga media sobre la china (B_{PA}), las diferentes comparaciones de los modelos se presentan en el APÉNDICE B.

Tabla 3.7 Comparación entre el modelo 1174 y el modelo del proyecto

Fuente: Propia

Modelo 1174-Serie 62		Modelo de Proyecto	
<u>L</u> [ft]	3,72	L [m]	11,84
Lp [ft]	3,50	Lp [m]	11,69
T [ft]	0,17	T [m]	0,50
Bpa [ft]	0,95	Bpa [m]	2,82
Bpx [ft]	1,14	Bpx [m]	3,47
Bpt [ft]	0,81	Bpt [ft]	2,34
Ap [ft ²]	3,32	Ap [m ²]	33,00
V [ft ³]	0,34	V [m ³]	9,70
Bpx/T	6,62	Bpx/T	6,95
Ap/(Lp,Bpx)	0,83	Ap/(Lp,Bpx)	0,81
Lp/Bpa	3,69	Lp/Bpa	4,14
Lp/Bpx	3,06	Lp/Bpx	3,37
Bpx/Bpa	1,21	Bpx/Bpa	1,23
Bpt/Bpx	0,71	Bpt/Bpx	0,67
Bpa/Bpx	0,83	Bpa/Bpx	0,81
Lp/v^{1/3}	5,03	Lp/v^{1/3}	5,49
Ap/v^{2/3}	6,87	Ap/v^{2/3}	7,27

A continuación, la Figura 3.12 muestra la vista transversal que se obtuvo del modelo del proyecto empleando el software de diseño "Rhinceros":

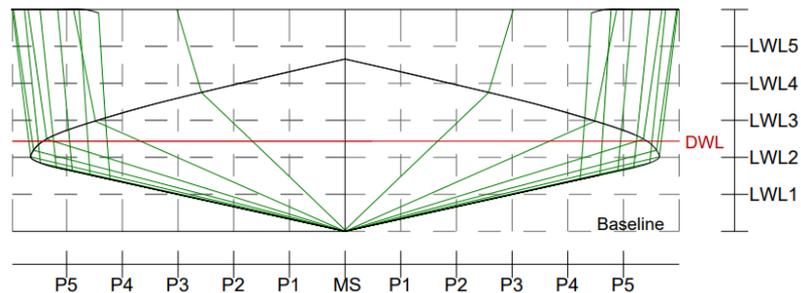


Figura 3.12 Vista transversal de las formas del modelo del proyecto.

Fuente: Propia

3.2 Arreglo general

Los espacios que comprenden la habitabilidad de la embarcación fueron distribuidos considerando los requerimientos descritos en la sección 2.3.2. Luego, se determinó que el área de 20 pasajeros y carga (Equipajes y encomiendas) estarán localizadas entre las cuadernas 7 y 11; 21 y 23. A continuación, en la Figura 3.13 e Figura 3.14 se muestran la distribución general tridimensional y 2-D propuesta respectivamente.

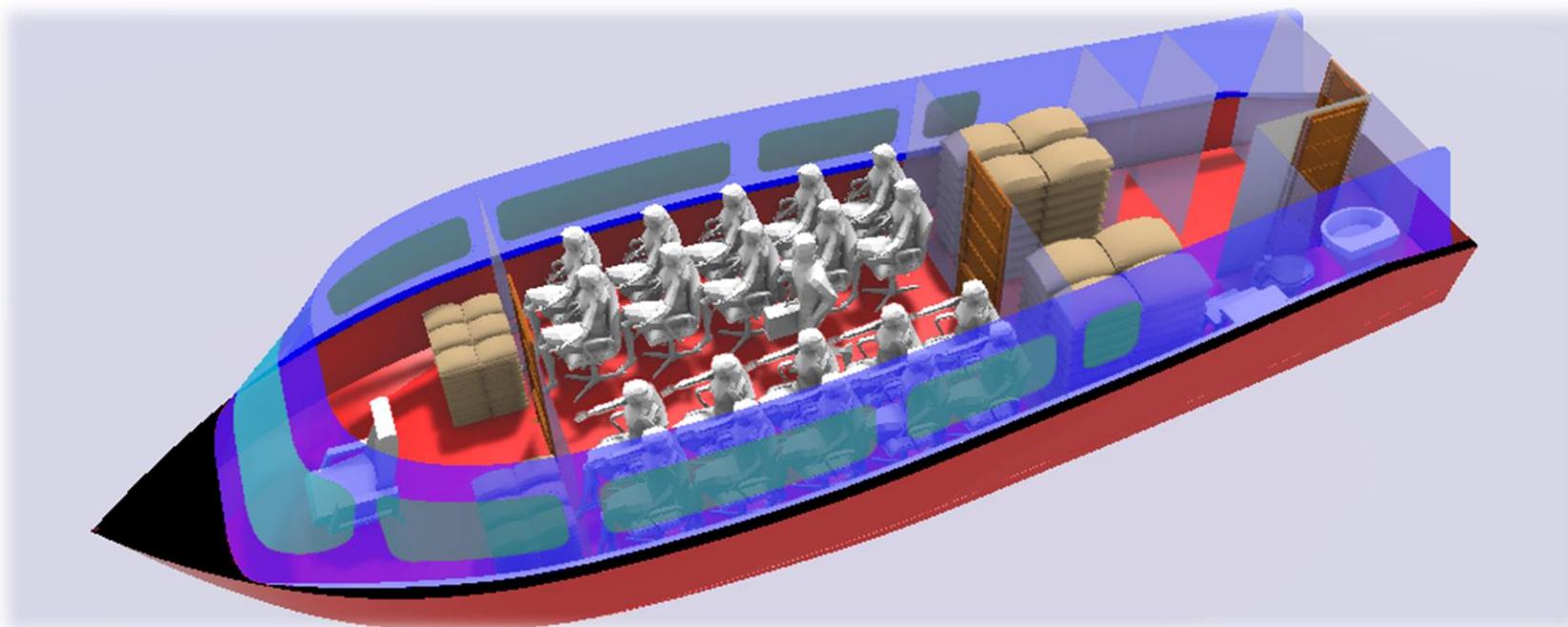


Figura 3.13 Distribución general.

Fuente: Propia

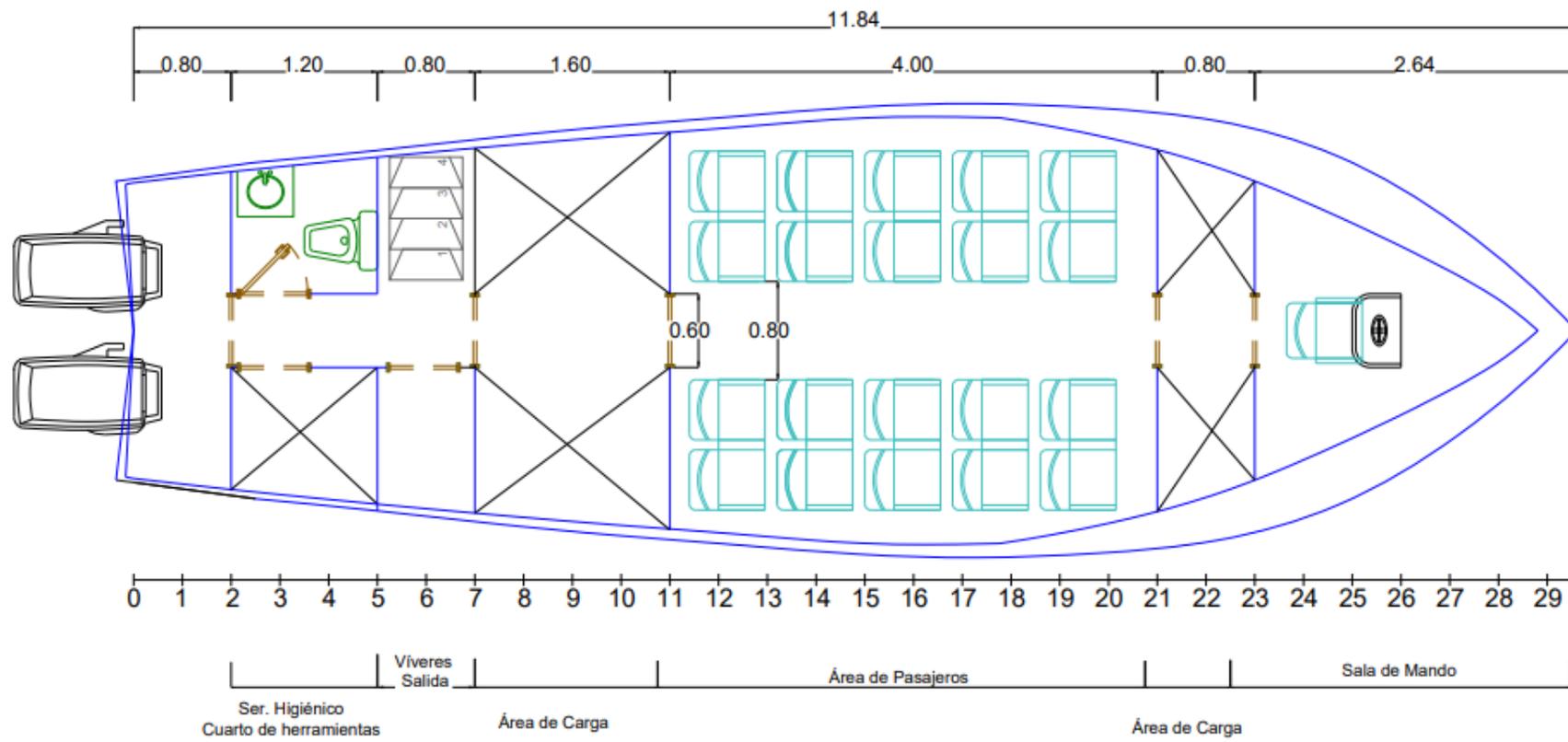


Figura 3.14 Vista de planta de la distribución general del modelo del proyecto

Fuente: Propia

3.3 Arreglo estructural

El cuadernaje usado fue transversal a lo largo de toda la embarcación debido a que los efectos de flexión no son predominantes en embarcaciones de esloras menores de 24 [m] [25], como se muestra en la Figura 3.15.

3.3.1 Escantillonado

Para el dimensionamiento estructural de la embarcación se usaron las formulaciones mostradas en la sección 2.3.3.2. A continuación, se presenta un resumen de los espesores de Planchaje y elementos estructurales obtenidos.

Tabla 3.8 Espesores de planchaje.

Fuente: Propia

Espesores de planchas del casco					
HSC 3-2-3/1,3,1	Fondo	Costado	Cubierta	Superestructura	Espejo
s[mm]	400	400	400	400	400
σ_a [N/mm ²]	99,00	99,00	108,00	108,00	171,00
P (KN/m ²)	29,09	16,70	7,28	6,90	9,36
t [mm] Calculado	4,85	3,67	2,32	2,26	2,09
t [mm] mínimo	4,00	3,50	3,50	----	3,50
t [mm] Seleccionado	6,35	4,77	4,77	3,18	3,18

Tabla 3.9 Espesores de refuerzos del casco.

Fuente: Propia

Escantillon del casco					
HSC 3-2-4/1,3	Fondo simple				
	Descripcion	P (KN/m ²)	σ_a [N/mm ²]	SM selc. [cm ³]	Perfil
	Viga transversal	29,09	144,00		PI 6 mm
	Ref. Longitudinal	29,09	156,00	49,32	T 101,6x50,8x6,35 mm
	Ref. transversal	29,09	144,00	5,12	FB 50,8x6,35 mm
HSC 3-2-4/1,3	Cubierta				
	Descripcion	P (KN/m ²)	σ_a [N/mm ²]	SM selc. [cm ³]	Perfil
	Viga transversal	7,28	180,00	50,81	T 101,6x50,8x4,76 mm
	Ref. Longitudinal	7,28	79,20	21,04	T 76,2x38,1x4,76 mm
	Ref. transversal	7,28	180,00	2,86	FB 38,1 x 6,35
HSC 3-2-4/1,3	Costado				
	Descripcion	P (KN/m ²)	σ_a [N/mm ²]	SM selc. [cm ³]	Perfil
	Viga transversal	18,25	192,00	21,65	T 76,2x38,1x4,76 mm
	Ref. Longitudinal	18,25	144,00	11,00	L 38,1x38,1x6,35 mm
	Ref. transversal	18,25	192,00	3,72	L 25,4x25,4x4,76 mm
HSC 3-2-4/1,3	Superestructura				
	Descripcion	P (KN/m ²)	σ_a [N/mm ²]	SM selc. [cm ³]	Perfil
	Viga transversal	6,90	168,00	21,61	T 76,2x38,1x4,76 mm
	Ref. Longitudinal	6,90	168,00	10,96	L 38,1x38,1x6,35 mm
	Ref. transversal	6,90	168,00	3,67	L 25,4x25,4x4,76 mm
HSC 3-2-4/1,3	Mamparo/Espejo	P (KN/m ²)	σ_a [N/mm ²]	SM selc. [cm ³]	Perfil
	Viga transversal	9,36	204,00	20,28	T 50,8x50,8x6,35
	Ref. Longitudinal	9,36	204,00	10,98	L 38,1x38,1x6,35 mm

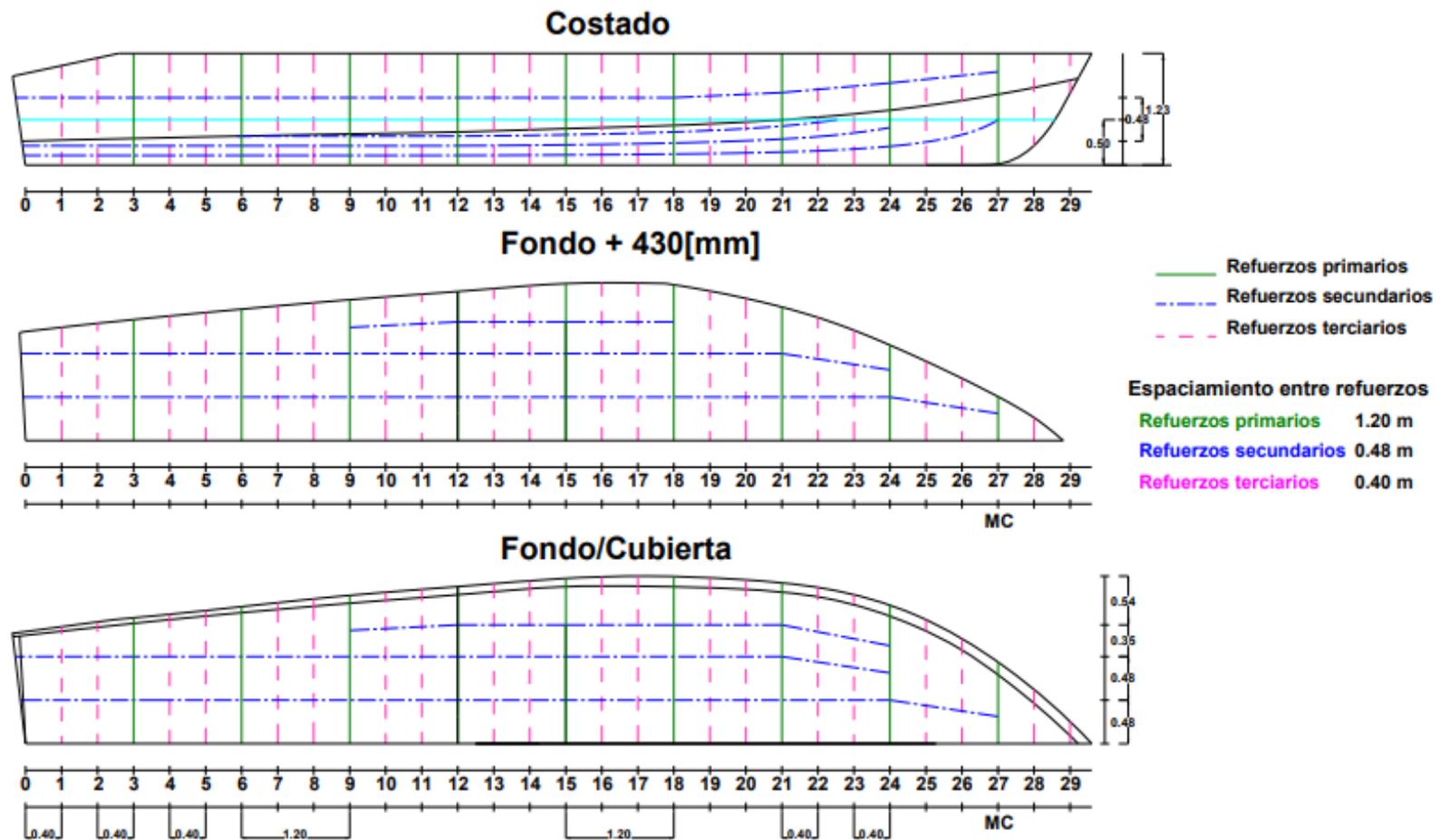


Figura 3.15 Cuadernaje estructural del modelo del proyecto

Fuente: Propia

A continuación, en la Figura 3.16 y Figura 3.17 se muestra la vista panorámica y transversal del arreglo estructural establecido en la embarcación del proyecto.

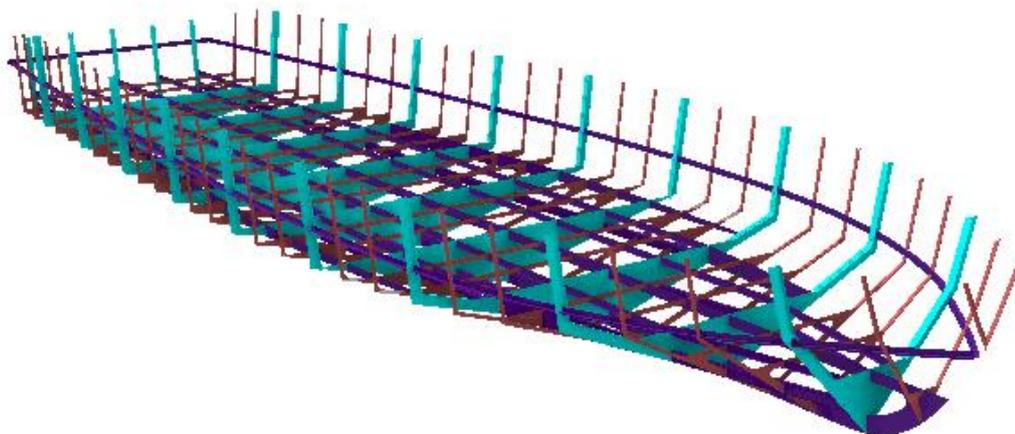


Figura 3.16 Estructural 3-D de la embarcación.

Fuente: Propia

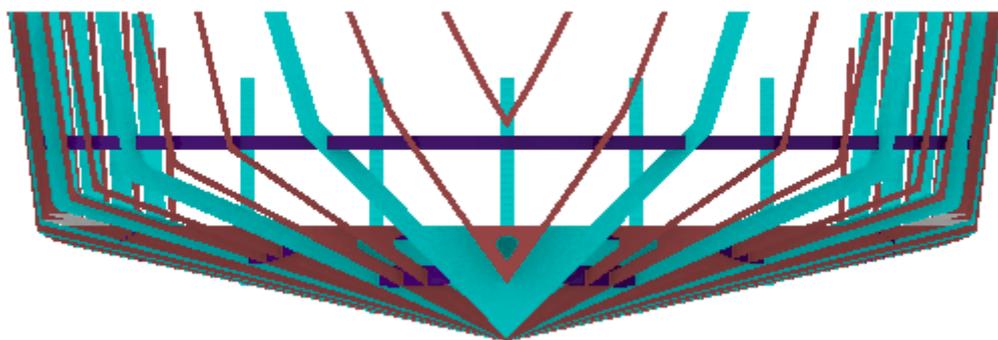


Figura 3.17 Vista transversal de los refuerzos primarios, secundarios y terciarios.

Fuente: Propia

3.4 Resistencia y Propulsión

3.4.1 Resistencia al avance

Se compararon los datos experimentales del modelo 1174 [1] con las predicciones obtenidas con las formulaciones semi-empíricas de "Savitsky", para cuantificar el nivel de confiabilidad de las predicciones semi-empíricas en el caso que incluye profundidad limitada.

3.4.1.1 Régimen de Planeo

Se identificó el régimen de planeo del modelo empleando las ecuaciones de Savitsky considerando que la embarcación navega con las tres posiciones de centro de gravedad longitudinal usadas en los experimentos, como se muestra en la Figura 3.18, donde el centro de gravedad longitudinal del modelo 1174 se encuentra localizado al 48% L_p medido desde el espejo.

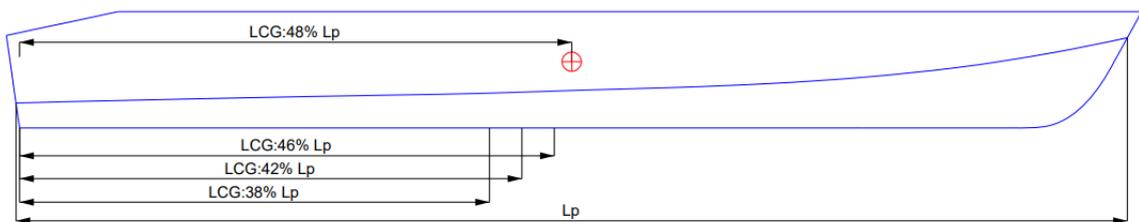


Figura 3.18 Posición de los LCG experimentales

Fuente: Propia

La longitud mojada de la quilla para los diferentes números de Froude volumétricos fue estimada empleando la ecuación propuesta por Savitsky [2].

$$L_k = \lambda B_{px} + \frac{B_{px}}{2\pi} \cdot \frac{\tan(\beta)}{\tan(\tau)} \quad (3.2)$$

Donde:

L_k : Longitud mojada de la quilla

L_p : Longitud de la quilla

λ : Longitud media mojada

B_{px} : Manga máxima de la china

β : Ángulo de astilla muerta

τ : ángulo de asiento dinámico

El número de Froude volumétrico del proyecto es de 3.2, y se lo calculó empleando la ecuación:

$$F_{nv} = \frac{V}{\sqrt{g\nabla^{\frac{1}{3}}}} \quad (3.3)$$

Donde:

V : Velocidad de la embarcación, considerada 14.66 [m/s]

g : Gravedad, 9.81[m/s²]

∇ : Volumen desplazado, 9.70 [m³]

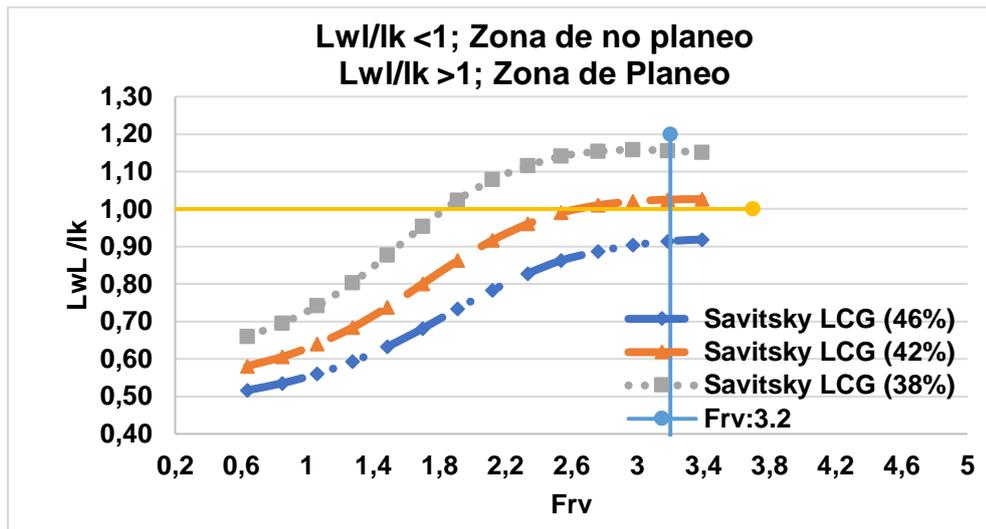


Figura 3.19 Definición de la zona de planeo del modelo 1174.

Fuente: Propia

De la Figura 3.19 se obtuvo que para el Froude volumétrico del proyecto de 3.2, empleando los parámetros principales del modelo 1174, en el régimen de planeo, para $L_w/L_k > 1$, la embarcación planea cuando el LCG está localizado al 38% L_p y 42% L_p , siendo más notorio ese comportamiento a un LCG del 38% L_p .

3.4.1.2 Comparación de resistencia usando resultados experimentales del modelo 1174 con formulaciones empíricas.

El LCG de la embarcación del proyecto se seleccionó considerando los resultados experimentales de resistencia al avance del modelo 1174 considerando las posiciones longitudinales del centro de gravedad de; 46, 42, 38 % del L_p . Luego se realizó la comparación de los resultados experimentales con las ecuaciones empíricas de Savitsky para el régimen de Planeo, Pre-planeo y Holtrop. A

continuación, se muestra las comparaciones entre curvas considerando aguas profundas y tres diferentes relaciones de profundidad-calado “H/T”.

3.4.1.2.1 Aguas Profundas

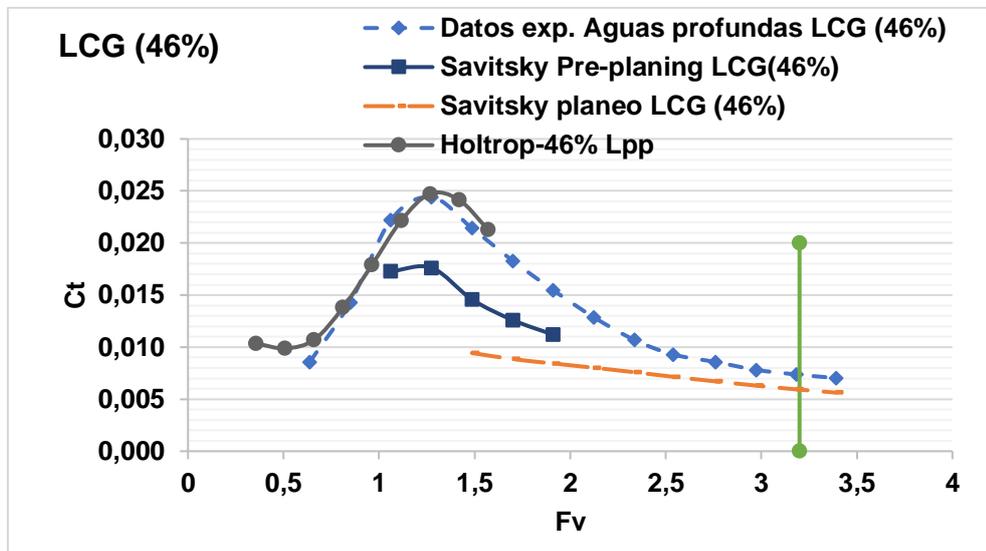


Figura 3.20 Coeficiente de resistencia considerando formulaciones semi-empíricas y datos experimentales, LCG (46% Lp).

Fuente: Propia

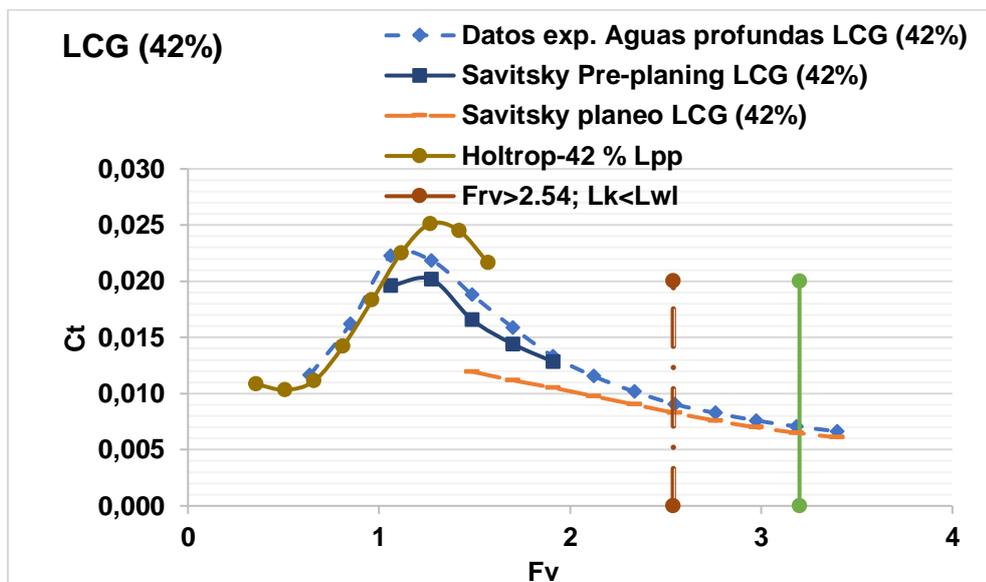


Figura 3.21 Coeficiente de resistencia considerando formulaciones semi-empíricas y datos experimentales, LCG (42% Lp).

Fuente: Propia

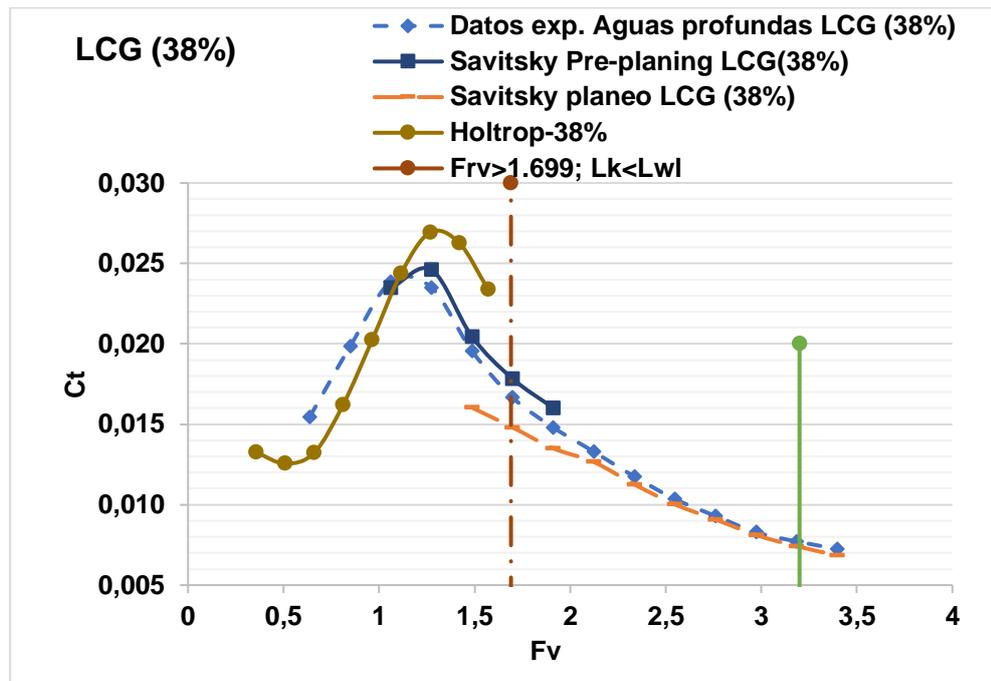


Figura 3.22 Coeficiente de resistencia considerando formulaciones semi-empíricas y datos experimentales, LCG (38% Lp).

Fuente: Propia

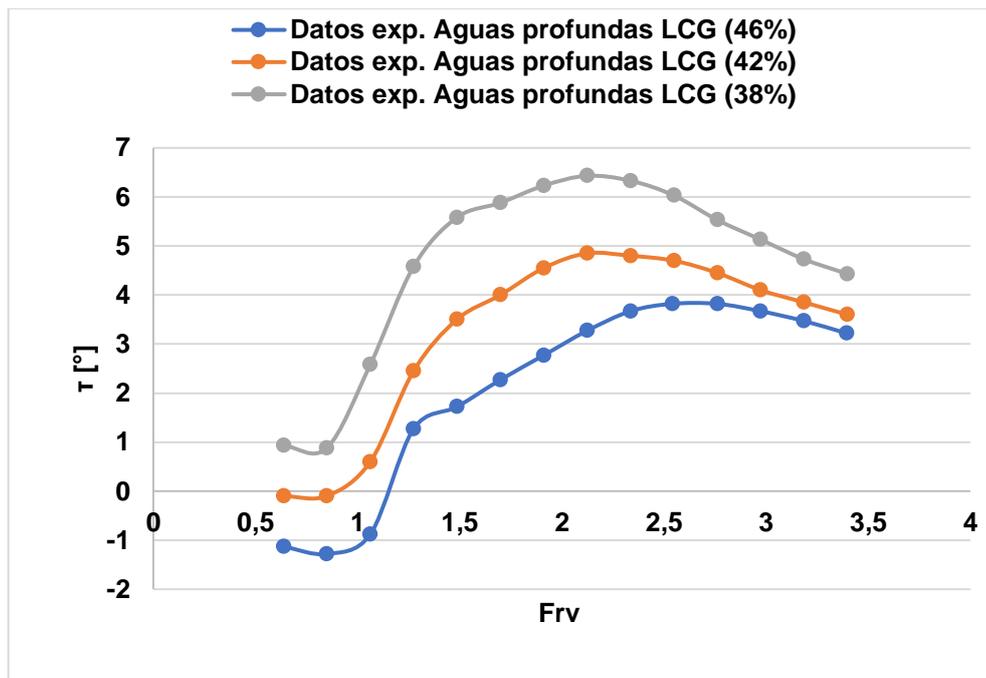


Figura 3.23 Variación del asiento dinámico, datos experimentales del modelo 1174.

Fuente: Propia

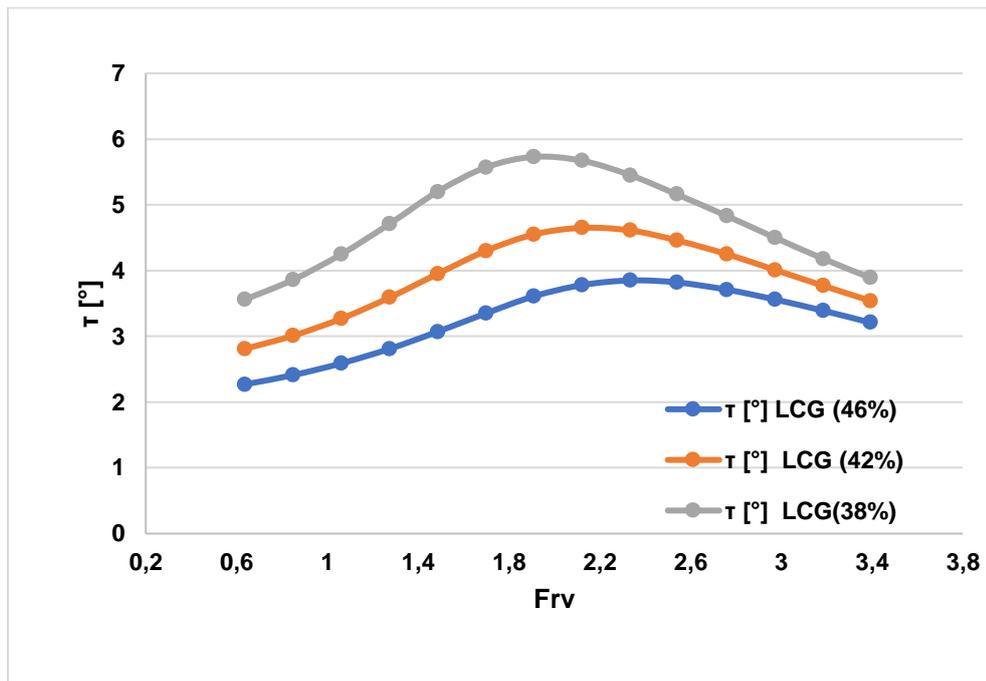


Figura 3.24 Variación del asiento dinámico empleando las ecuaciones de Savitsky.

Fuente: Propia

La Figura 3.20 muestra los resultados de resistencia para un LCG de 46% L_p , donde se obtuvo que las formulaciones semi-empíricas para el régimen de pre-planeo y planeo para números de Froude volumétricos mayores que 1 muestran un gran desfase entre las curvas de coeficiente de resistencia total experimentales y por formulaciones semi-empíricas. Por otra parte, en la Figura 3.21 e Figura 3.22 para un 42% y 38% L_p se muestra que las curvas por formulaciones semi-empíricas en el régimen de pre-planeo y planeo tienden a tomar valores próximos de los experimentales. Esto evidencia que a medida que el LCG se desplaza hacia popa las formulaciones semi-empíricas proporcionan una buena aproximación con respecto a los resultados experimentales.

Por otra parte, la variación del asiento dinámico mostrada en la Figura 3.23 evidencia un comportamiento negativo para la posición de LCG al 46 y 42% L_p para números de Froude volumétrico menores que 1.2, sugiriendo que el modelo 1174 comenzó su desarrollo de prueba encabuzado. Los resultados de la Figura 3.24 en comparación con la Figura 3.23 muestran semejanza en cuanto a sus valores máximos de asiento dinámico, además, se observa en ambos casos que a medida que el LCG se desplaza hacia popa, el ángulo de asiento máximo ocurre

a números de Froude volumétricos menores, la variación del asiento dinámico para todas las condiciones se aprecia en el APÉNDICE C.

3.4.1.2.2 Variación H/T a LCG (46%)

Para la presente sección, se consideraron tres diferentes relaciones profundidad - calado "H/T", y se las comparó con las ecuaciones semi-empíricas, además, para la región subcrítica de la curva de resistencia al avance se aplicó la corrección para aguas profundidad dada por la ITTC [37].

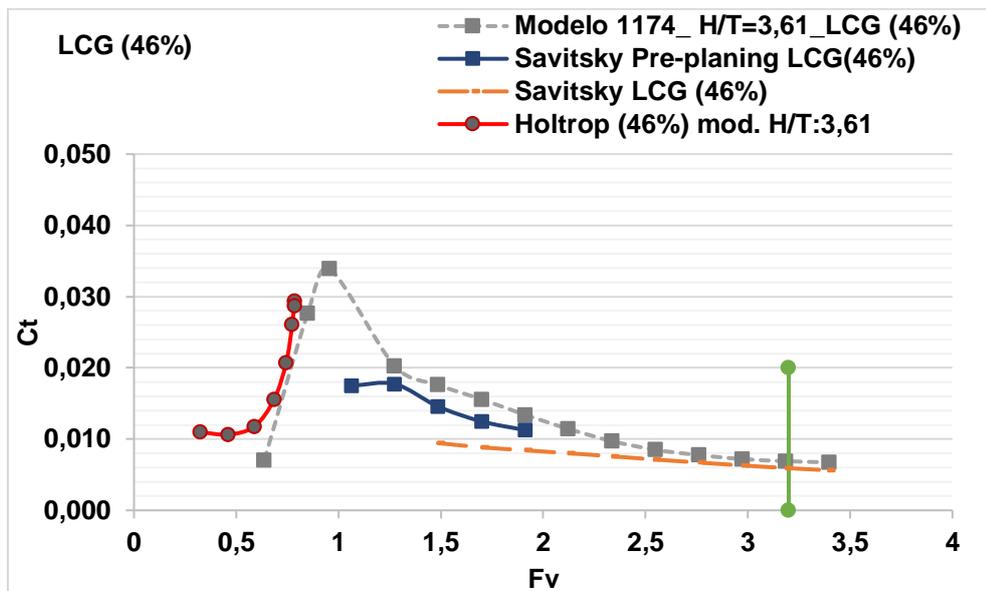


Figura 3.25 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:3.61

Fuente: Propia

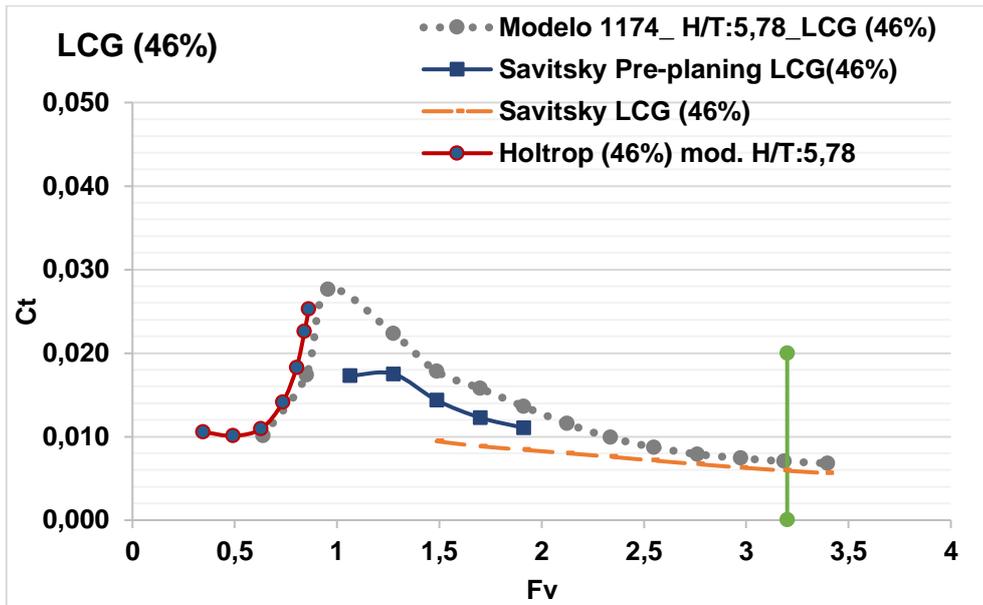


Figura 3.26 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:5.78

Fuente: Propia

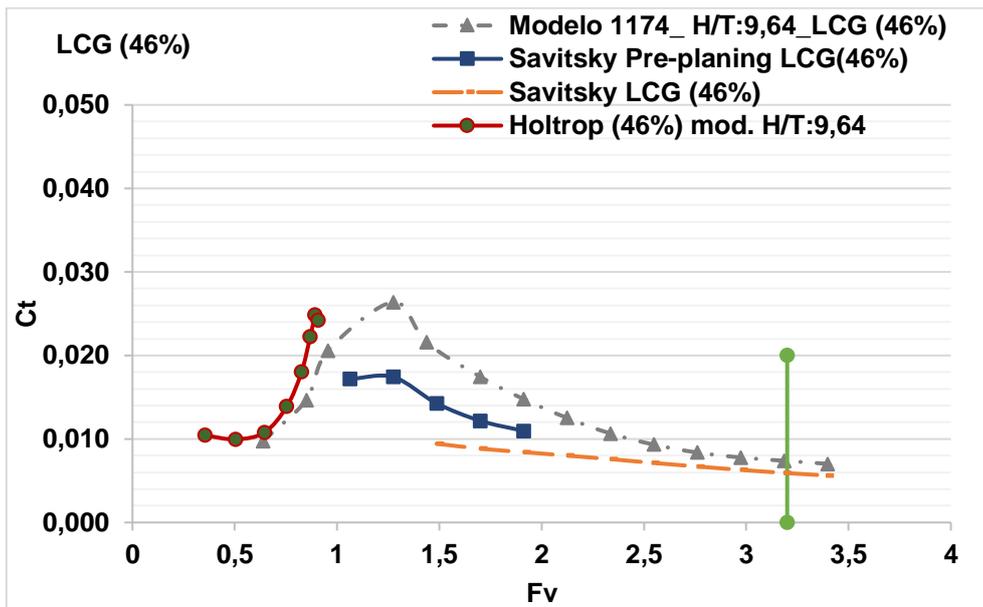


Figura 3.27 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:9.64

Fuente: Propia

3.4.1.2.1 Variación H/T a LCG (42%)

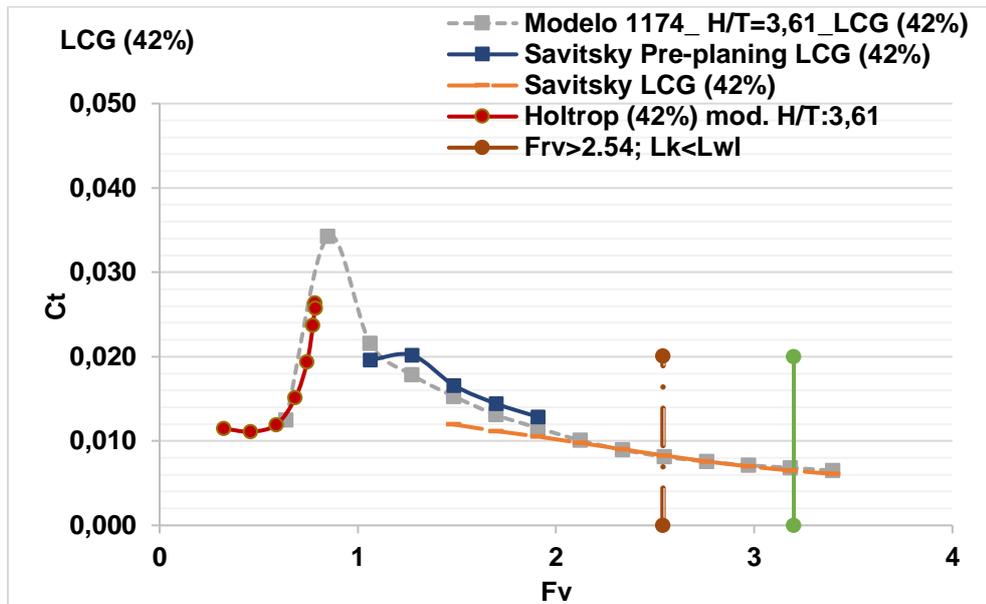


Figura 3.28 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:3.61

Fuente: Propia

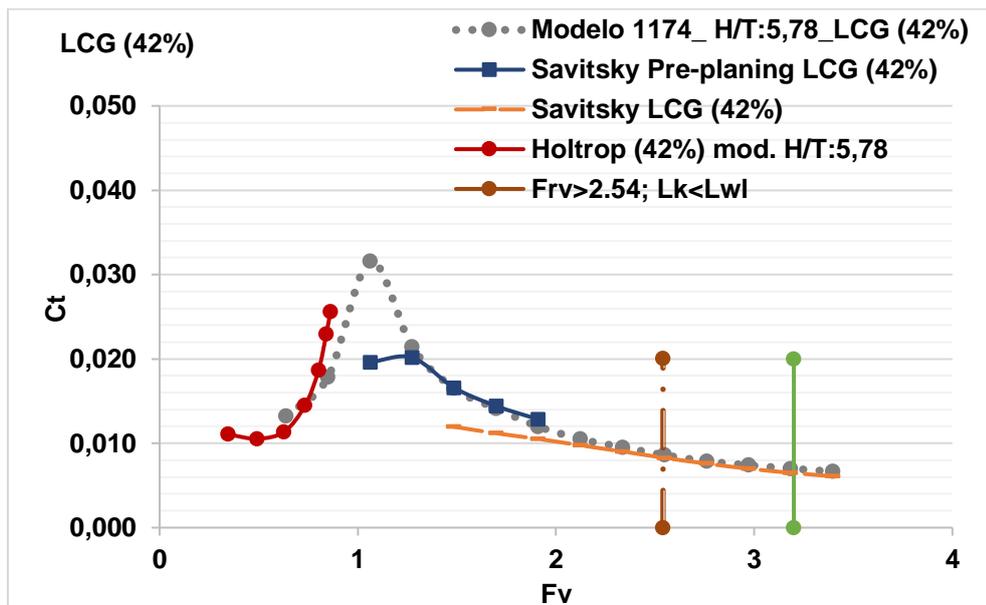


Figura 3.29 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:5.78

Fuente: Propia

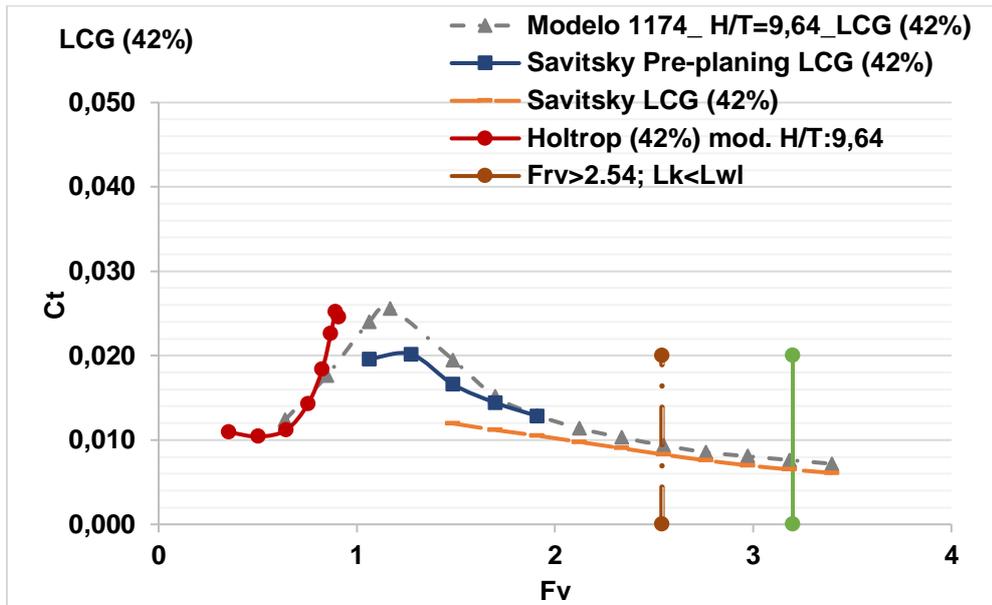


Figura 3.30 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:9.64

Fuente: Propia

3.4.1.2.2 Variación H/T a LCG (38%)

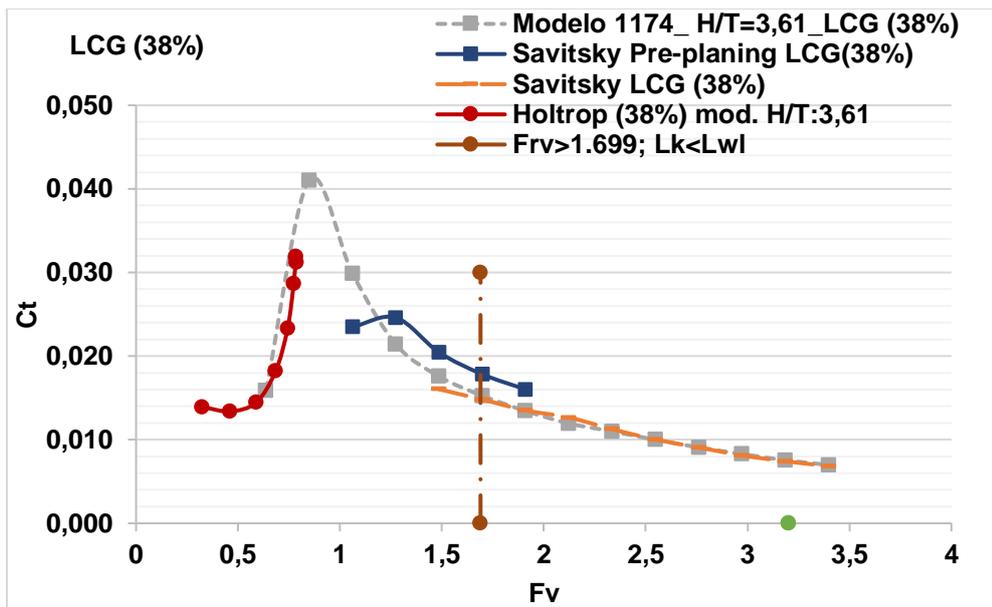


Figura 3.31 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:3.61

Fuente: Propia

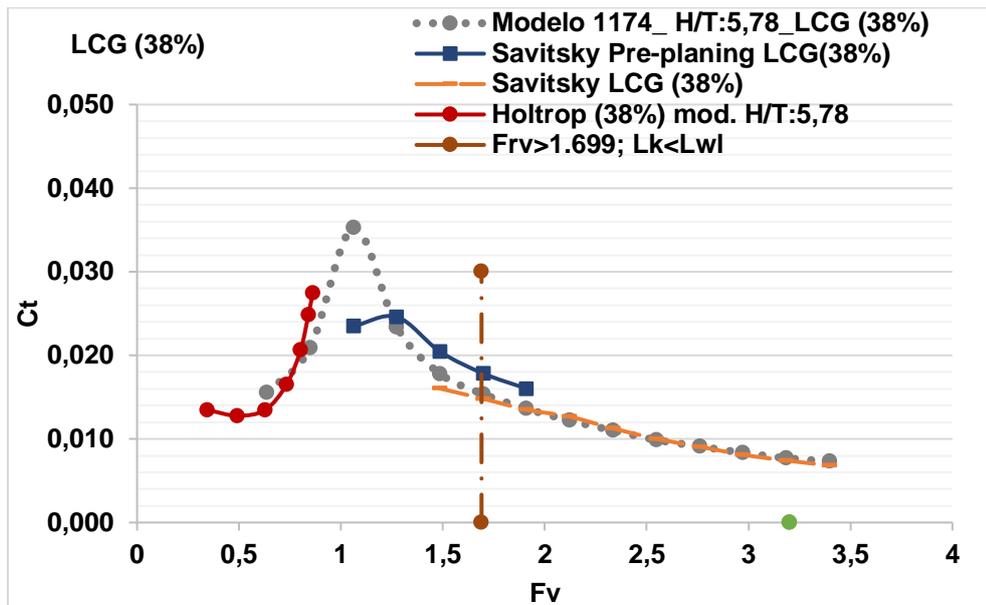


Figura 3.32 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:5.78

Fuente: Propia

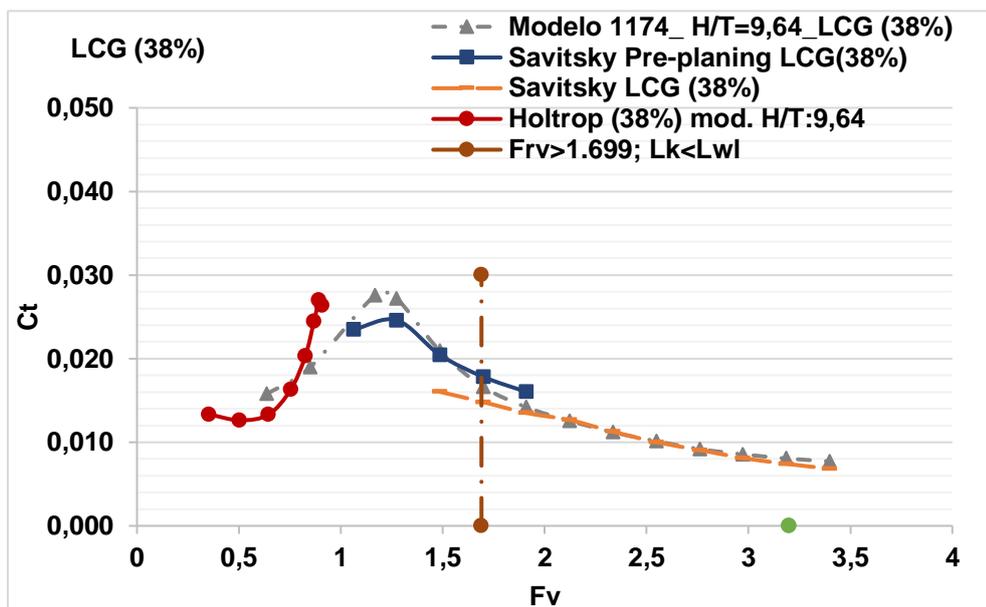


Figura 3.33 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico; H/T:9.64

Fuente: Propia

De la Figura 3.25 a la Figura 3.27 se muestran las predicciones de resistencia al avance del modelo 1174 con un LCG de 46% L_p y diferentes relaciones profundidad-calado, se notó que en el régimen de desplazamiento para números de Froude volumétricos menores que 1, la curva, definida por las formulaciones

semi-empíricas predice valores distantes de los datos experimentales, además, a medida que la relación profundidad-calado disminuye, el coeficiente de resistencia total máximo aumenta y existe un ligero desplazamiento de la curva hacia números de Froude volumétricos menores. Esto implica que la velocidad crítica de la embarcación ocurrirá a una menor velocidad, el mismo patrón de comportamiento se ve reflejado para las curvas desde la Figura 3.28 hasta la Figura 3.30 a un 42 % L_p y la Figura 3.31 hasta la Figura 3.33 a un 38% L_p .

Comparando las gráficas para las diferentes relaciones profundidad-calado en el régimen de pre-planeo y planeo, se notó que para un LCG localizado al 46% L_p (desde la Figura 3.25 hasta la Figura 3.27) las curvas de coeficiente de resistencia total muestran un mayor desfase entre los datos experimentales y formulas semi-empíricas. Además, conforme a la Figura 3.19, la embarcación para el número de Froude volumétrico del proyecto no estaría en el régimen de planeo, lo que afectaría a las condiciones de diseño del proyecto. Por otra parte, para las ilustraciones consideradas a un LCG al 42% y 38% L_p mostraron un mismo comportamiento que los resultados obtenidos en aguas profundas, es decir, a medida que el LCG de la embarcación se desplaza hacia popa, el desfase entre las curvas disminuye.

Para el caso con un LCG al 42% L_p , mostrado desde la Figura 3.28 hasta la Figura 3.30, se aprecia que, para el régimen de planeo y pre-planeo, las curvas experimentales y las obtenidas con fórmulas semi-empíricas evidencian buena proximidad en sus valores. Teniendo una mayor evidencia de este comportamiento en la Figura 3.29, que corresponde a la relación profundidad-calado de 5.78, así mismo, desde la Figura 3.31 a la Figura 3.33 para un LCG al 38% L_p se manifiesta un mismo comportamiento en el régimen de pre-planeo y planeo, mostrando el menor desfase entre curvas en la Figura 3.33 para una relación H/T de 9.64.

Considerando lo mencionado y las condiciones mínimas en función de la profundidad, se optó por usar los datos experimentales de la Figura 3.31. Esta gráfica permite demostrar que cuando la embarcación está planeando, el método de Savitsky es una buena aproximación, pero para números de Froude más bajos

los efectos lineales de la profundidad limitada son predominantes, es decir, se concentran cuando la embarcación está en modo desplazamiento y en parte pre-plano. En el APÉNDICE C se muestra el comportamiento del asiento a las diferentes variaciones profundidad-calado.

3.4.1.3 Estimación de la resistencia y propulsión del modelo del proyecto.

Para la estimación de la resistencia al avance se consideró la velocidad de diseño de 28.5 [nudos] acorde a los requerimientos en la sección 2.2.1. La resistencia al avance de la embarcación se la obtuvo extrapolando los datos experimentales del modelo 1174, mostrados en el APÉNDICE C, para ello se empleó las ecuaciones por correcciones de desplazamiento de Savitsky y P. Brown [4].

A continuación, en la Figura 3.34 se compara la curva del coeficiente de resistencia total extrapolado; con las obtenidas empleando las formulaciones empíricas de Savitsky en el régimen de planeo y pre-plano, además, el método descrito en Saunders para el régimen de desplazamiento.

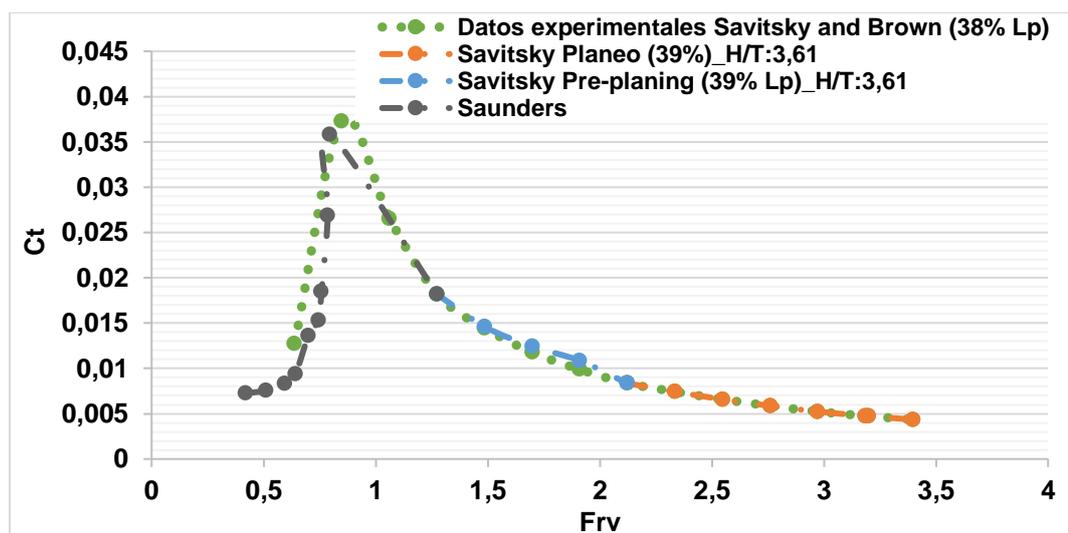


Figura 3.34 Coeficiente de resistencia total vs Froude volumétrico del prototipo (modelo del proyecto)

Fuente: Propia

En la Figura 3.34 se obtuvo que la curva de datos experimentales extrapolados al modelo del proyecto y empleando las ecuaciones semi-empíricas muestran un mismo comportamiento en el régimen de planeo y pre-plano a partir del número

de Froude volumétrico igual 1.3. Esto evidencia confiabilidad de emplear las ecuaciones semi-empíricas de “Savitsky y Brown” para el número de Froude volumétrico del proyecto de 3.2, considerando lo mencionado y la poca influencia de los efectos de profundidad limitada, se estimó la potencia efectiva de la embarcación empleando un software de arquitectura naval” Maxsurf Resistance” y se obtuvo la curva de potencia efectiva para diferentes números de Froude volumétricos como se aprecia en la Figura 3.35.

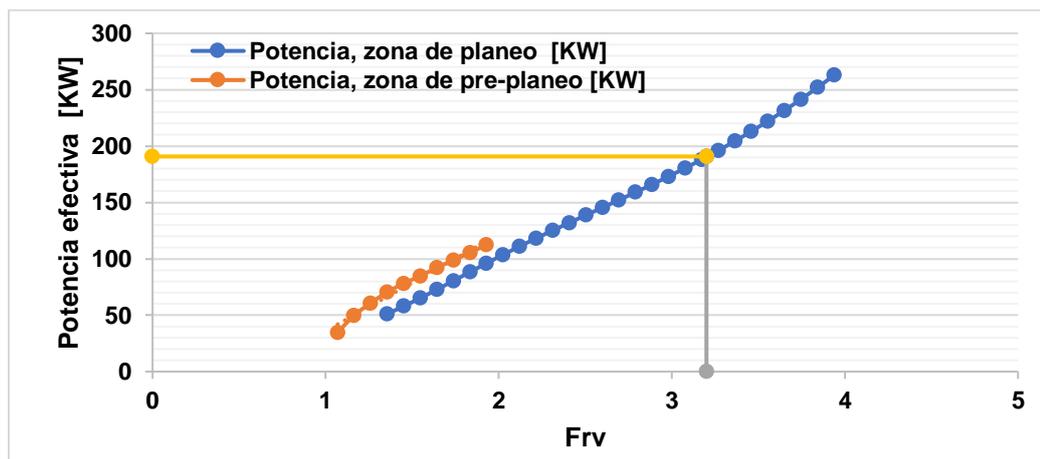


Figura 3.35 Potencia efectiva vs número de Froude volumétrico.

Fuente: Propia

Conocido el coeficiente de resistencia total de la embarcación, se estimó una resistencia al avance de 13.0 KN y una potencia efectiva de 190.79 [KW] o 254.79 [HP] como se aprecia en la Figura 3.35. Posteriormente se seleccionó el motor fueraborda requerido para alcanzar la velocidad de diseño.

Finalmente, se verificaron parámetros operativos como el rango de planeo y el límite de porpoising que será definido más adelante, en las secciones 3.4.1.3.1 y 3.4.1.3.2.

3.4.1.3.1 Rango de planeo

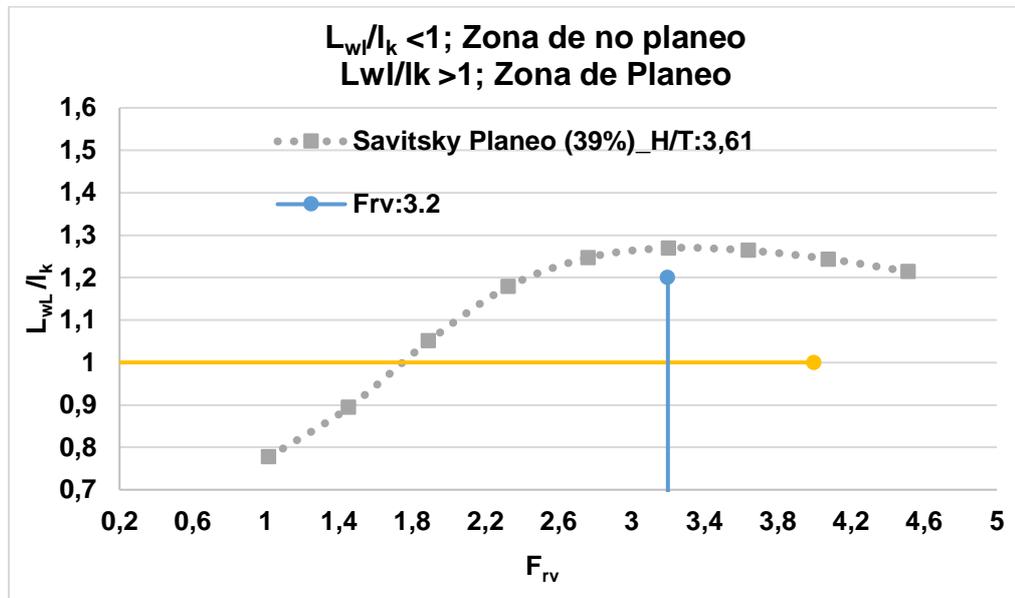


Figura 3.36 Rango de planeo de la embarcación del proyecto.

Fuente: Propia

La Figura 3.36 demuestra que la embarcación comienza a planear a partir de un número de Froude volumétrico de 1,78, confirmando que la embarcación se encontrara en zona de planeo en el número de Froude volumétrico del proyecto.

3.4.1.3.2 Límite de estabilidad por porpoising

El porpoising está definido como la combinación de oscilaciones de la embarcación en cabezo y levantamiento, donde existe un incremento en su amplitud. Este comportamiento ocurre mientras la embarcación se encuentra en el rango de planeo, causando problemas serios en la estabilidad longitudinal de la embarcación. Se empleó el rango propuesto por Savitsky para la verificación del límite de estabilidad por porpoising en función del ángulo de astilla muerta de la embarcación.

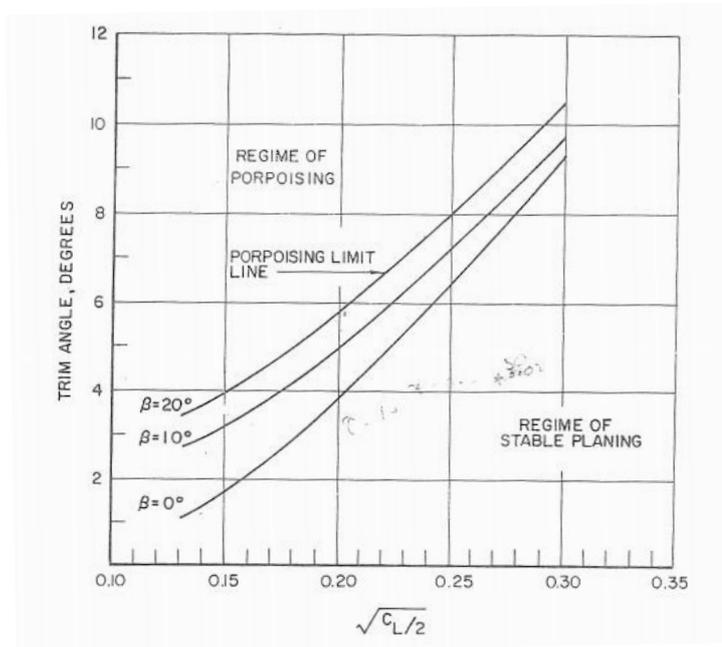


Figura 3.37 Limite de porpoising para embarcaciones planeadoras prismáticas

Fuente: Hydrodynamics Design of Planing Hulls, Savitsky [2]

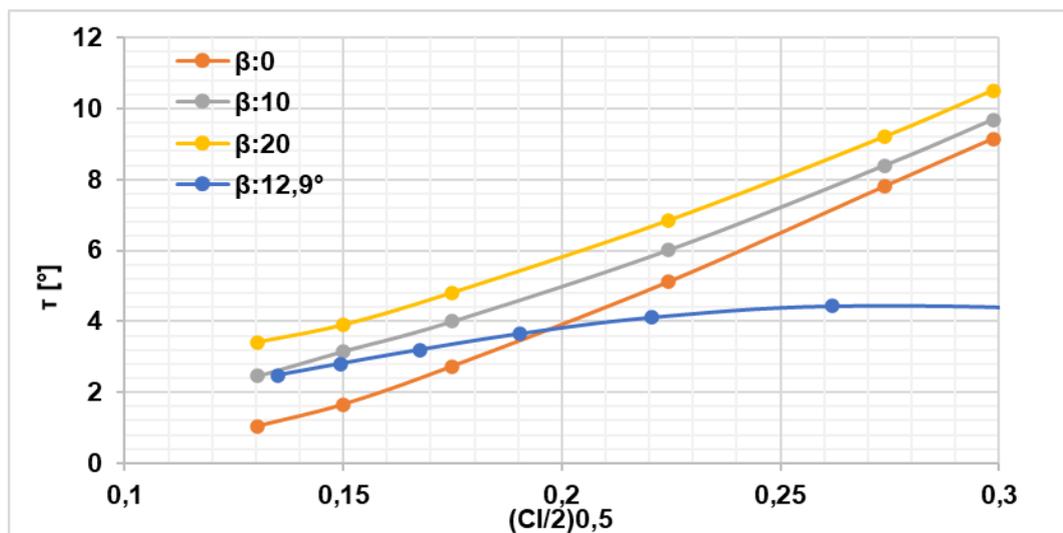


Figura 3.38 Limite de porpoising para la embarcación del proyecto

Fuente: Propia

La Figura 3.38 muestra que la embarcación se encuentra bajo los límites propuestos por Savitsky, cuando la embarcación tiene un ángulo de astilla muerta de 12.9° , por lo que la embarcación no tendrá problemas en cuanto a estabilidad por porpoising.

3.4.1.3.3 Selección del motor

El motor se lo seleccionó en base a la potencia estimada previamente, debido a que a embarcación no posee una eslora representativa se usó motores fuera borda.

$$EHP = BHP * \eta_p \quad (3.4)$$

$$BHP [KW] = 381.58$$

Donde:

EHP: Potencia efectiva de la embarcación

η_p : El rendimiento propulsivo es una medida de la eficacia del sistema propulsivo y este compuesto de cuatro factores; rendimiento del casco, rendimiento del propulsor, rendimiento rotativo relativo y el rendimiento mecánico de la línea de ejes. Dado que no se posee valores de los rendimientos ya mencionados se trabajó con un rendimiento propulsivo de 0.5, que es un valor típico en cuanto a motores fuera de borda marinos.

Dado que las pérdidas por el eje son mínimas, casi despreciables se puede asumir que:

$$BHP = SHP \quad (3.5)$$

La potencia indicada del motor "IHP" finalmente se la obtuvo asumiendo un valor de rendimiento mecánico del 95%.

$$\eta_{motor} = \frac{BHP}{IHP} \quad (3.6)$$

$$IHP = 401,66 [KW]$$

Se seleccionaron dos motores fueraborda modelo F150DETL de la marca YAMAHA, de 220.6 [KW] de potencia indicada cada uno, 441.2 [KW] por los dos, en comparación con la potencia efectiva obtenida de 401.66 [KW]. A continuación, se muestra las características del motor seleccionado.



Figura 3.39 YAMAHA modelo F150DETL

Fuente: Yamaha

Tabla 3.10 Características principales del motor F150DETL

Fuente: Yamaha

Capacidad del sistema de lubricación	5.2 L	Sistema de combustible	Inyección electrónica
Cilindros	4, DOHC 16 válvulas	Tipo	4 tiempos
Desplazamiento	2670 [cm ³]	Sistema de encendido	TCI
Diámetro carrera	94 x 96.2 mm	Sistema de arranque	Eléctrico
Lubricación	Tipo húmeda	Relación de compresión	9:1
Potencia de salida	220.6 [KW]	Consumo de combustible [LPH]	36.6
Dimensiones			
Altura total	1869 mm	Anchura total	548 mm
Longitud total	920 mm	Peso en seco	227 kg

3.4.1.3.4 Capacidad del tanque de combustible

La capacidad del tanque dependerá del consumo de combustible del motor fuera borda, para ello se establecieron las rutas que la embarcación realizará durante un día de trabajo como se muestra en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Circuitos de transferencia para el diseño del proyecto.

		<i>Ida</i>		<i>Vuelta</i>	
<i>Circuito de transferencia N°1</i>	<i>Distancia [Km]</i>	<i>Hora de Salida</i>	<i>Hora de Llegada</i>	<i>Hora de Salida</i>	<i>Hora de Llegada</i>
Francisco de Orellana -Pompeya	39,93	6:30 am	7:15 am	13:00 pm	13:45 pm
Tiempo de espera		10 [min]		10 [min]	
Pompeya - Providencia	25,66	7:25 am	7:55 am	13:55 pm	14:25 pm
Tiempo de espera		10 [min]		10 [min]	
Providencia- Pañacocha	47,48	8:05 am	9:00 am	14:35 pm	15:30 pm
Tiempo de espera		10 [min]		10 [min]	
Pañacocha -Chiroisla	34,46	9:10 am	9:50 am	15:40 pm	16:20 pm
Tiempo de espera		10 [min]		10 [min]	
Chiroisla - Tiputini	22,47	10:00 am	10:26 am	16:30 pm	16:56 pm
Tiempo de espera		10 [min]		10 [min]	
Tiputini - Nuevo Rocafuerte	40	10:36 am	11:30 am	17:06 pm	18:00 pm
		Tiempo total [horas]	5	Tiempo total [horas]	5

El circuito de transferencia tendrá 5 paradas estratégicas a lo largo del río Napo, cada una con 10 [min] de tiempo de espera como se aprecia en la Tabla 3.11. El abastecimiento de combustible de la embarcación se realizará en dos de las principales ciudades: Francisco de Orellana y Nuevo Rocafuerte, dejando 1:50 [horas] como tiempo de holgura para abastecer a la embarcación de combustible previo al circuito de vuelta, es decir, se decidió realizar el abastecimiento de combustible en dos partes debido a que la reducción de la capacidad del tanque de combustible proporcionaría una mayor capacidad de carga tanto de ida como vuelta. La estimación de la capacidad de los tanques de combustible se calculó de la siguiente manera:

$$C_t = C_c * Autonomia * N^{\circ} * FS \quad (3.7)$$

$$C_t = 0.40 [m^3]$$

Donde:

C_t : Capacidad del tanque de combustible

C_c : Consumo de combustible del motor, con el valor de 36.6 [LPH]= $0.0366\left[\frac{m^3}{h}\right]$

N° : Cantidad de motores fuera borda: 2 motores

FS : Factor de seguridad: 10%

Autonomía: 5 horas

Por otra parte, se requiere tener presente una bomba para el abastecimiento de combustible a la embarcación durante el tiempo de espera para el circuito de salida y de regreso, para ello se estimó el caudal mínimo que debería tener la bomba para abastecer al tanque en 1:50 [horas].

$$Q = \frac{\nabla}{t} = 0.27 \left[\frac{m^3}{h}\right] \quad (3.8)$$

Donde:

Q : Caudal

∇ : Volumen del tanque: $0.40[m^3]$

t : Tiempo: 1.50 [horas]

3.5 Equipos y Sistema Eléctrico

3.5.1 Equipos

Acorde a la zona establecida en el apartado 2.3.5.1, la embarcación fue dotada con los siguientes equipos:

3.5.1.1 Equipos de Seguridad

La selección de la cantidad de equipos se basó acorde a la zona de navegación, para el presente caso se usó la zona VII, zona en aguas protegidas.

- Se selecciono la cantidad mínima de chalecos salvavidas, es decir un chaleco salvavidas por persona autorizada.
- Acorde a la normativa no es necesario tener aros salvavidas, pero se doto con la cantidad de 2 aros salvavidas y 3 bengalas de mano.

3.5.1.2 Equipos de navegación

- 2 luces de navegación
- 1 bocina de niebla

- 1 pabellón nacional
- 1 espejo de señales
- 1 código de señales
- 1 botiquín

El ancla se seleccionó acorde a la tabla reglamentaria establecida por la regla, un ancla de 20[kg], con 8 mm para el diámetro de la cadena, con material de acero galvanizado acorde a la norma EN 24565:

ESLORA (m)	Peso del Ancla (kg)	Diámetro de cadena (mm)	Diámetro de estacha (mm)
L = 3	3,5	6	10
L = 5	6	6	10
L = 7	10	6	10
L = 9	14	8	12
L = 12	20	8	12
L = 15	33	10	14
L = 18	46	10	14
L = 21	58	12	16
L = 24	75	12	16

Figura 3.40 Selección del ancla reglamentaria en función de la eslora

Fuente: ORDEN FOM/1144/2003

3.5.1.3 Equipos contraincendios y de achique

- 1 extintor tipo 21B acorde a la eslora
- 2 extintores tipo 21B considerando la potencia instalada de la embarcación.

3.5.1.4 Equipo lumínico

- Luces localizadas a los costados, a estribor una verde y a babor una roja.
- Luz de Tope localizada sobre la línea de crujía, con capacidad de enfoque a proa con un ángulo de 225 grados.
- Luz de Tope localizada sobre la línea de crujía, con capacidad de enfoque a popa con un ángulo de 135 grados.

3.5.1.5 Equipos de Achique

Acorde a la norma, la embarcación de proyecto dispone de una bomba con una capacidad de 15 litros/min.

3.5.2 Sistema eléctrico

El sistema eléctrico seleccionado, como se mencionó en la sección 2.3.5.2 fue configurado para funcionar con energía solar, para ello lo primero fue establecer un balance de carga preliminar de los equipos operativos en la embarcación como se aprecia en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12 Balance eléctrico preliminar de los equipos de la embarcación.

Fuente: Propia

Descripción	Número	Potencia (KW)	Voltaje (V)	Duración (h)	Cap. (KW-H/día)	Is [A-H]
Televisor	1	0,25	24	10	2,50	104,17
Aire acondicionado	1	1,2	220	10	12,00	54,55
Cafetera	1	0,75	24	4	3,00	125,00
Bomba de agua dulce	1	0,5	24	1	0,50	20,83
Bomba de achique	1	0,5	24	1	0,50	20,83
Bomba de aguas residuales	1	0,5	24	1	0,50	20,83
Instrumentos de navegación	1	0,25	24	4	0,97	40,33
Molinete	1	1,50	24	0,2	0,30	12,50
Focos Led	10	0,08	24	4	0,32	13,33
Otros equipos electrónicos	1	0,15	24	10	1,50	62,50
				Subtotal		474,88

La selección del banco de baterías y la cantidad de paneles necesarias fueron acorde a la metodología y formulaciones especificadas en la sección 2.3.5.2, a continuación, se muestra un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 3.13 Parámetros y resultados para la estimación de baterías y paneles.

Fuente: Propia

Capacidad de almacenamiento [A-H]	I_s	474,88
Voltaje nominal del banco de baterías [V]	V_n	24,00
Días de autonomía	D_a	1,00
Capacidad nominal del banco de baterías [A-h]	I_{cnb}	474,88
Eficiencia de profundidad de descarga	P_d	0,98
Capacidad nominal del banco de baterías corregida [A-h]	I_{ccbb}	484,57
Datos de la batería		
Voltaje nominal de la batería [V]	V_{nb}	12,00
Corriente nominal de la batería [A-h]	I_{nb}	300,00
Cantidad de baterías en serie	N_s	2,00

Cantidad de baterías en paralelo	N_p	2,00
Número de baterías	N	3,23==4,00
Energía solar promedio anual [KWh/m2]	n	106,35
Corriente necesaria del panel [A-h]	I_0	4,47
Datos del panel		
Corriente del panel [A-h]	I_m	3,69
Voltaje operativo [V]	V_m	17,60
Número de paneles en serie	N	1,21
Número de paneles en paralelo	M	1,36
Número de paneles	K	1,83

Las baterías seleccionadas tendrán una capacidad de 12[V], considerando que las placas fotovoltaicas en la mayoría de las presentaciones conducen la corriente con valores entre 12 a 24 voltios. Estos deben estar conectados a un controlador de carga cuya función será regular el voltaje a 12 voltios para posteriormente alimentar la carga al banco de baterías. A continuación, las baterías envían la carga de 12 a 24 voltios a los sistemas eléctricos del buque, para el caso del aire acondicionado se requerirá un inversor ya que requerirá de una mayor capacidad de voltaje. En la Figura 3.41 y Tabla 3.14 se muestra el modelo y las características principales de la batería respectivamente, por otra parte, en la Figura 3.42 y Tabla 3.15 se muestra el modelo y las características del panel seleccionado.



Figura 3.41 Batería solar 12Li300BL

Fuente: AutoSolae

Tabla 3.14 Características principales de la batería solar 12Li300BL

Fuente: AutoSolar

Modelo	12Li300BL
---------------	-----------

Voltaje nominal	12 V
Capacidad	300 Ah
Peso aproximado	37.7 kg
Largo	520 mm
Ancho	269 mm
Alto	220 mm
Altura total	224 mm
Método de carga	Ciclo de uso
	13.8-14.6 V



Figura 3.42 65W PHOTOVOLTAIC MODULE-65J

Fuente: AutoSolar

Tabla 3.15 Características del panel 65W PHOTOVOLTAIC MODULE-65J

Fuente: AutoSolar

Modelo	65J
Potencia máxima (Pmax)	65 W
Voltaje a Pmax	17.6 V
Corriente a Pmax	3.69 A
Peso aproximado	6.4 kg
Eficiencia del modulo	12.1 %
Dimensiones	796 x 674 x 500 mm

Las baterías fueron seleccionadas en función de la capacidad nominal del banco de baterías corregida y del voltaje nominal. Para ello se requirió seleccionar previamente la capacidad nominal de la batería y su voltaje nominal, de los datos de la batería seleccionada depende la cantidad de baterías que serán instaladas en el banco, siendo un total de 4 baterías como se muestra en la Tabla 3.13. La batería seleccionada se muestra en la Figura 3.41, por otra parte, los paneles

fotovoltaicos fueron seleccionados en función de la capacidad de corriente del banco de baterías. La selección de las baterías y los paneles fotovoltaicos no fueron valorados en el mercado local debido a la falta de información que existe, por lo que se recurrió a la empresa “Autosolar” localizada en Perú.

3.6 Estabilidad intacta y distribución de Pesos

Para determinar el centro de gravedad final de la embarcación se realizó la estimación del peso con sus respectivas ubicaciones, donde la estimación de los centros de gravedad fueron calculados a partir de la sumatoria de los momentos para la sumatoria total de pesos.

Tabla 3.16 Resumen de pesos y centros de gravedad de la embarcación

Fuente: Propia

Descripción	Masa total [Ton]	x [m]	y [m]	z [m]
Planchas externas	1,63	5,20	0	0,79
Refuerzos	0,61	5,31	0	0,58
Paredes/refuerzos	0,24	4,36	0	1,36
Paredes interiores	0,24	5,72	0	1,67
Habitáculo y Sist. Eléctrico	0,93	4,65	-0,085	1,08
Seguridad	0,033	6,143	0,147	1,11
Amarre	0,05	10,69	0	0,8
Motores	0,45	-0,49	0	0,82
Carga Popa	2,60	3,5	0	0,50
Carga Proa	0,55	8,84	0	0,50
Personas	1,575	6,37	0	0,90
Equipos de Navegación y Otros	0,062	1	0	1,00
Carga de mano /persona	0,22	6,18	0	2,21
Tanque de agua dulce estribor	0,186	1,07	-0,385	0,26
Tanque de comb. Estribor	0,175	0,34	-0,389	0,27
Tanque de comb. Babor	0,175	0,34	0,389	0,27
Tanque de agua dulce babor	0,186	1,07	0,385	0,26
Total	9,913	4,54	-0,007	0,76

El sistema de referencia se estableció de tal manera que “X” se encuentre a lo largo de la eslora, “Y” a lo largo del manga medido desde línea de crujía y “Z” a lo largo del puntal medido desde línea base.

- Centro de gravedad en x: 4.55 [m]
- Centro de gravedad en y: -0.007 [m]
- Centro de gravedad en z: 0.76 [m]

3.6.1 Estabilidad Intacta

La estabilidad intacta se la calculo empleando la norma “2000 HSC CODE, Anexo 8”, el cual es aplicable para embarcaciones rápidas monocasco. Para ello se estableció las siguientes condiciones de carga acorde a la IMO:

Tabla 3.17 Resumen de las condiciones de carga de la embarcación

Fuente: Propia

Descripción	Condición 1	Condición 2	Condición 3	Condición 4	Condición 5
	Salida de puerto	Peso en Rosca	Carga media (Personas y carga)	Llegada a puerto	Tripulación a un costado de la embarcación
Combustible	100%	0	50%	10%	100%
Carga	100%	0	50%	100%	100%
Provisiones	100%	0	50%	10%	100%
Desplazamiento [ton]	9.91	3.22	7.237	9.319	9.91

3.6.1.1 Condición 1

Empleando el software académico Maxsurf para el cálculo de la estabilidad intacta del buque, se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 3.18 Peso y centro de gravedad de la embarcación para la condición 1

Desplazamiento [Ton]	L.C.G [m]	C.G. Y [m]	V.C.G [m]
9.913	4.55	-0.007	0.76

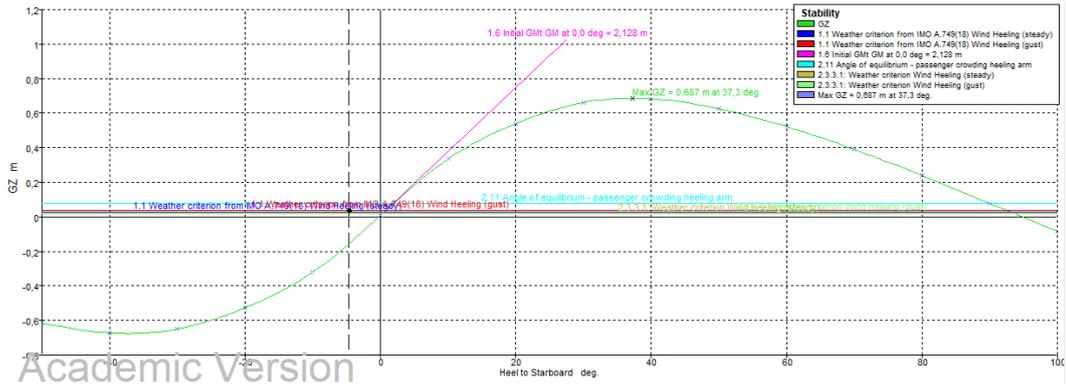


Figura 3.43 Curva de brazos adrizantes para la condición de carga 1.

Fuente: Maxsurf Stability

Tabla 3.19 Criterios de la OMI para HSC- condicion1.

<i>HSC 2000 Annex 8 Monohull. Intact</i>			
<i>Criterio</i>	<i>Permitido</i>	<i>Actual</i>	<i>Estatus</i>
Área 0-30	≥ 3,1510 m-deg	11.53	Cumple
Área 30-40	≥ 1,7190 m-deg	6,20	Cumple
GZ(θ=30)	≥ 0,2 m	0,625	Cumple
Angulo de Gz max	≥ 15°	35.5	Cumple
Gm0	≥ 0,15 m	2,02	Cumple
Criterio de viento	≤ 16°	4.13	Cumple

3.6.1.2 Condición 2

Tabla 3.20 Peso y centro de gravedad de la embarcación para la condición 2

Desplazamiento [Ton]	L.C.G [m]	C.G. Y [m]	V.C.G [m]
3.22	4.49	0	0.87

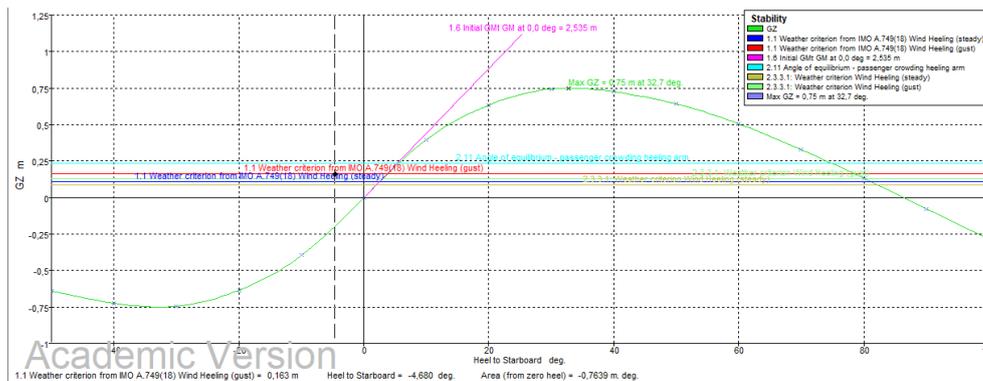


Figura 3.44 Curva de brazos adrizantes para la condición de carga 2

Fuente: Maxsurf Stability

Tabla 3.21 Criterios de la OMI para HSC- condicion2

HSC 2000 Annex 8 Monohull. Intact			
Criterio	Permitido	Actual	Estatus
Área 0-30	$\geq 3,1510$ m-deg	14,34	Cumple
Área 30-40	$\geq 1,7190$ m-deg	7,42	Cumple
GZ($\theta=30$)	$\geq 0,2$ m	0,75	Cumple
Angulo de Gz max	$\geq 15^\circ$	32,7	Cumple
Gm0	$\geq 0,15$ m	2,535	Cumple
Criterio de viento	$\leq 16^\circ$	6,34	Cumple

3.6.1.3 Condición 3

Tabla 3.22 Peso y centro de gravedad de la embarcación para la condición 3

Desplazamiento [Ton]	L.C.G [m]	C.G.Y [m]	V.C.G [m]
7.20	4.45	-0.010	0.80

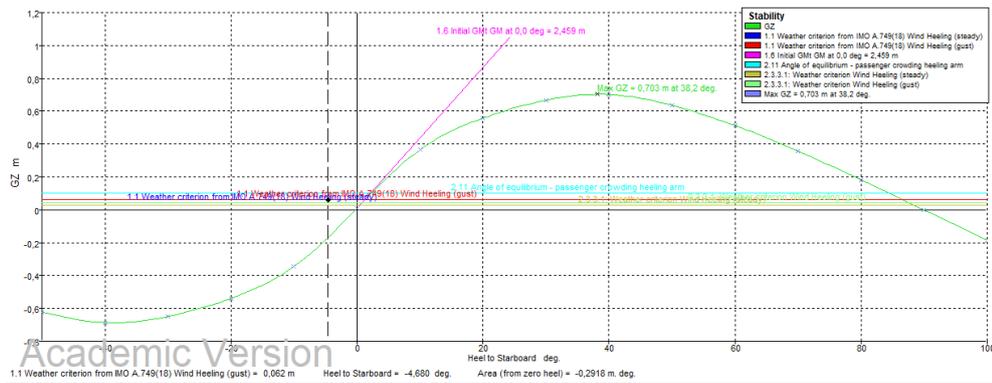


Figura 3.45 Curva de brazos adrizantes para la condición de carga 3

Fuente: Maxsurf Stability

Tabla 3.23 Criterios de la OMI para HSC- condicion3

HSC 2000 Annex 8 Monohull. Intact			
Criterio	Permitido	Actual	Estatus
Área 0-30	$\geq 3,1510$ m-deg	12,25	Cumple
Área 30-40	$\geq 1,7190$ m-deg	6,47	Cumple
GZ($\theta=30$)	$\geq 0,2$ m	0,65	Cumple
Angulo de Gz max	$\geq 15^\circ$	37,3	Cumple
Gm0	$\geq 0,15$ m	2,36	Cumple

HSC 2000 Annex 8 Monohull. Intact			
Criterio	Permitido	Actual	Estatus
Criterio de viento	$\leq 16^\circ$	3,92	Cumple

3.6.1.4 Condición 4

Tabla 3.24 Peso y centro de gravedad de la embarcación para la condición 4

Desplazamiento [Ton]	L.C.G [m]	C.G. Y [m]	V.C.G [m]
9.31	4.77	-0.008	0.80

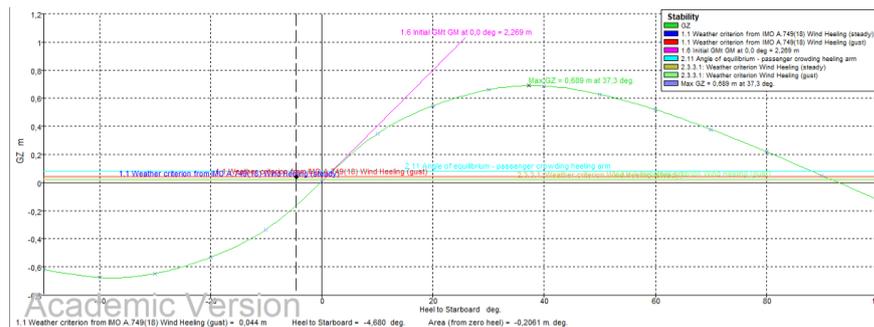


Figura 3.46 Curva de brazos adrizantes para la condición de carga 4

Fuente: Maxsurf Stability

Tabla 3.25 Criterios de la OMI para HSC- condición 4

HSC 2000 Annex 8 Monohull. Intact			
Criterio	Permitido	Actual	Estatus
Área 0-30	$\geq 3,1510$ m-deg	11,61	Cumple
Área 30-40	$\geq 1,7190$ m-deg	6,15	Cumple
GZ($\vartheta=30$)	$\geq 0,2$ m	0,62	Cumple
Angulo de Gz max	$\geq 15^\circ$	35,5	Cumple
Gm0	$\geq 0,15$ m	2,15	Cumple
Criterio de viento	$\leq 16^\circ$	3,33	Cumple

3.6.1.5 Condición 5

Tabla 3.26 Peso y centro de gravedad de la embarcación para la condición 5

Desplazamiento [Ton]	L.C.G [m]	C.G. Y [m]	V.C.G [m]
9.913	4.53	0.191	0.77

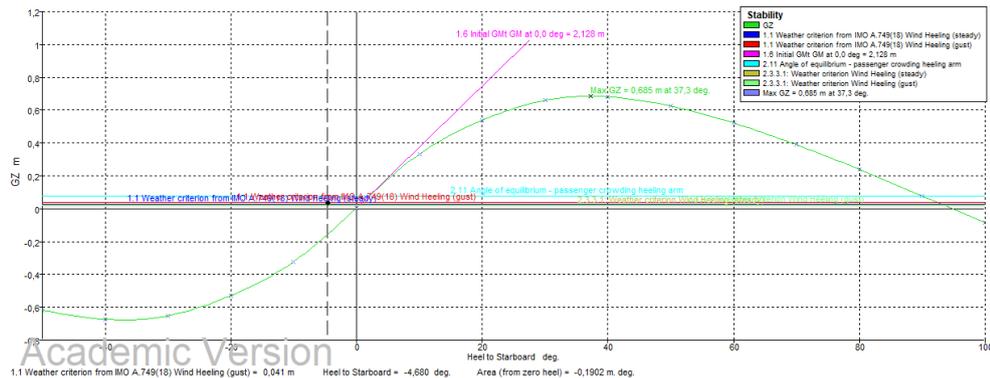


Figura 3.47 Curva de brazos adrizantes para la condición de carga 5

Fuente: Maxsurf Stability

Tabla 3.27 Criterios de la OMI para HSC- condición 5

<i>HSC 2000 Annex 8 Monohull. Intact</i>			
Criterio	Permitido	Actual	Estatus
Área 0-30	≥ 3,1510 m-deg	5,79	Cumple
Área 30-40	≥ 1,7190 m-deg	4,55	Cumple
GZ(θ=30)	≥ 0,2 m	0,46	Cumple
Angulo de Gz max	≥ 15°	37,3	Cumple
Gm0	≥ 0,15 m	2,01	Cumple
Criterio de viento	≤ 16°	6,7	Cumple
Angulo de equilibrio de pasajeros	≤ 10°	8,4	Cumple

Para las 5 condiciones de carga analizadas, como se muestran en las Tabla 3.19, Tabla 3.21, Tabla 3.23, Tabla 3.25 y Tabla 3.27, se aprecia que no existió inconveniente alguno al aplicar los criterios de la OMI, por lo que la embarcación del proyecto no tendrá problemas de estabilidad intacta, considerando la distribución de pesos establecida. Los resultados de las hidrostáticas en equilibrio para las diferentes condiciones están detallados en el APÉNDICE D.

3.7 Estimación de Costos

3.7.1 Costos de construcción

El presupuesto de la embarcación se la realizó de acuerdo con los diferentes grupos tecnológicos como se muestra en la Tabla 3.28, en el APÉNDICE E se presenta un desglose de lo que se incluyó en el cálculo de costos para cada grupo, dado que se trata de un presupuesto preliminar se trabajó con las sugerencias del

Ing. José María Lamchang quien posee experiencia en construcción de embarcaciones de recreo.

Tabla 3.28 Resumen del presupuesto de diseño y construcción

Subtotal G 000 - Ingeniería	\$12500,00
Subtotal G 100 - Estructural	\$117472,10
Subtotal G 200 - Propulsión	\$51773,00
Subtotal G 300 - Eléctrico	\$9676,08
Subtotal G 500 - Sistemas auxiliares	\$2909,70
Subtotal G 600 - Equipamiento	\$16599,92
Total, Grupo	\$210930,80

3.7.2 Gastos Administrativos

Tabla 3.29 Resumen preliminar de gastos administrativos

Gasto Administrativos									
	<i>Unidades</i>	<i>\$/unidad</i>	<i>Total(\$)</i>	<i>IESS trabajadores 11,45%</i>	<i>Decimo cuarto sueldo</i>	<i>Decimo tercero</i>	<i>Fondo de reserva 8,33%</i>	<i>Mensual</i>	<i>Anual</i>
<i>Gerente general</i>	1,00	1.500,00	1.500,00	165,00	33,33	125,00	124,95	1.948,28	23.379,40
<i>Jefe de operaciones</i>	1,00	1.000,00	1.000,00	110,00	33,33	83,33	83,30	1.309,97	15.719,60
<i>Seguros</i>	1,00	1.000,00	1.000,00					83,33	1.000,00
<i>Uniformes</i>		75,00	75,00					75,00	900,00
Total Gastos								3.416,58	40.999,00
<i>Guardias</i>	1,00	600,00	600,00	66,00	33,33	50,00	49,98	799,31	9.591,76
<i>Acoderamiento</i>	1,00	250,00	250,00					250,00	3.000,00
Total Gastos								1.049,31	12.591,76

Los gastos administrativos y operativos de la embarcación fueron definidos considerando el personal necesario para el manejo logístico y administrativo, debido a la escases de información bibliográfica en cuanto a evaluación económica de embarcaciones de recreo en Ecuador, se requirió considerar las sugerencias de profesionales que tienen experiencia en el ámbito constructivo y administrativo de embarcaciones de recreo como lo son el Ing. Jorge Faytong y el Ing. José María Lamchang, docentes de la ESPOL, cabe recalcar que las cantidades mencionadas son valores aproximados de acuerdo con las sugerencias recibidas.

3.7.3 Costos Operativos

Tabla 3.30 Resumen preliminar de costos de operación.

Fuente: Propia

Gastos operativos									
	unidades	\$/unidad	Total(\$)	IESS trabajadores 11,45 %	Decimo cuarto sueldo	Decimo tercero	Fondo de reserva 8,33%	Mensual	Anual
Capitan	1,00	1.000,00	1.000,00	111,50	33,33	83,33	83,30	1.311,47	15.737,60
Motorista	1,00	500,00	500,00	55,75	33,33	41,67	41,65	672,40	8.068,80
Total Gastos								1.983,87	23.806,40

Gastos de combustible									
	horas/viaje	Frecuencia Viajes/año	horas /año	Con. Combustible [LPH] x 2	Con. Combustible [GPH] x 2	\$/galon	\$/horas	Con. Combus. \$/mes	Con. Combus. \$/año
Consumo de combustible	5,00	552,00	2.760,00	73,20	19,37	1,76	34,01	7.821,17	93.854,02

Tabla 3.31 Resumen preliminar de costos de Mantenimiento

Fuente: Propia

Mantenimiento Motor fueraborda						
Mes	Horas	Tareas de mantenimiento	Cant.	Descripcion	\$/u.	Subtotal
0	100	Cambio de aceite del motor	5	Aceite Supra 4T API SL SAE 20W-50	40,00	200,00
		Cambio de filtro de aceite	1	Filtro Aceite	14,99	14,99
		Cambio de aceite de transmisión	2	Aceite Transmilube API GL-5 SAE90	30,00	60,00
		Cambio de empaques de transmisión	2	Empaque de transmisión	8,00	16,00
		Cambio de empaques de ánodos	3	Empaque de Ánodo de cabeza de fuerza	7,00	21,00
		Cambio de ánodos de cabeza de fuerza	3	Ánodo de bloque	9,90	29,70
		Cambio elemento filtro separador	1	Elemento filtro	41,93	41,93
		Hélice	1	Hélice de aluminio	300,00	300,00
Subtotal					Mensual	Anual
					683,62	8.203,44

2	300	Puesta punto bomba de refrigeración	1	Cartucho de inserción	36,76	36,76
			1	Anillo en O	9,00	9,00
			1	Anillo en O	8,00	8,00
			1	Impeler	34,12	34,12
			1	Cuña de Impeler	9,50	9,50
			1	Placa exterior cromada	48,74	48,74
			1	Empaque bomba de agua	3,34	3,34
			Subtotal			
					74,73	896,76

3	500	Cambio de bujías	4	Bujia	9,94	39,76
Subtotal					Mensual	Anual
					13,25	159,04

5	1000	Cambio de correa de tiempo	1	Correa de tiempos	86,02	86,02
Subtotal					Mensual	Anual
					14,34	206,45

	Mensual	Anual
Subtotal (\$)	785,94	9.465,69
FS	1,15	1,15
Total Costos (\$)	903,83	10.885,54
Total Costos x2 motores (\$)	1.807,66	21.771,08

	Mensual	Anual
Total, Costos Operativos (\$)	10.674,16	128.169,02

Para los costos de mantenimiento se consideró primordialmente que los motores fuera de borda de la embarcación son más susceptibles a alguna falla debido al continuo periodo de utilización, además, se considera un factor de seguridad del 15% de los costos totales para el resto de las instalaciones. El esquema de mantenimiento de los motores fuera de borda propuesto en la Tabla 3.31 tiene base en el estudio “PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA MOTORES FUERA DE BORDA YAMAHA CUATRO TIEMPOS DE PROPÓSITO COMERCIAL” [38] realizado por M. Torralvo, incluyendo las sugerencias propuestas por el Ing. José María Lamchang. El mantenimiento del motor se clasificó por periodos, cada 1, 2, 3 y 5 meses como se observa en la Tabla 3.31, así mismo, se describe las tareas de mantenimiento a realizar con su respectiva sugerencia de repuestos.

3.7.4 Evaluación económica

Esta sección constituye la parte final del proyecto en la cual se analizó la factibilidad que tiene el negocio de inversión, para ello se estableció el uso de dos parámetros muy usados en el área, que son el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno).

Previo a eso se estableció las rutas a la cual operara la embarcación, la cual se detalló en la sección 0, Tabla 3.11.

Los costos de transportación de pasajeros y carga entre los tramos seleccionados fueron determinados tomando como base las tarifas dadas en la Tabla 2.4 de la sección 2.1.2. Las consideraciones principales tomadas para estimar los ingresos de la embarcación fueron establecidas considerando las sugerencias del Ing. Jorge Faytong debido a la falta de información bibliográfica del tráfico de personas que utilizan el servicio fluvial.

Entre las principales consideraciones tomadas para la estimación de ingresos de la embarcación estuvieron:

- Se consideró que la embarcación estará en mantenimiento 3 semanas al año, esas semanas no se consideraron como capital de ingreso.
- Se consideró una capacidad de carga del 85, 70, 60 % de la carga total, considerando que no siempre la embarcación va a salir al 100%.

- Debido a que la embarcación tendrá diferentes puntos de atraque, el porcentaje de carga se definió de la siguiente manera.

Tabla 3.32 Porcentaje de embarque por circuito.

Fuente: Propia

	<i>Ida</i>	<i>Vuelta</i>
<i>Circuito de transferencia N°1</i>	<i>Porcentaje de entrada de carga.</i>	<i>Porcentaje de entrada de carga.</i>
<i>Francisco de Orellana -Pompeya</i>	50,00%	10%
<i>Pompeya - Providencia</i>	10%	10%
<i>Providencia- Pañacocha</i>	10%	10%
<i>Pañacocha -Chiroisla</i>	10%	10%
<i>Chiroisla - Tiputini</i>	10%	10%
<i>Tiputini - Nuevo Rocafuerte</i>	10%	50,0%

De la tabla 3.32, el porcentaje se refiere tanto a la carga en general como a la capacidad de pasajeros que tiene la embarcación por localización.

- Acorde a la INEC se estableció una tasa de inflación del 2.38% considerando el periodo promedio del 2010-2019 como se aprecia en la siguiente figura:

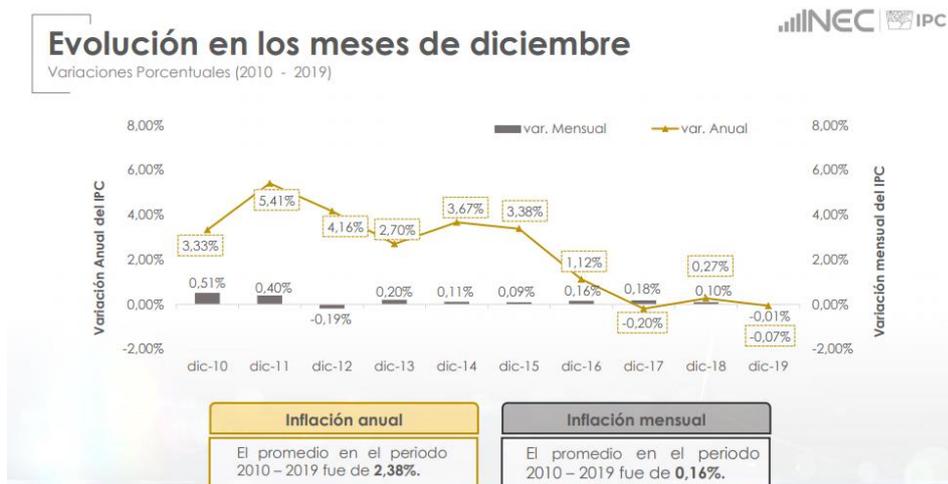


Figura 3.48 Variación de la inflación en el Ecuador

Fuente: INEC

- Otra de las consideraciones principales fue la adquisición del capital para la realización del proyecto, de manera de tratar de incurrir a la realidad se consideró que el financiamiento fue un 60% parte de los recursos propios y un 40% de crédito, dado

que el proyecto no es de gran dimensión la Corporación Financiera Nacional (CFN) establece acceso de financiamiento para empresas naturales o jurídicas que requieran recursos para cubrir necesidades de insumos, materia prima, mano de obra, gastos, etc. a corto plazo a través de un “Capital de trabajo” [39], estableciendo una tasa de interés efectiva anual con el valor del 14.93% para un periodo de 5 años en pagos mensuales acorde a la sección de “Apoyo Productivo y Financiero-Capital de Trabajo” [40].

En la Tabla 3.33 se muestra la tabla de amortizaciones para el crédito estipulado, en el

APÉNDICE E se muestra el ejemplo para los cálculos realizados en el año 1.

Tabla 3.33 Tabla de Amortizaciones.

Año	Intereses	Pago	Amortización	Saldo crédito
0				84373,08
1	12.596,90	25.128,10	12.531,20	71841,88
2	10.725,99	25.128,10	14.402,11	57439,78
3	8.575,76	25.128,10	16552,34	40887,44
4	6.104,49	25.128,10	19023,61	21863,83
5	3.264,27	25.128,10	21863,83	0,00

A continuación, se detalla el flujo de caja considerando los tres diferentes escenarios planteados:

3.7.4.1 Análisis para la condición de carga 1 (85%).

La condición de carga 1 se la considero como la más prometedora entre todas, en la cual la embarcación viajara casi llena, es decir al 85% de la capacidad de pasajeros y carga, a continuación, se muestra la capacidad operativa que se empleó para esta condición.

Tabla 3.34 Capacidad de carga para la condición 1 (85%).

100% capacidad	
N° Pasajeros	Carga[kg]
20	3370
85% capacidad	
N° Pasajeros	Carga[kg]
17	2864,5

Tabla 3.35 Capacidad de carga por transferencia en la condición 1

<i>Transferencias</i>	<i>N° pasajeros</i>	<i>Carga [kg]</i>
Francisco de Orellana -Pompeya	9	1432,25
Pompeya - Providencia	2	286,45
Providencia- Pañacocha	2	286,45
Pañacocha -Chiroisla	2	286,45
Chiroisla - Tiputini	1	286,45
Tiputini - Nuevo Rocafuerte	1	286,45

Para el flujo de caja se consideraron todos los ingresos y egresos mencionados desde la sección 3.7.1 hasta la 3.7.3, en el APÉNDICE E se puede apreciar un desglose del flujo de caja relacionado a la condición de carga 1, los cálculos fueron realizados mediante una hoja electrónica “Excel”.

Tabla 3.36 Resultados del análisis económico del escenario 1.

VAN	1.995,78
TIR	15,97%
TMAR	14%

Tabla 3.37 Capacidad de carga por transferencia en la condición 1

<i>Costos de pasaje y carga</i>				
<i>Transferencias</i>	<i>Tarifas referenciales</i>		<i>Tarifas del proyecto</i>	
	<i>\$/persona</i>	<i>\$/quintal</i>	<i>\$/persona</i>	<i>\$/quintal</i>
Francisco de Orellana Pompeya	2,4	0,70	3,79	1,10
Pompeya - Providencia	3,6	0,30	1,89	0,47
Providencia- Pañacocha	7,8	0,50	6,63	0,80
Pañacocha -Chiroisla	10,2	0,50	3,79	0,80
Chiroisla - Tiputini	13,8	0,50	5,68	0,80
Tiputini - Nuevo Rocafuerte	15	0,50	1,89	0,80

Considerando una capacidad de carga total de la embarcación al 85%, el proyecto será viable considerando un aumento de costo de pasaje y carga en un 58% con respecto a las tarifas referenciales empleadas en los diferentes puntos de transferencia a lo largo del río Napo como se muestra en la Tabla 3.37.

3.7.4.2 Análisis para la condición de carga 2 (70%).

La condición de carga 2 implica un valor promedio de la capacidad a la que podría viajar la embarcación, a continuación, se muestra la capacidad operativa que se empleó para esta condición.

Tabla 3.38 Capacidad de carga por transferencia en la condición 2.

	<i>N° pasajeros</i>	<i>Carga [kg]</i>
Carga (70%)	14	2.359
Transferencias		
Francisco de Orellana -Pompeya	7	1.179,50
Pompeya - Providencia	2	235,90
Providencia- Pañacocha	2	235,90
Pañacocha -Chiroisla	1	235,90
Chiroisla - Tiputini	1	235,90
Tiputini - Nuevo Rocafuerte	1	235,90

Tabla 3.39 Resultados del análisis económico del escenario 2.

VAN	\$ 2.000,23
TIR	15,98%
TMAR	14%

Tabla 3.40 Capacidad de carga por transferencia en la condición 1.

Costos de pasaje y carga				
Transferencias	Tarifas referenciales		Tarifas del proyecto	
	\$/persona	\$/quintal	\$/persona	\$/quintal
Francisco de Orellana -Pompeya	2,4	0,70	4,90	1,43
Pompeya - Providencia	3,6	0,30	2,45	0,61
Providencia- Pañacocha	7,8	0,50	8,57	1,02
Pañacocha -Chiroisla	10,2	0,50	4,90	1,02
Chiroisla - Tiputini	13,8	0,50	7,35	1,02
Tiputini - Nuevo Rocafuerte	15	0,50	2,45	1,02

Para la segunda condición de carga se obtuvo un aumento de los costos de pasaje en un 104% aproximadamente con respecto a las tarifas referenciales como se aprecia en la Tabla 3.40, con un costo total desde Francisco de Orellana a Nuevo Rocafuerte de \$ 30,62. Añadiendo como punto de comparación los costos dados por la empresa "Kamu

Kamu” en la Tabla 2.3 para embarcaciones de servicio rápido, se aprecia una semejanza en tarifas con un valor igual a \$ 30, evidenciando que los elevados costos en las embarcaciones rápidas se dan debido a un elevado consumo de combustible por la extensa distancia recorrida de 210 [Km] aproximadamente, pese a esto, la embarcación del proyecto posee ventaja considerando su capacidad de carga en comparación con las embarcaciones rápidas operativas en el río Napo que son netamente de pasajeros.

3.7.4.3 Análisis para la condición de carga 3 (60%).

La condición de carga 3 implica un valor mínimo de la capacidad a la que podría viajar la embarcación, a continuación, se muestra la capacidad operativa que se empleó para esta condición.

Tabla 3.41 Capacidad de carga por transferencia en la condición 3.

	<i>N° pasajeros</i>	<i>Carga [kg]</i>
Carga (60%)	12	2022,00
Transferencias		
Francisco de Orellana -Pompeya	6	1011,00
Pompeya - Providencia	2	202,20
Providencia- Pañacocha	1	202,20
Pañacocha -Chiroisla	1	202,20
Chiroisla - Tiputini	1	202,20
Tiputini - Nuevo Rocafuerte	1	202,20

Tabla 3.42 Resultados del análisis económico del escenario 3.

VAN	2.117,27
TIR	16,08%
TMAR	14%

Tabla 3.43 Capacidad de carga por transferencia en la condición 1.

Costos de pasaje y carga				
Transferencias	Tarifas referenciales		Tarifas del proyecto	
	\$/persona	\$/quintal	\$/persona	\$/quintal
Francisco de Orellana -Pompeya	2,4	0,70	5,60	1,63
Pompeya - Providencia	3,6	0,30	2,80	0,70
Providencia- Pañacocha	7,8	0,50	9,79	1,17
Pañacocha -Chiroisla	10,2	0,50	5,60	1,17

Costos de pasaje y carga				
Transferencias	Tarifas referenciales		Tarifas del proyecto	
	\$/persona	\$/quintal	\$/persona	\$/quintal
Chiroisla - Tiputini	13,8	0,50	8,39	1,17
Tiputini - Nuevo Rocafuerte	15	0,50	2,80	1,17

Para la condición de carga tres se obtuvo un aumento de los costos de pasaje en un 133 % aproximadamente con referente a las tarifas referenciales como se muestra en la Tabla 3.43.

Para aceptar una inversión el valor que se obtuvo del TIR debería ser mayor a la TMAR, obteniendo para el presente caso valores mayores que el 14% como se aprecia en la Tabla 3.36; Tabla 3.39; Tabla 3.42, lo que implica tener un rendimiento mayor al mínimo requerido en las diferentes condiciones de carga, dando como resultado un aumento en los costos de pasaje y carga. Pese a esto, como se mencionó en la sección 2.1.2, las tarifas referenciales tomadas como punto de comparación pertenecen a valores típicos de embarcaciones de velocidad promedio entre 12 a 16 [Knots].

Finalmente, de las tres condiciones mencionadas, se observa que va a existir un aumento considerable de los costos, siendo el más optimista la condición 1, por otra parte, considerando el costo promedio de una embarcación rápida “Deslizadores” que oscilan con velocidades entre 27-32 [Knots], desde Francisco de Orellana hasta Nuevo Rocafuerte, se obtuvieron valores próximos a los del costo promedio como se muestra en la tabla 3.44.

Tabla 3.44 Valores considerando precios de deslizadores.

Transferencia	Condición 1	Condición 2	Condición 3	Costo promedio
	\$/persona			
Francisco de Orellana - Pompeya	23,67	30,62	34,98	30

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se diseñó de manera preliminar una embarcación rápida fluvial empleando como metodología la espiral de diseño en la cual se determinaron las características principales de la embarcación, además, se realizó una estimación de la resistencia al avance considerando los efectos de limitación de aguas profundas, de la cual se pudo obtener las siguientes conclusiones y recomendaciones:

4.1 Conclusiones

Partiendo de revisión bibliográfica de la zona de estudio, se establecieron las características principales de la embarcación, considerando la hidrografía del río y la necesidad de las comunas ribereñas. Se diseñó una embarcación rápida fluvial que navegará con una velocidad promedio de 28.5 [Knots] desde la ciudad de Francisco de Orellana hasta la parroquia de Nuevo Rocafuerte con un recorrido aproximado de 210 [Km], la embarcación se utilizará para el transporte público con una capacidad de 20 personas y 3.37 [Ton] de carga en general.

De las rectas de regresión lineal obtenidas para el tramo ecuatoriano y el peruano, se observó pendientes diferentes, lo que evidencia una gran diferencia en las características principales de las embarcaciones entre el tramo peruano y ecuatoriano.

Se diseñó la embarcación cumpliendo la metodología propuesta de la espiral de diseño y empleando las características y relaciones adimensionales del modelo 4666 de la serie 62. El calado de diseño se definió con un valor de 0.5 [m], considerando la base de datos del INOCAR e INAMHI. A partir de este valor se determinaron las dimensiones principales de la embarcación considerando las relaciones adimensionales de las series sistemáticas 62, modelo 1174. Específicamente, se tiene una eslora de 11.84 [m], manga de 3.69 [m], puntal de 1.23 [m] y desplazamiento de 9.91 [Ton], asegurando la navegabilidad de la embarcación en las épocas lluviosas y de transición en el río Napo.

Se aproximó la resistencia al avance de la embarcación considerando comparaciones entre resultados experimentales del modelo 1174, con una

relación profundidad-calado de 3.61 con las formulaciones empíricas de Savitsky y Holtrop. De las comparaciones se pudo establecer lo siguiente:

- De la comparación entre las curvas de coeficiente de resistencia total vs número de Froude considerando los efectos de profundidad limitada tanto para datos experimentales como para las formulaciones empíricas, se obtuvo que para centros de gravedad longitudinal localizados más a proa, el emplear las ecuaciones empíricas no da una buena aproximación de los resultados, mientras que, cuando el centro de gravedad se desplaza hacia popa, el uso de las ecuaciones empíricas da una buena aproximación.
- A medida que el LCG está más popa, el ángulo de trimado aumenta, lo que le permite a la embarcación entrar a la zona de planeo a números de Froude mucho menores.
- Considerando las relaciones profundidad-calado altas al 38% L_p y 42% L_p , emplear las ecuaciones de Savitsky en el régimen de planeo da una buena aproximación en función de los resultados experimentales, a medida que la relación profundidad-calado disminuye, el montículo de la curva de coeficiente de resistencia total tiende a desplazarse hacia números de Froude volumétricos menores, lo que implica una mayor resistencia y por ende mayor efecto de la profundidad limitada.

Acorde a todas las comparaciones realizadas, se seleccionó la base de datos referencial a la relación calado-profundidad de 3.61 y una posición del LCG igual al 38% de la longitud de la quilla medido desde el espejo. Se extrapolo los resultados y se obtuvo el valor de la resistencia al avance suficiente para alcanzar la velocidad de diseño del proyecto para posteriormente seleccionar la potencia necesaria para el motor, se obtuvo dos motores fueraborda con una potencia de salida de 220.6 [KW] cada uno.

Se realizó el escantillonado de la embarcación cumpliendo con las normativas mínimas exigentes, para el presente caso, empleando la sociedad clasificadora ABS 2003 HSC. La distribución y centros de gravedad fueron verificados empleando un software comercial "Maxsurf", se verificaron los diferentes criterios

dados por la norma 2000 HSC CODE, Anexo 8, la cual se obtuvo como resultado un estatus positivo para las diferentes condiciones de carga propuesto, lo que implica que la embarcación es estable.

Se realizó un estudio de viabilidad de la embarcación considerando al VAN y el TIR como variables de análisis. Primero se realizó la estimación del costo del proyecto del barco para los diferentes grupos constructivos considerados en una construcción naval, además los gastos administrativos y operativos de la embarcación. Como resultado se obtuvo un flujo de caja con un valor del VAN positivo y un valor de TIR superior al valor del TMAR, garantizando la rentabilidad y viabilidad del proyecto, pese a esto existe un aumento de costos en los precios del pasaje considerando las tres condiciones de carga, con valores de \$23.67, \$30.62 y \$34.98 por persona, desde Francisco de Orellana a Nuevo Rocafuerte. Acorde a los estudios bibliográficos revisados esto causaría inconvenientes económicos a los comuneros locales de las hidrovías por el alto costo de transportación, pese a esto se debe tomar en consideración las ventajas de la embarcación permitiendo realizar el viaje en menor tiempo y abarcando una mayor cantidad de carga permitiendo un flujo comercial al por mayor. Se determinó que es necesario realizar un estudio de mercado que determine la aceptabilidad de precios de los comuneros para mantener la rentabilidad del proyecto, considerando las ventajas mencionadas de la embarcación propuesta.

4.2 Recomendaciones

Realizar una verificación y comparación de los resultados experimentales obtenido por I. Toro [11] empleando algún software CFD que permita una visualización del comportamiento hidrodinámico de la embarcación en aguas de profundidad limitada.

Considerando que a lo largo del río Napo existe variaciones en cuanto su ancho, se recomienda incluir en el análisis de los efectos por limitación de ancho del canal y verificar su importancia en los efectos de profundidad limitada.

Se recomienda realizar un estudio y análisis de posibles zonas donde sea factible la instalación de muelles de manera que influya benéficamente a la transportación fluvial, considerando las condiciones hidrográficas actualizadas del río Napo.

Dado que el análisis económico considero un porcentaje de flujo de personas que circulan a lo largo del río Napo, entre las diferentes comunas, se recomienda realizar un estudio investigativo sobre estos porcentajes mencionados, esto permitirá tener una mejor aproximación de los resultados y ver la verdadera influencia en el análisis de viabilidad del proyecto.

Realizar un estudio de mercado a lo largo de las diferentes comunas ribereñas en el río Napo tomando como fundamento la propuesta del presente proyecto, con la finalidad de verificar el grado de aceptación de los comuneros a un alza de precio considerando las ventajas que ofrece la embarcación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Toro, «Shallow Water Performance of Planing Boat,» AD-A016, Abril, 25, 1969.
- [2] D. Savitsky, *Hydrodynamic Design of Planing Hulls*, Stevens Institute of Technology, Enero, 1964.
- [3] J. H. a. C. Mennen, «AN APPROXIMATE POWER PREDICTION METHOD,» INTERNATIONAL SHIPBUILDING PROGRESS, vol. 31, nº 363.
- [4] D. S. y. P. Brown, *Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water*, Report 1859, Octubre, 04, 1976.
- [5] P. B. N. y. R. Sanchez, «Amazonia, hacia un desarrollo sustentable e integrado,» Corporación Andina de Fomento , nº 2, 2007.
- [6] C. C. y. M. Fatenbauer, «Desarrollo del transporte fluvial en el río Danubio y más allá,» Bolsa de Comercio de Rosario, nº 1534, Diciembre, 2018.
- [7] R. S. y. G. W. P. Bara, «Hacia un desarrollo sustentable e integrado de la Amazonía,» de División de recursos naturales e infraestructura, Santiago de Chile, junio, 2016.
- [8] C. T. Tatez, «Estudios y diseño para la implementación de la línea fluvial Francisco de Orellana (Coca)-Nuevo Rocafuerte. Etapa de Diseño,» Subsecretaria de Puertos y Transporte Marítimo y Fluvial, 2012.
- [9] «Puente colapsa por la crecida del río Ulba,» METRO, 20 junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.metroecuador.com.ec/ec/noticias/2019/06/20/puente-colapsa-la-crecida-río-oriente-ecuatoriano.html>.
- [10] «Colapsa puente en la vía Quito-Lago Agrio por erosión regresiva,» Ecuavisa, 23 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.ecuavisa.com/articulo/noticias/nacional/656656-colapsa-puente-quito-lago-agrio-erosion-regresiva>.

- [11] ECORAE, «Ampliación de la cobertura del sistema de transporte aéreo económico para los habitantes de la Amazonia,» Dirección de Planificación de Desarrollo Sustentable-Coordinación de Transporte Multimodal, 2014.
- [12] S. & A. y. C. Ingenieros, «Estudio Binacional de Navegabilidad del río Napo,» Banco Interamericano de Desarrollo, vol. IV, 2010.
- [13] F. G. y. J. Ordoñez, Estudio de la viabilidad técnica, económica y ambiental de lanchas solares para transporte en los ríos de la Amazonia Sur del Ecuador, Cuenca, Ecuador: Escuela de Ingeniería Eléctrica "Universidad de Cuenca", 2014.
- [14] «Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación (IACS),» Centro de Conocimiento de la Industria Marítima, [En línea]. Available: Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación (IACS) | Maritime Industry Knowledge Center (maritimeinfo.org).
- [15] F. Rivera, Reglamento a la Actividad Marítima, Ecuador: Decreto n° 168, 2015.
- [16] V. Lewis, Principles of Naval Architecture, New Jersey: Volumen 2, 1988.
- [17] M. Iacono, Hydrodynamics of planing Hull by CFD, Polytechnic and Basic Sciences School, Diciembre, 08, 2015.
- [18] I. P. Carvajal, Artist, Provincia de Sucumbios. [Art]. Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2016.
- [19] A. B. y. C. R. A. Ruiz, «Plan estratégico de desarrollo económico local de la provincia de Orellana,» Prodel, vol. Consultoría, n° LCG-GADPO-01-CFP, 2017.
- [20] S. & A. y. C. Ingenieros, «Estudio Binacional de Navegabilidad del río Napo,» Banco Interamericano de Desarrollo, vol. III, 2010.
- [21] R. Pombosa, «Informe Técnico de Comisión N° HYBAM 011-2009,» INAMHI, Julio, 21, 2009.
- [22] Milk, «CAD files,» Damen Stan Patrol 1605, 05 Enero 2017. [En línea]. Available: DAMEN Stan Patrol 1605 | 3D CAD Model Library | GrabCAD .

- [23] E. Clement, Resistance Test of a Systematic Series of Planing Hull Forms, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Noviembre, 14, 1963.
- [24] M. Morabito, Re-analysis of Series 50 Tests of V- Bottom Motor Boat, USA: Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, 2013.
- [25] A. B. o. S. (ABS), Rules for Building and High-Speed Craft, New-York, 2014.
- [26] W. Calderón, Materiales en Medios Marinos, Guayaquil: ESPOL, Enero, 2015.
- [27] RINA, Normas para la construcción y clasificación de embarcaciones de recreo, 1996.
- [28] D. B. a. D. Fox, «Small-Craft Power Prediction,» Marine Technology, vol. 13, nº 1, pp. 14-45, 1976.
- [29] «Orden FOM/1144,» Ministerio de Fomento, Abril, 28, 2003.
- [30] «BU-409: Charging Lithium-ion,» Battery University, 24 Abril 2018. [En línea]. Available: Charging Lithium-Ion Batteries – Battery University.
- [31] «PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM,» European Commission, [En línea]. Available: JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission (europa.eu).
- [32] IMO, International Code of Safety for High-Speed Craft, 2008 Edition, 2000.
- [33] D. V. y. V. B. Valarezo, «Estudio de factibilidad en el sistema de dirección por proyectos de inversión.,» vol. XXXVII, Diciembre, 03, 2016.
- [34] M. R. Mete, «Valor Actual Neto y Tasa de Retorno; su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión.,» Universidad la Salle, vol. 7, Marzo, 2014.
- [35] L. Rodriguez, Probabilidad y Estadística Básica para Ingenieros, Guayaquil: ESPOL, 2007.
- [36] INOCAR, Batimetria río Napo, Francisco Orellana-Nuevo Rocafuerte, 2009-2011.
- [37] ITTC, Preparation, Conduct and Analysis of Speed/Power Trials, "Procedures and Guidelines", Revisión 07, 2017.

- [38] M. Torralvo, Programa de mantenimiento para motores fuera de borda Yamaha cuatro tiempos de propósito comercial, Bolívar: Universidad Tecnológica de Bolívar, 2011.
- [39] C. S. y. M. N. V. Maldonado, «Sistema de gestión ambiental y social del proyecto de acceso a financiamiento productivo para micro, pequeñas y medianas empresas,» Corporación Financiera Nacional del Ecuador , Octubre, 02, 2020.
- [40] «Matriz de tasas de interés del 01 al 31 de marzo del 2021,» de Corporación Financiera Nacional, Ecuador, Resolución N° 133-2015 M, Octubre, 02, 2020.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Cantidad poblacional de las comunas en el río Napo y características principales de los modelos de las diferentes series sistemáticas.

Tabla A.1 Poblaciones ribereñas principales al río Napo en Ecuador y Perú

	Nombre	Población
Ecuador	Francisco de Orellana	26.274
	Limoncocha	3.819
	Pompeya	2.823
	Nuevo Rocafuerte	1.405
	Tiputini	1.298
	Pañacocha	1.207
	Santa Elena	728
	Capitán Rivanedeira	658
	Santa Maria de Huririma	614
	Yasuní	324
Perú	Mazan	3.626
	Santa Clotilde	2.685
	San Luis Tasha Curaray	1.109
	Francisco de Orellana	924
	Angoteros	759
	Cabo Pantoja	564
	Copal Urco	404
	Human Urco	351
	El salvador	334
	Puerto Elvira	320
	Tempestad	305
	Campo Serio	289
	Tutapisco	287
	Sumac Allpa	269
	Negro Urco	263
	Rumi Tuni	248
	Mangua	237
	Torres Causana	231
	San Felipe	230
	Libertad	224
Bagazán	223	

	Nombre	Población
	LLachapa	218
	Santa Teresa	205

Tabla A.2 Características de los modelos de la serie sistemática Southampton.

Modelos	A	B	C	D	C1	C2
ΔTested [kg]	12,2	17,9	24,8	32,83	24,8	24,8
L [mm]	2000	2000	2000	2000	2000	2000
B [mm]	276	335	399	453	399	399
Bmax [mm]	302	366	431	496	431	431
Bwl	278	338	397	458	397	397
Bchine [mm]	246	299	351	404	351	351
T [mm]	66,9	81,3	95,6	109,9	95,6	95,6
Δ [N]	119,2	175,8	243,4	322,0	243,2	243,2
L/Disp	8,70	7,64	6,86	6,25	6,86	6,86
L/B	7,3	6,0	5,0	4,4	5,0	5,0
Beta	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5
LCG [%] from transom	0,33	0,46	0,49	0,33	0,33	0,33
Δ [kg]	13,5	19,9	27,6	36,5	22,6	23,5
S [mm^2]	455520	553133	650746	748358	626758	630035
S [m^2]	0,46	0,55	0,65	0,75	0,63	0,63
L/T	29,9	24,6	20,9	18,2	20,9	20,9

Tabla A.3 Características principales de los modelos de la serie sistemática 62.

	Modelos				
	4665	4666	4667-1	4668	4669
L [ft]	4,202	6,3653	8,47	8,4375	8,416
L/B	2	3,06	4,09	5,5	7
T [ft]	0,25	0,30	0,35	0,28	0,28
L/T	16,81	21,52	24,26	30,04	30,15
Ap [sq ft]	6,469	9,715	12,8	9,518	7,479
Lp [ft]	3,912	5,987	8	8	8
Bpa [ft]	1,65	1,623	1,6	1,19	0,935
Bpx [ft]	1,956	1,956	1,956	1,455	1,143
Bpt [ft]	1,565	1,386	1,25	0,934	0,734
Lp/BPA	2,37	3,69	5,00	6,72	8,56
Lp/Bpx	2,00	3,06	4,09	5,50	7,00
Bpx/Bpa	1,18	1,21	1,22	1,22	1,22

	Modelos				
	4665	4666	4667-1	4668	4669
Bpt/Bpx	0,80	0,71	0,64	0,64	0,64
Xp [ft]	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49
β, deg	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
βT, deg	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
LCG/L_p	0,41	0,42	0,43	0,43	0,43

Table 3: Principal Characteristics of Specific Test Models

Model:	2727	2728	2729	2730	2731	2732	2733	2734	2735	2736
$\frac{L_p}{\sqrt{1/3}}$	8.41-8.94	8.41-8.94	8.41-8.94	8.41-8.94	8.41-8.94	6.68-7.09	6.68-7.09	6.68-7.09	6.68-7.09	6.68-7.09
L_p/B_{PX}	8.51	6.95	6.02	5.13	4.40	6.02	4.92	4.26	3.63	3.11
B_{PX}/T	4	6	8	11	15	4	6	8	11	15
$\frac{A_p}{\sqrt{2/3}}$	7.0-7.9	8.5-9.6	9.8-11.1	11.5-13.0	13.5-15.1	6.2-7.0	7.6-8.6	8.8-9.9	10.3-11.6	12.0-13.5
C_Δ	0.86-1.03	0.47-0.56	0.30-0.36	0.19-0.23	0.12-0.14	0.61-0.73	0.33-0.40	0.22-0.26	0.13-0.16	0.084-0.10
β_5	20	13	10	7.1	5.2	20	13	10	7.1	5.2
β_{10}	2.0	1.4	1.0	0.75	0.55	2.0	1.4	1.0	0.75	0.55
$\frac{1}{2}\alpha_E$	11	14	16	19	21	16	19	22	26	29
τ_K	-2.0	-1.6	-1.4	-1.2	-1.0	-2.8	-2.3	-2.0	-1.7	-1.4
$\tau_{0.25}$	-0.59	-0.48	-0.42	-0.35	-0.30	-0.83	-0.68	-0.59	-0.50	-0.43
τ_c	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04

Table 3: (continued) Principal Characteristics of Specific Test Models

Model:	2737	2738	2739	2740	2741	2742	2743	2744	2745	2746
$\frac{L_p}{\sqrt{1/3}}$	5.83-6.20	5.83-6.20	5.83-6.20	5.83-6.20	5.83-6.20	5.30-5.63	5.30-5.63	5.30-5.63	5.30-5.63	5.30-5.63
L_p/B_{PX}	4.92	4.01	3.48	2.96	2.54	4.26	3.48	3.01	2.57	2.20
B_{PX}/T	4	6	8	11	15	4	6	8	11	15
$\frac{A_p}{\sqrt{2/3}}$	5.8-6.5	7.1-8.0	8.2-9.2	9.6-10.8	11.2-12.7	5.5-6.2	6.8-7.6	7.8-8.8	9.1-10.3	10.7-12.1
C_Δ	0.50-0.60	0.27-0.33	0.18-0.21	0.11-0.13	0.069-0.082	0.43-0.52	0.24-0.28	0.15-0.18	0.095-0.11	0.060-0.071
β_5	20	13	10	7.1	5.2	20	13	10	7.1	5.2
β_{10}	2.0	1.4	1.0	0.75	0.55	2.0	1.4	1.0	0.75	0.55
$\frac{1}{2}\alpha_E$	19	23	26	30	34	22	26	30	34	38
τ_K	-3.4	-2.8	-2.4	-2.0	-1.7	-3.9	-3.2	-2.8	-2.4	-2.0
$\tau_{0.25}$	-1.0	-0.83	-0.72	-0.61	-0.53	-1.2	-0.96	-0.83	-0.71	-0.61
τ_c	0.10	0.09	0.07	0.06	0.05	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06

Figura A.1 Características principales de los modelos de la serie sistemática 50.

APÉNDICE B

Batimetría del río Napo y modelos implementados en el proyecto

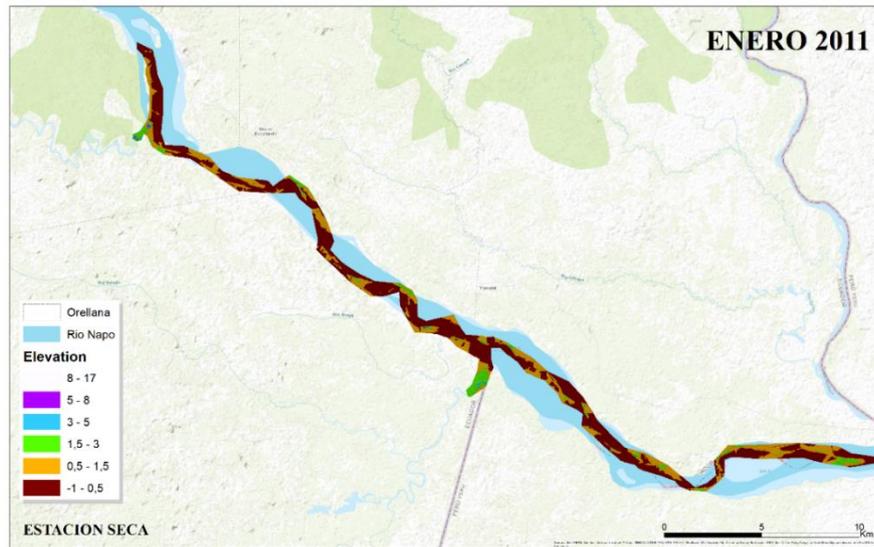


Figura B.1 Representación batimétrica en el río Napo del 16/01/2011

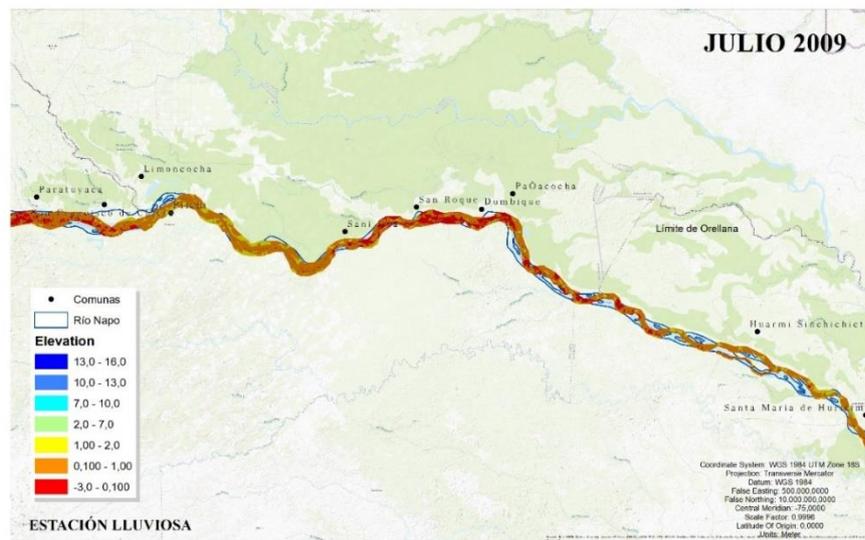


Figura B.2 Representación batimétrica en el río Napo del 23/07/2009

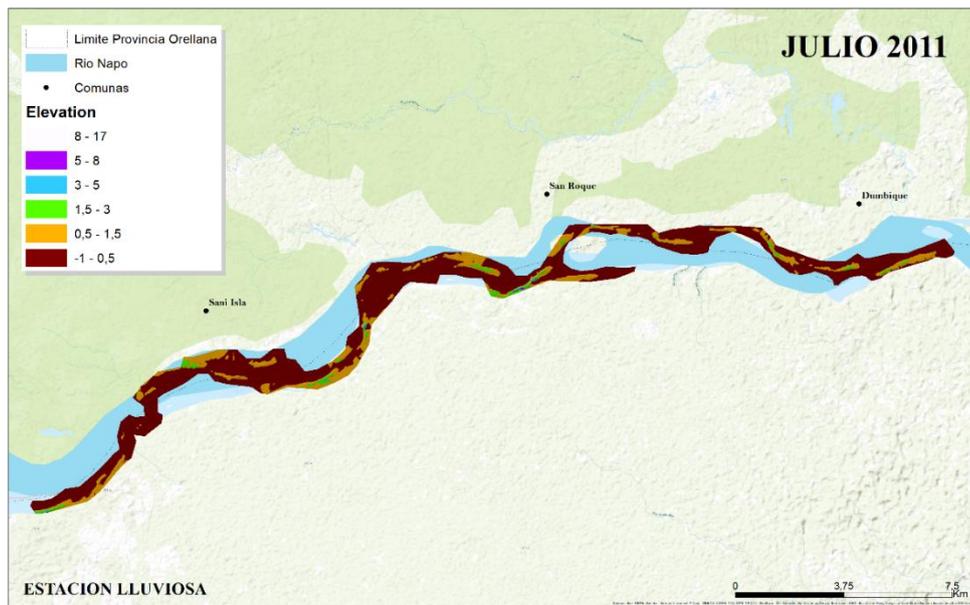


Figura B.3 Representación batimétrica en el río Napo del 11/07/2011

Serie 50

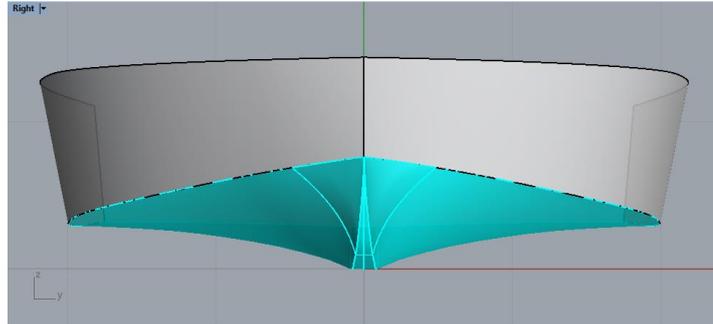


Figura B.4 Modelo 2744 (T:0.5 m)

Tabla B.1 Comparación modelo 1174 y modelo 2744

<i>Modelo 1174</i>		Serie 50 [modelo 2744]		Serie 50 [modelo 2744] T:0,5 [m]		% error
<i>L</i> [ft]	3,72					
Lp [ft]	3,50	Lp [m]	1,02	Lp [m]	12,04	
T [ft]	0,17	T [m]	0,04	T [m]	0,50	
Bpa [ft]	0,95	Bpa [m]	0,28	Bpa [m]	3,50	
Bpx [ft]	1,14	Bpx [m]	0,34	Bpx [m]	4,00	
Bpt [ft]	0,81	Bpt [ft]	0,28	Bpt [ft]	3,66	
Ap [ft ²]	3,32	Ap [m ²]		Ap [m ²]	42,14	
V [ft ³]	0,34	V [m ³]		V [m ³]	10,26	
Bpx/T	6,62	Bpx/T	8,00	Bpx/T	8,00	20,91%
Ap/(Lp,Bpx)	0,83	Ap/(Lp,Bpx)	0,84	Ap/(Lp,Bpx)	0,88	5,46%
Lp/Bpa	3,69	Lp/Bpa		Lp/Bpa	3,44	6,71%
Lp/Bpx	3,06	Lp/Bpx	3,01	Lp/Bpx	3,01	1,62%
Bpx/Bpa	1,21	Bpx/Bpa		Bpx/Bpa	1,14	5,55%
Bpt/Bpx	0,71	Bpt/Bpx	0,88	Bpt/Bpx	0,92	28,87%
Bpa/Bpx	0,83	Bpa/Bpx	0,84	Bpa/Bpx	0,88	5,46%
Lp/v^{1/3}	5,03	Lp/v^{1/3}	5,30 - 5,63	Lp/v^{1/3}	5,54	10,08%
Ap/v^{2/3}	6,87	Ap/v^{2/3}	7,8-8,8	Ap/v^{2/3}	8,93	29,90%
Centroide de Ap, % Lp delante del espejo	48,20	Centroide de Ap, % Lp delante del espejo	43,5	Centroide de Ap, % Lp delante del espejo	46,00	
L/T	21,52	L/T	24,08	L/T	24,08	11,89%

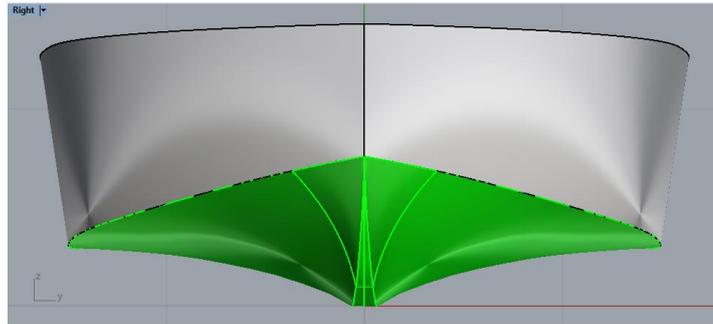


Figura B.5 Modelo 2743 (T:0.5 m)

Tabla B.2 Comparación modelo 1174 y modelo 2743

Modelo 1174		Serie 50 [modelo 2743]		Serie 50 [modelo 2743] T:0,5 [m]		% error
L [ft]	3,72					
Lp [ft]	3,50	Lp [m]	1,02	Lp [m]	10,44	
T [ft]	0,17	T [m]	0,05	T [m]	0,50	
Bpa [ft]	0,95	Bpa [m]	0,25	Bpa [m]	2,511	
Bpx [ft]	1,14	Bpx [m]	0,29	Bpx [m]	3,00	
Bpt [ft]	0,81	Bpt [ft]	0,25	Bpt [ft]	1,31	
Ap [ft²]	3,32	Ap [m²]		Ap [m²]	26,22	
V [ft³]	0,34	V [m³]		V [m³]	6,67	
Bpx/T	6,62	Bpx/T	6,00	Bpx/T	6,00	9,32%
Ap/(Lp,Bpx)	0,83	Ap/(Lp,Bpx)	0,84	Ap/(Lp,Bpx)	0,84	0,90%
Lp/Bpa	3,69	Lp/Bpa		Lp/Bpa	4,16	12,73%
Lp/Bpx	3,06	Lp/Bpx	3,48	Lp/Bpx	3,48	13,75%
Bpx/Bpa	1,21	Bpx/Bpa		Bpx/Bpa	1,21	0,00%
Bpt/Bpx	0,71	Bpt/Bpx	0,88	Bpt/Bpx	0,71	0,00%
Bpa/Bpx	0,83	Bpa/Bpx	0,84	Bpa/Bpx	0,84	0,90%
Lp/v^{1/3}	5,03	Lp/v^{1/3}	5,30-5,63	Lp/v^{1/3}	5,55	10,19%
Ap/v^{2/3}	6,87	Ap/v^{2/3}	6,8-7,6	Ap/v^{2/3}	7,40	7,69%
Centroide de Ap, % Lp delante del espejo	48,20	Centroide de Ap, % Lp delante del espejo	43,50	Centroide de Ap, % Lp delante del espejo	0,47	
	0,48					
L/T	21,52	L/T	20,88	L/T	20,88	2,98%

Serie Southampton

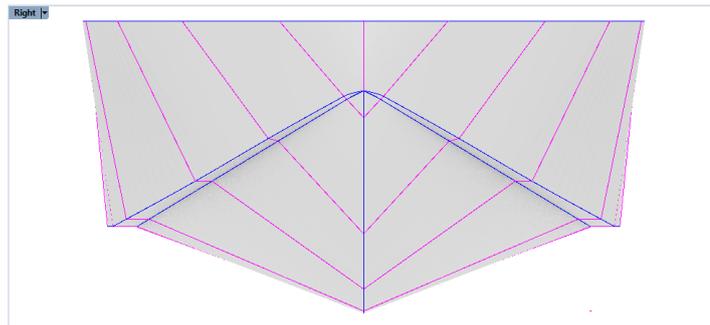


Figura B.6 Modelo C (T:0.5 m)

Tabla B.3 Comparación modelo 1174 y modelo C

Modelo 1174		Modelo C		Modelo C_T:05		% error
L [ft]	3,72	L [m]	2,00	L [m]	10,46	
Lp [ft]	3,50	Lp [m]	1,94	Lp [m]	10,15	
T [ft]	0,17	T [m]	0,10	T [m]	0,50	
Bpa [ft]	0,95	Bpa [m]	0,27	Bpa [m]	1,42	
Bpx [ft]	1,14	Bpx [m]	0,35	Bpx [m]	1,83	
Bpt [ft]	0,81	Bpt [ft]	0,35	Bpt [ft]	1,83	
Ap [ft²]	3,32	Ap [m²]	0,53	Ap [m²]	14,44	
V [ft³]	0,34	V [m³]	0,03	V [m³]	4,23	
Bpx/T	6,62	Bpx/T	3,66	Bpx/T	3,66	44,67%
Ap/(Lp,Bpx)	0,83	Ap/(Lp,Bpx)	0,78	Ap/(Lp,Bpx)	0,78	6,29%
Lp/Bpa	3,69	Lp/Bpa	7,11	Lp/Bpa	7,13	93,34%
Lp/Bpx	3,06	Lp/Bpx	5,54	Lp/Bpx	5,54	81,17%
Bpx/Bpa	1,21	Bpx/Bpa	1,28	Bpx/Bpa	1,29	6,30%
Bpt/Bpx	0,71	Bpt/Bpx	1,00	Bpt/Bpx	1,00	40,85%
Bpa/Bpx	0,83	Bpa/Bpx	0,78	Bpa/Bpx	0,78	6,29%
Lp/v^{1/3}	5,03	Lp/v^{1/3}	6,11	Lp/v^{1/3}	6,27	24,65%
Ap/v^{2/3}	6,87	Ap/v^{2/3}	5,25	Ap/v^{2/3}	5,52	19,64%
Centroide de Ap, % Lp delante del espejo	48,20	Centroide de Ap, % Lp delante del espejo	49,00	Centroide de Ap, % Lp delante del espejo	41,30	
L/T	21,52	L/T	20,92	L/T	20,92	2,79%

APÉNDICE C

Comportamiento del ángulo de trimado a diferentes LCG

MODEL NO. : 1174 L.C.G. LOCATION : 106 TEMPERATURE : 68.0°F SHIP DISPLACEMENT : 100,000 lb
 TEST NO. : 10-75 MODEL LENGTH : 3.50 ft ρ : 1.9364 ROUGHNESS ALLOWANCE : 0.0000
 DATE : 16 Feb. 1969 SCALE RATIO : 16.84 μ : 0.10808x10⁻⁴ FRICTION LINE : A.T.T.C.
WATER DEPTH = 7.5 in.

V_M	R_{TM}	α	CG RISE	S	L_{av}	V_K	$\frac{V}{\sqrt{L}}$	F_n	R_{TS}	C_T	C_R	$\frac{R_{TS}}{\Delta}$	$\frac{R_R}{\Delta}$	P_E	$\frac{S}{V^{\frac{1}{3}}}$	$\frac{RISE}{\nabla^{\frac{1}{3}}}$	$\frac{L}{D}$	F_{∇}	F_{nh}
fps	lb	degree	inch	ft ²	ft				lb	x10 ⁻¹	x10 ⁻¹			hp					
3.00	.436	1.28	-.22	3.1	3.25	7.29	0.945	0.282	1840.3	0.158	0.113	0.018	0.015	41.2	6.63	-0.027	54.34	0.637	.660
3.50	.872	1.33	-.45	3.30	3.37	8.50	1.107	0.329	3872.0	0.222	0.179	0.039	0.035	101.1	6.95	-0.054	25.83	0.743	.780
4.00	2.11	3.13	-.55	3.32	3.25	9.71	1.266	0.377	9833.3	0.410	0.367	0.098	0.093	293.4	6.99	-0.080	10.17	0.849	.891
4.50	2.429	4.73	-.25	3.22	3.07	10.93	1.424	0.424	11289.1	0.384	0.342	0.113	0.106	378.9	6.78	-0.030	8.86	0.955	1.003
5.00	2.242	4.43	+.20	3.10	2.95	12.14	1.582	0.471	10263.1	0.298	0.257	0.113	0.095	38.4	6.53	0.024	9.74	1.062	1.114
5.50	2.149	4.23	+.22	2.97	2.86	13.36	1.740	0.518	9701.3	0.247	0.206	0.097	0.088	398.0	6.26	0.027	10.31	1.168	1.226
6.00	2.167	4.32	+.20	2.90	2.77	14.57	1.898	0.565	9675.3	0.214	0.174	0.097	0.086	433.0	6.11	0.024	10.34	1.274	1.337
6.50	2.194	4.48	+.21	2.81	2.68	15.79	2.057	0.612	9677.1	0.190	0.150	0.097	0.085	469.2	5.92	0.025	10.33	1.380	1.448
7.00	2.278	4.63	+.27	2.73	2.58	17.00	2.215	0.660	9960.2	0.175	0.135	0.100	0.086	520.1	5.75	0.033	10.04	1.486	1.560
7.50	2.331	4.93	+.32	2.64	2.51	18.22	2.373	0.706	10098.8	0.162	0.122	0.101	0.086	565.0	5.56	0.039	9.90	1.592	1.671
8.00	2.375	5.23	+.38	2.51	2.44	19.43	2.532	0.754	10217.1	0.152	0.113	0.102	0.087	609.7	5.29	0.046	9.79	1.699	1.783
8.50	2.400	5.43	+.45	2.41	2.36	20.65	2.690	0.801	10228.7	0.142	0.103	0.102	0.085	648.6	5.08	0.054	9.78	1.805	1.894
9.00	2.435	5.63	+.50	2.31	2.27	21.86	2.848	0.849	10291.7	0.134	9.529	0.103	0.085	690.9	4.87	0.060	9.72	1.911	2.006
9.50	2.461	5.83	+.53	2.23	2.22	23.08	3.006	0.895	10306.8	0.126	8.740	0.103	0.084	730.4	4.70	0.064	9.70	2.017	2.117
10.00	2.488	5.93	+.57	2.15	2.16	24.29	3.165	0.942	10326.6	0.119	8.076	0.103	0.083	770.3	4.53	0.065	9.68	2.123	2.229
11.00	2.603	5.83	+.65	2.02	2.07	26.72	3.481	1.036	10661.0	0.110	7.164	0.107	0.083	874.8	4.25	0.072	9.38	2.336	2.452
12.00	2.702	5.53	+.72	1.94	2.00	29.15	3.797	1.130	10873.4	9.99	6.190	0.109	0.082	973.3	4.09	0.087	9.20	2.548	2.675
13.00	2.794	5.13	+.82	1.88	1.93	31.58	4.114	1.225	11024.3	9.083	5.314	0.110	0.080	1069.1	3.96	0.099	9.07	2.761	2.897
14.00	2.878	4.63	+.87	1.83	1.88	34.01	4.431	1.319	10958.4	7.858	4.121	0.110	0.074	1144.4	4.06	0.105	9.13	2.973	3.120
15.00	2.961	4.23	+.95	1.80	1.86	36.44	4.747	1.413	11186.6	7.551	3.854	0.112	0.074	1251.7	3.79	0.115	8.94	3.185	3.343
16.00	3.063	3.83	+1.00	1.77	1.82	38.87	5.064	1.507	11310.8	6.954	3.285	0.113	0.071	1350.0	3.74	0.121	8.84	3.398	3.566

Figura C.1 Base de datos empleada para la estimación de la resistencia al avance de la embarcación

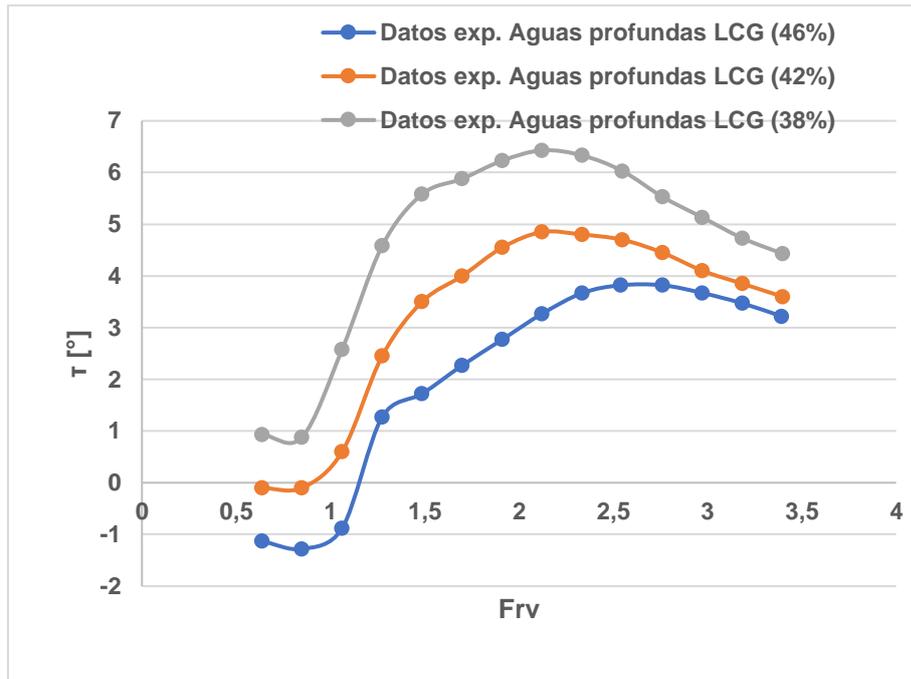


Figura C.2 Variación del ángulo de trimado en aguas profundas a las diferentes posiciones de LCG

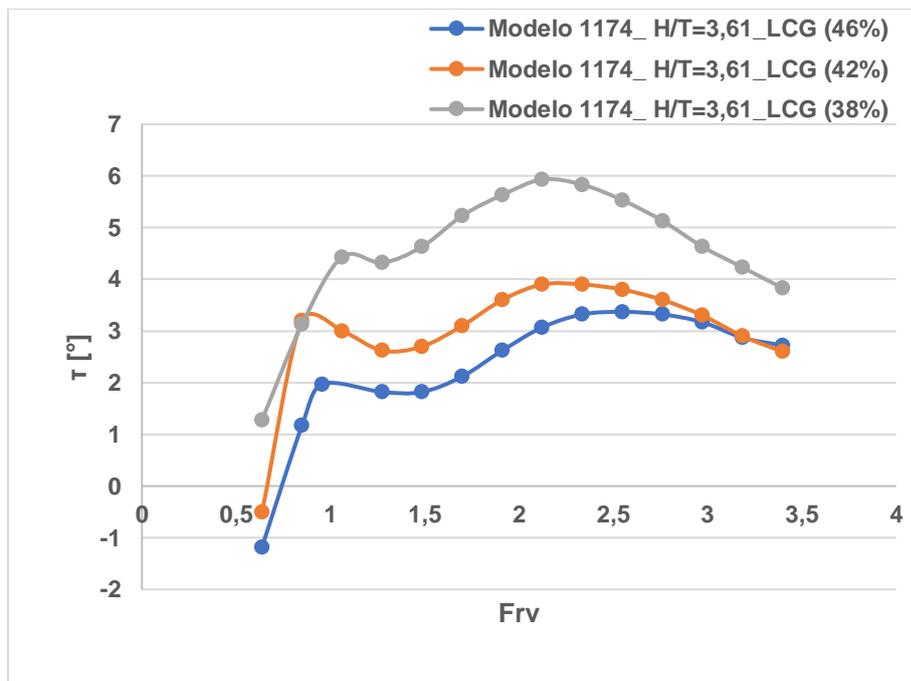


Figura C.3 Variación del ángulo de trimado a una relación profundidad-calado de 3.61 a las diferentes posiciones de LCG

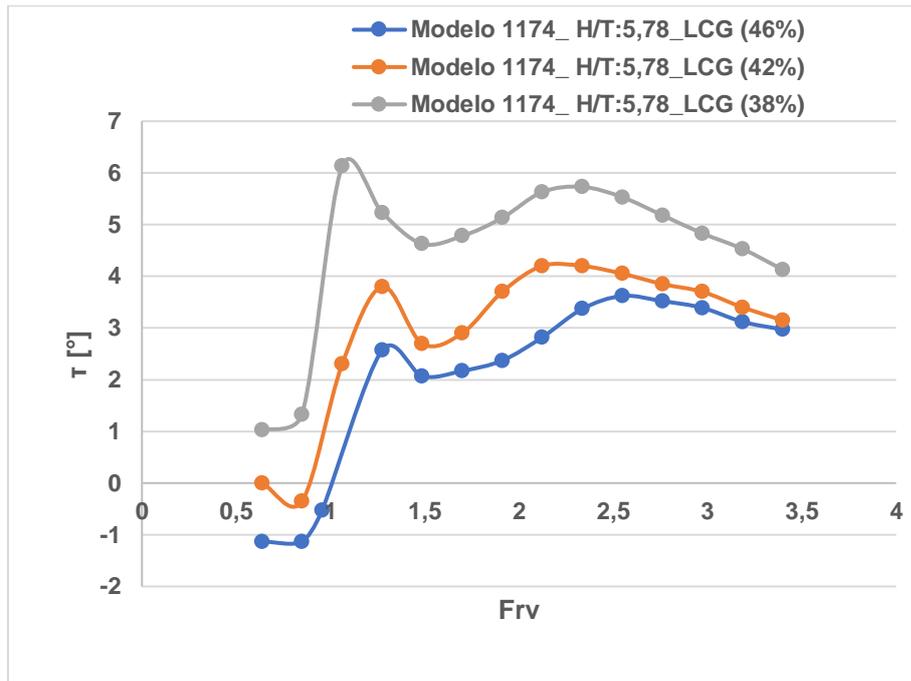


Figura C.4 Variación del ángulo de trimado a una relación profundidad-calado de 5.78 a las diferentes posiciones de LCG

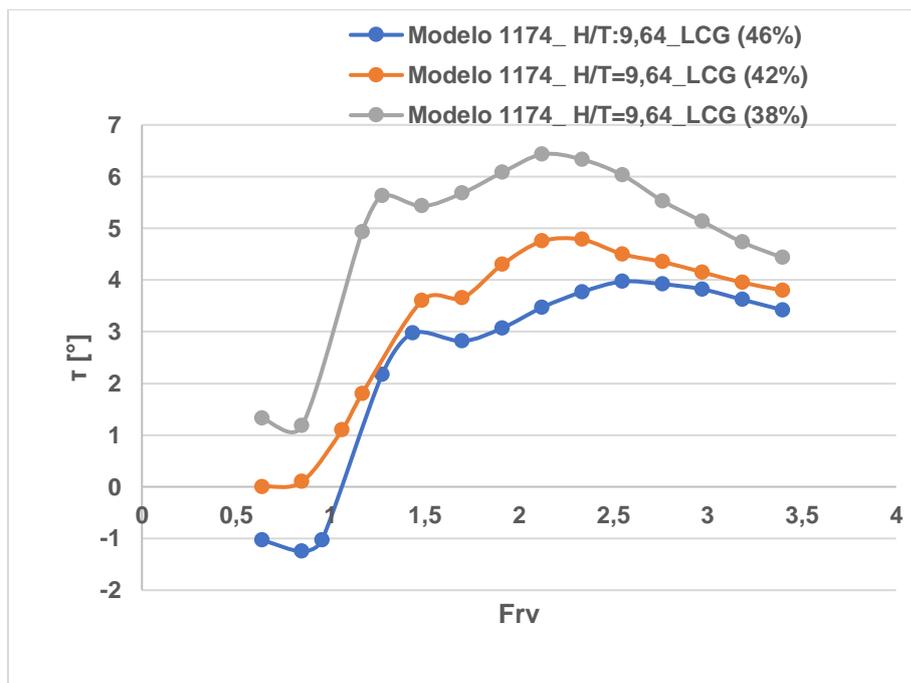


Figura C.5 Variación del ángulo de trimado a una relación profundidad-calado de 9.64 a las diferentes posiciones de LCG

APÉNDICE D

Características hidrostáticas en condición de equilibrio

Tabla D.1 Hidrostáticas en Equilibrio

"condición 1"

<i>Salida de Puerto</i>	
<i>Draft Amidships m</i>	0,491
<i>Displacement t</i>	9,913
<i>Draft at FP m</i>	0,387
<i>Draft at AP m</i>	0,595
<i>Draft at LCF m</i>	0,5
<i>Trim (+ve by stern) m</i>	0,208
<i>WL Length m</i>	11,446
<i>Beam max extents on WL m</i>	3,495
<i>Wetted Area m²</i>	34,982
<i>Waterpl. Area m²</i>	31,216
<i>Prismatic coeff. (Cp)</i>	0,745
<i>Block coeff. (Cb)</i>	0,408
<i>Max Sect. area coeff. (Cm)</i>	0,727
<i>Waterpl. area coeff. (Cwp)</i>	0,78
<i>LCB from zero pt. (+ve fwd) m</i>	4,551
<i>LCF from zero pt. (+ve fwd) m</i>	5,243
<i>KB m</i>	0,328
<i>KG fluid m</i>	0,664
<i>BMt m</i>	2,463
<i>BML m</i>	26,7
<i>GMt corrected m</i>	2,128
<i>GML m</i>	26,364
<i>KMt m</i>	2,791
<i>KML m</i>	27,024

Tabla D.2 Hidrostáticas en Equilibrio

"condición 2"

<i>Peso en rosca</i>	
<i>Draft Amidships m</i>	0,268
<i>Displacement t</i>	3,22
<i>Heel deg</i>	0
<i>Draft at FP m</i>	0,233
<i>Draft at AP m</i>	0,303
<i>Draft at LCF m</i>	0,274
<i>Trim (+ve by stern) m</i>	0,07
<i>WL Length m</i>	11,266
<i>Beam max extents on WL m</i>	2,657
<i>Wetted Area m²</i>	23,859
<i>Waterpl. Area m²</i>	22,827
<i>Prismatic coeff. (Cp)</i>	0,689
<i>Block coeff. (Cb)</i>	0,348
<i>Max Sect. area coeff. (Cm)</i>	0,558
<i>Waterpl. area coeff. (Cwp)</i>	0,763
<i>LCB from zero pt. (+ve fwd) m</i>	4,483
<i>LCF from zero pt. (+ve fwd) m</i>	4,691
<i>KB m</i>	0,184
<i>KG fluid m</i>	0,867
<i>BMt m</i>	3,218
<i>GMt corrected m</i>	2,535
<i>GML m</i>	58,788
<i>KMt m</i>	3,402
<i>KML m</i>	59,654

Tabla D.3 Hidrostáticas en Equilibrio

”condición 3”

Carga Media	
Draft Amidships m	0,407
Displacement t	7,201
Heel deg	-0,2
Draft at FP m	0,33
Draft at AP m	0,484
Draft at LCF m	0,416
Trim (+ve by stern) m	0,154
WL Length m	11,383
Beam max extents on WL m	3,434
Wetted Area m²	31,844
Waterpl. Area m²	29,422
Prismatic coeff. (Cp)	0,726
Block coeff. (Cb)	0,373
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,678
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,753
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	4,484
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	5,072
KB m	0,277
KG fluid m	0,759
BMt m	2,938
BML m	33,558
GMt corrected m	2,456
GML m	33,076
KMt m	3,215
KML m	33,832
Immersion (TPc) tonne/cm	0,302
MTc tonne.m	0,207

Tabla D.4 Hidrostáticas en Equilibrio

”condición 4”

Llegada a puerto	
Draft Amidships m	0,478
Displacement t	9,319
Heel deg	-0,2
Draft at FP m	0,432
Draft at AP m	0,523
Draft at LCF m	0,481
Trim (+ve by stern) m	0,091
WL Length m	11,465
Beam max extents on WL m	3,493
Wetted Area m²	34,855
Waterpl. Area m²	31,499
Prismatic coeff. (Cp)	0,792
Block coeff. (Cb)	0,435
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,644
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,787
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	4,795
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	5,298
KB m	0,314
KG fluid m	0,701
BMt m	2,656
BML m	29,024
GMt corrected m	2,269
GML m	28,637
KMt m	2,97
KML m	29,338
Immersion (TPc) tonne/cm	0,323
MTc tonne.m	0,232

Tabla D.5 Hidrostáticas en Equilibrio
"condición 5"

<i>Tripulación de costado</i>	
<i>Draft Amidships m</i>	0,491
<i>Displacement t</i>	9,913
<i>Heel deg</i>	-0,1
<i>Draft at FP m</i>	0,387
<i>Draft at AP m</i>	0,595
<i>Draft at LCF m</i>	0,5
<i>Trim (+ve by stern) m</i>	0,208
<i>WL Length m</i>	11,446
<i>Beam max extents on WL m</i>	3,495
<i>Wetted Area m²</i>	34,983
<i>Waterpl. Area m²</i>	31,217
<i>Prismatic coeff. (Cp)</i>	0,745
<i>Block coeff. (Cb)</i>	0,408
<i>Max Sect. area coeff. (Cm)</i>	0,727
<i>Waterpl. area coeff. (Cwp)</i>	0,78
<i>LCB from zero pt. (+ve fwd) m</i>	4,551
<i>LCF from zero pt. (+ve fwd) m</i>	5,243
<i>KB m</i>	0,328
<i>KG fluid m</i>	0,664
<i>BMt m</i>	2,464
<i>BML m</i>	26,7
<i>GMt corrected m</i>	2,128
<i>GML m</i>	26,365
<i>KMt m</i>	2,792
<i>KML m</i>	27,024
<i>Immersion (TPc) tonne/cm</i>	0,32
<i>MTc tonne.m</i>	0,227
<i>RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)</i> <i>tonne.m</i>	0,368
<i>Max deck inclination deg</i>	1,0425
<i>Trim angle (+ve by stern) deg</i>	1,0333

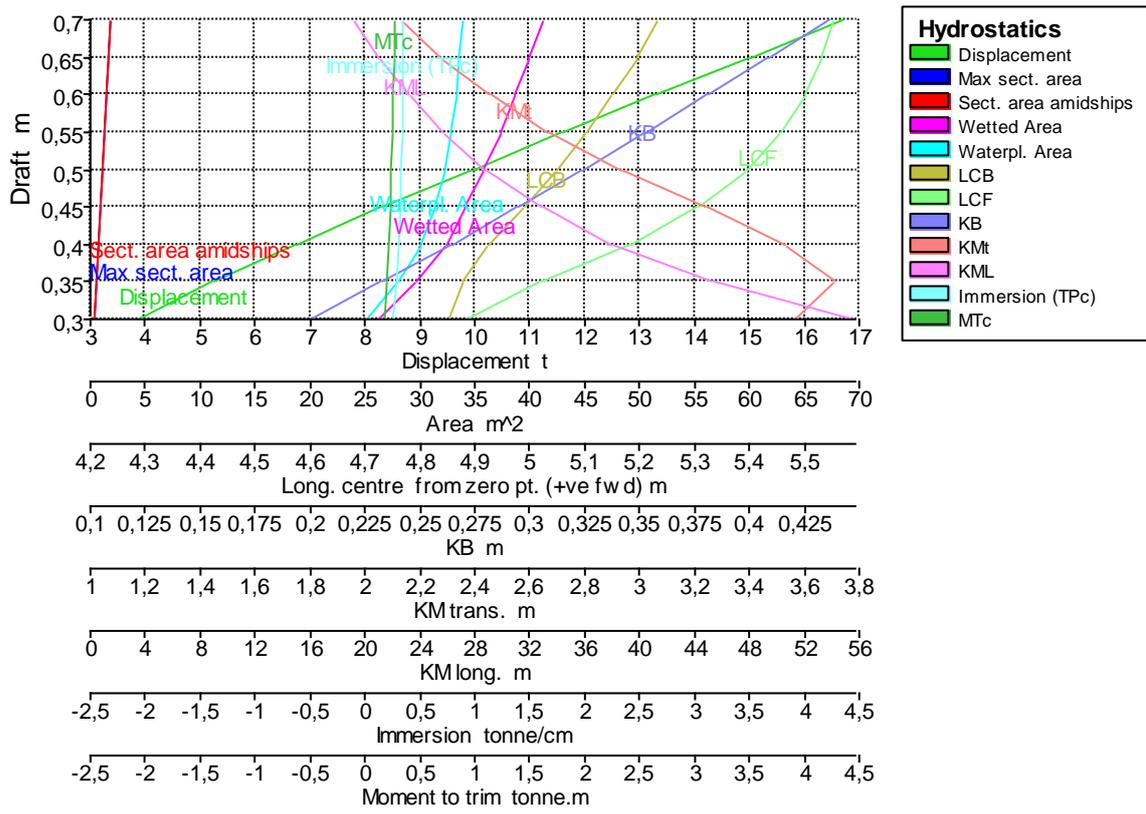


Figura D.1 Curvas hidrostáticas

Las curvas hidrostáticas permiten al operador determinar los diferentes parámetros en función del calado como se aprecia en la figura superior.

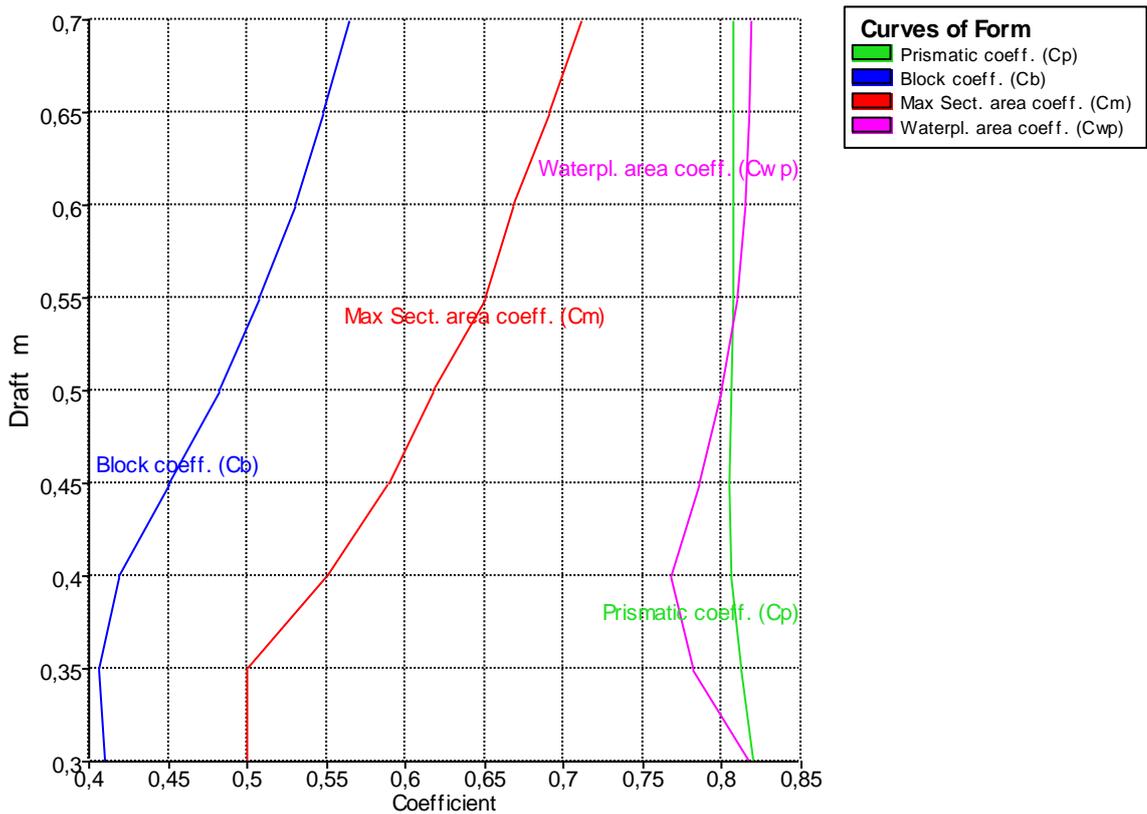


Figura D.2 Curvas de formas

La curva de formas permitió conocer cómo van variando los coeficientes adimensionales de la embarcación a medida que el calado varío.

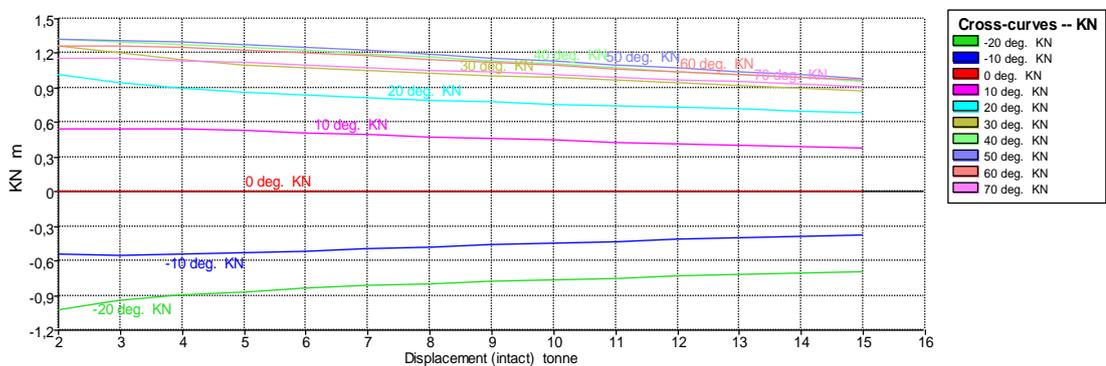


Figura D.3 Curvas cruzadas

Las curvas cruzadas nos dan una idea general de la estabilidad del barco, lo que nos permite obtener el valor del brazo adrizante de la embarcación a diferentes ángulos de inclinación para diferentes condiciones de desplazamiento.

APÉNDICE E

Valoración económica empleada al proyecto

Costos G100” Estructural”

INRIOCH S.A.

INGENIERIA Y REPRESENTACIONES INTERNACIONALES OCHOA S.A.

R.U.C. 0992702087001
 Dirección: Chimborazo 2703 y Venezuela
 Telf.: 04-6020146 - 04-2338740
 Cel.: 0999758530 - 0998325511
 E-mail: sochoa@inrioch.com / kochoa@inrioch.com
 inrioch@hotmail.com / ventas@inrioch.com

EXPAN FLEX
JUNTAS DE EXPANSIÓN

neotecha
MANGUERAS DETERGÓN

THORNDON
BOCINES

EPOCAST 36
EN POLIÉSTER ESTIRE
MARKE CHOCRING

Escanea este código QR
y obtén nuestro Catálogo

PRODUCTOS

- Juntas de expansión: Metálicas y Elastómeros / Mangueras Metálicas Inox.
- Ejes Aquamet • Cambias • Bocines • Mergollar • Anclas • Sello TG-100
- Repuestos para Tráiler • Soldadura MIG (AL, TIG (Inox) y Plata (15% y 45%))

MATERIALES

- Aluminio naval • Cuni 90/10
- Bronce naval • Acero Inoxidable 316L
- Magnolia • Platinas Bimetálicas

PROFORMA No. 5354

Guayaquil, 19 de Enero del 2021

Señor,
Ing. Santamaría
Ciudad. -

Ref.: Materiales

De mis consideraciones:

Por medio de la presente tengo a bien saludarle y a la vez detallarle, la oferta de la referencia:

Ítem	Cant.	DESCRIPCIÓN	P. Unitario	Subtotal
01	4	PLANCHA ALUMINIO NAVAL 5086 H116, 1.52m X 5.80m X 1/4"	\$ 876.99	\$ 3,507.96
02	4	PLANCHA ALUMINIO NAVAL 5086 H116, 1.52m X 5.80m X 3/16"	\$ 644.67	\$ 2,578.68
03	8	PLANCHA ALUMINIO NAVAL 5086 H116, 1.52m X 3.05m X 1/8"	\$ 365.86	\$ 2,926.88
04	8	PLANCHA CORRUGADA ALUMINIO 3003 H22, 4' X 8' X 3.2mm	\$ 111.90	\$ 895.20
05	8	PLATINA ALUMINIO NAVAL 5086 2" X 1/4" X 240"	\$ 106.03	\$ 848.24
06	10	PLATINA ALUMINIO NAVAL 5086 1 1/2" X 1/4" X 240"	\$ 85.58	\$ 855.80
07	20 lb.	SOLDADURA MIG 5356 AL 3/64" (Rollo de 1 lb)	\$ 9.71	\$ 194.20
08	1	ANGULO ALUMINIO NAVAL 6061 T6 1" X 1" X 3/16" X 7.62m	\$ 99.06	\$ 99.06
09	1	ANGULO ALUMINIO NAVAL 6061 T6 1 1/2" X 1 1/2" X 1/4" X 7.62m	\$ 149.81	\$ 149.81
10	1	ANGULO ALUMINIO NAVAL 6061 T6 2" X 2" X 1/4" X 7.62m	\$ 158.19	\$ 158.19
11	1	TEE ALUMINIO NAVAL 6061 1 1/2" X 3" X 3/16" X 7.62m	\$ 149.58	\$ 149.58
12	1	TEE ALUMINIO NAVAL 6061 2" X 4" X 1/4" X 7.62m	\$ 265.83	\$ 265.83
13	1	TEE ALUMINIO NAVAL 6061 2" X 6" X 1/4" X 7.62m	\$ 353.86	\$ 353.86
				\$ 12,983.29
				MAS IVA

FORMA DE PAGO: Contado.

TIEMPO DE ENTREGA: Inmediato hasta agotar stock, luego de recibir el pago.

Seguros de contar con su aceptación le presento mis agradecimientos.

Atentamente,

Ing. Rec. Sambel Ochoa V.
INRIOCH S.A.

DATOS BANCARIOS

INRIOCH S.A.

RUC: 0992702087001

CUENTA CORRIENTE

BANCO PICHINCHA	BANCO DEL PACIFICO
# 3491581504	# 7802153

www.inrioch.com

Figura E.1 Factura de cotización de materiales

Tabla E.1 Grupo 100

Descripción	Cant.	P. Unitario \$	Factor de Recargo	Subtotal \$
Plancha aluminio Naval 5086 H116				
Plancha 6,35 [mm]/ 1/4"	5	876,99	1,2	5.261,94
Plancha de 4,76 [mm]/ 3/16"	4	644,67	1,2	3.094,42
Plancha de 3,18 [mm]/ 1/8"	5	365,86	1,2	2.195,16
Paredes 3,18 [mm]/ 1/8"	3	365,86	1,2	1.317,09
Plancha corrugada aluminio 3003 H22				
Planchas 3,2 [mm]	8	111,9	1,2	1.074,24
Aluminio dulce o liso				
Plancha 1 [mm]	23	56	1,2	1.545,6
Refuerzos				
Descripción	Cant.	P. Unitario \$		Subtotal
Pl. 2 x 1/4 [in]	8	106,03	1,2	1.017,88
T 4 x 2 x 1/4 [in]	6	265,83	1,2	1.913,97
Pl. 1,5 x 1/4 [in]	10	85,58	1,2	1.026,96
T 3 x 1,5 x 3/16 [in]	4	149,58	1,2	717,98
L 1 x 1 x 3/16 [in]	4	99,06	1,2	475,48
T 3 x 1,5 x 3/16 [in]	1	149,58	1,2	179,49
L 1,5 x 1,5 x 1/4 [in]	5	149,81	1,2	898,86
L 1 x 1 x 3/16 [in]	6	99,06	1,2	713,23
L 1,5 x 1,5 x 1/4 [in]	9	149,81	1,2	1.617,94
T 3 x 1,5 x 3/16 [in]	8	149,58	1,2	1.435,96
			Subtotal	24.486,25
			Iva 12%	2.938,35
			Total \$	27.424,60

Descripción	Peso [Ton]	Peso [Kg]	Costo material	Costo Mano de Obra \$
Recubrimiento del casco	1,63	1.626,70		16.267,04
Refuerzos	0,61	613,97		6.139,68

Descripción	Peso [Ton]	Peso [Kg]	Costo material	Costo Mano de Obra \$
Refuerzos de paredes	0,24	244,71		2.447,11
Planchas de paredes internas	0,24	242,95		24.29,47
5% Soldadura	0,50	495,66	1.363,07	4.956,61
15% amarres	1,49	1.486,98	4.089,20	14.869,82
	Σ		5.452,27	47.109,74
	F.S		1,20	1,20
	Subtotal \$		6.542,72	56.531,69
	Total \$			63.074,41

Confección de cama	1.200,00
Varada y desvarada	2.400,00
Maniobra	875,00
Permanencia en Dique	22.500,00
Total \$	26.975,00

Tabla E.2 Costos G200

Material	Prec. Unitario	cant.	Subtotal
Motor fuera borda	17510	2	35.020,00
Sistema de gobierno	3500	1	3.500,00
Equipos electrónicos	3500	1	3.500,00
Instalación motor x2 \$/motor	1500	2	3.000,00
		Subtotal	45.020,00
		FS	1,15
		Total \$	51.773,00

Tabla E.3 Costos G300

Material	Prec. Unitario	cant.	Subtotal
Baterías e inductor	366,98	4	1.467,92
Paneles solares	121,4	2	242,80
Cableado +mano de obra y material			3.000,00
Radios	2	150	300,00
Costo montaje \$/HH	15	96	1.440,00
		Subtotal	6.450,72
		FS	1,50

	Total \$	9.676,08
--	-----------------	----------

Tabla E.4 Costos G500

Material	Prec. Unitario	cant.	Subtotal
Bombas de agua dulce	34,9	1	34,90
Bomba de achique	150	1	150,00
bomba de aguas residuales	34,9	1	34,90
Tuberías de acero inoxidable	1000	1	1000,00
HH Instalación de equipos	15	48	720,00
		Subtotal	1939,80
		FS	1,50
		Total \$	2.909,70

Tabla E.5 Costos G600

Material	Prec. Unitario	Cant.	Subtotal
Cafetera	25,00	1	25,00
Escalera	150,00	1	150,00
Tv	150,00	1	150,00
Mesón interior	200,00	1	200,00
Sillas	65,60	20	1312,00
Silla operador	321,00	1	321,00
retrete	150,00	1	150,00
Lavado	82,74	1	82,74
Extintor 21_B	30,00	3	90,00
Botiquín	300,00	1	300,00
Hacha contra incendios	33,03	1	33,03
Balde contra incendios	19,34	1	19,34
Bocina de niebla	20,00	1	20,00
Chalecos Salvavidas	15,27	22	335,94
Luces de navegación	2,00	4	8,00
Ancla	99,90	1	99,90
Cadena	123,18	1	123,18
Molinete	1896,48	1	1896,48
Plan de pintura	5000,00	1	5000,00
HH Instalación de equipos	15	50	750,00
		Subtotal	11066,61
		FS	1,5
		Total \$	16.599,92

Ejemplo de Cálculo de Amortizaciones

Para el cálculo de Amortizaciones se requirió el uso de los siguientes valores:

- Saldo de crédito (40%): \$ 84.373,08
- Tasa de interés del crédito: 14,93%

El "Pago" fue calculado empleando la función "PAGO(Tasa;nper;Va)" de la página electrónica "Excel" la cual devuelve el pago de un préstamo basado en pagos y tasa de interés constantes.

Donde:

Tasa: 14,93%

Nper: Número de periodo a realizar el pago; 5 años.

Va: Valor actual del crédito; \$ 84.373,08

El interés al año 1 se lo calcula como:

$$I = Tasa * Saldo_{año0}$$

$$I = (0.1493 * 84.373,08) = \$ 12.655,96$$

El pago, empleando la función ya mencionada da el siguiente valor:

$$Pago = 25.128,10$$

La amortización será:

$$Amortizacion = I - Pago$$

$$Amortizacion = 12.655,96 - 25.128,10 = 12531,20$$

El saldo será:

$$Saldo = Saldo_{año0} - Amortización$$

$$Saldo = 84.373,08 - 12531,20$$

$$Saldo = 71.841,88$$

El proceso se repite hasta el año 5 reemplazando el valor del saldo a los diferentes años.

Rubros	Años					
	0	1	2	3	4	5
INGRESOS (+)		233.867,52	239.433,57	245.132,09	250.966,23	256.939,23
VENTA DE ACTIVO						150.000,00
TOTAL DE INGRESOS		233.867,52	239.433,57	245.132,09	250.966,23	256.939,23
COSTOS OPERATIVOS						
<i>Personal a bordo</i>		23.806,40	24.372,99	24.953,07	25.546,95	26.154,97
<i>Mantenimiento</i>		21.771,08	22.289,23	22.819,72	23.362,83	23.918,86
<i>Combustible</i>		93.854,02	96.087,74	98.374,63	100.715,95	103.112,99
TOTAL COSTOS OPERATIVOS		139.431,50	142.749,97	146.147,42	149.625,73	153.186,82
COSTOS ADMINISTRATIVOS						
<i>Guardía</i>		9.591,76	9.820,04	10.053,76	10.293,04	10.538,01
<i>Jefe de operaciones</i>		15.719,60	16.093,73	16.476,76	16.868,90	17.270,38
<i>Acoderamiento</i>		3.000,00	3.071,40	3.144,50	3.219,34	3.295,96
<i>Gerente general</i>		23.379,40	23.935,83	24.505,50	25.088,73	25.685,85
<i>Seguros</i>		1.000,00	1.023,80	1.048,17	1.073,11	1.098,65
<i>Uniformes</i>		900,00	921,42	943,35	965,80	988,79
TOTAL COSTOS ADMINISTRATIVOS		53.590,76	54.866,22	56.172,04	57.508,93	58.877,64
DEPRECIACIÓN		21.093,27	21.093,27	21.093,27	21.093,27	21.093,27
VALOR EN LIBROS						105.466,35
Gastos financieros (-)		12.596,90	10.725,99	8.575,76	6.104,49	3.264,27
TOTAL EGRESOS (-)		226.712,43	229.435,46	231.988,49	234.332,42	236.422,01
UTILIDAD ANTES DE PARTICIPACIÓN DE TRABAJADORES		7.155,09	9.998,11	13.143,60	16.633,80	20.517,22
UTILIDAD A TRABAJADORES (-15%)		1.073,26	1.499,72	1.971,54	2.495,07	3.077,58
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO		6.081,82	8.498,39	11.172,06	14.138,73	17.439,64
IMPUESTO A LA RENTA (-25%)		1.520,46	2.124,60	2.793,01	3.534,68	4.359,91
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO		4.561,37	6.373,80	8.379,04	10.604,05	13.079,73
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO MAS DEPRECIACIÓN		25.654,64	27.467,07	29.472,32	31.697,32	34.173,00
<i>Valor en libros</i>						139.639,35
AMORTIZACIÓN		12.531,20	14.402,11	16.552,34	19.023,61	21.863,83
<i>Inversion Inicial propia</i>		-126.559,63				
<i>Prestamo bancario</i>		-84.373,08				
<i>Flujo Neto de Caja</i>		-42.186,54	13.123,44	13.064,96	12.919,97	12.309,17
VAN		1.995,78				
TIR		15,97%				

Figura E.2 Flujo de caja para la condición de carga al 85% de su totalidad

Rubros	Años					
	0	1	2	3	4	5
INGRESOS (+)		233.869,47	239.435,57	245.134,13	250.968,32	256.941,37
VENTA DE ACTIVO						150.000,00
TOTAL DE INGRESOS		233.869,47	239.435,57	245.134,13	250.968,32	256.941,37
COSTOS OPERATIVOS						
<i>Personal a bordo</i>		23.806,40	24.372,99	24.953,07	25.546,95	26.154,97
<i>Mantenimiento</i>		21.771,08	22.289,23	22.819,72	23.362,83	23.918,86
<i>Combustible</i>		93.854,02	96.087,74	98.374,63	100.715,95	103.112,99
TOTAL COSTOS OPERATIVOS		139.431,50	142.749,97	146.147,42	149.625,73	153.186,82
COSTOS ADMINISTRATIVOS						
<i>Guardia</i>		9.591,76	9.820,04	10.053,76	10.293,04	10.538,01
<i>Acoderamiento</i>		3.000,00	3.071,40	3.144,50	3.219,34	3.295,96
<i>Gerente general</i>		23.379,40	23.935,83	24.505,50	25.088,73	25.685,85
<i>Jefe de operaciones</i>		15.719,60	16.093,73	16.476,76	16.868,90	17.270,38
<i>Seguros</i>		1.000,00	1.023,80	1.048,17	1.073,11	1.098,65
<i>Uniformes</i>		900,00	921,42	943,35	965,80	988,79
TOTAL COSTOS ADMINISTRATIVOS		53.590,76	54.866,22	56.172,04	57.508,93	58.877,64
DEPRECIACIÓN		21.093,27	21.093,27	21.093,27	21.093,27	21.093,27
VALOR EN LIBROS						105.466,35
Gastos financieros (-)		12.596,90	10.725,99	8.575,76	6.104,49	3.264,27
TOTAL EGRESOS (-)		226.712,43	229.435,46	231.988,49	234.332,42	236.422,01
UTILIDAD ANTES DE PARTICIPACIÓN DE TRABAJADORES		7.157,04	10.000,11	13.145,65	16.635,90	20.519,37
UTILIDAD A TRABAJADORES (-15%)		1.073,56	1.500,02	1.971,85	2.495,38	3.077,90
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO		6.083,48	8.500,09	11.173,80	14.140,51	17.441,46
IMPUESTO A LA RENTA (-25%)		1.520,87	2.125,02	2.793,45	3.535,13	4.360,37
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO		4.562,61	6.375,07	8.380,35	10.605,39	13.081,10
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO MAS DEPRECIACIÓN		25.655,88	27.468,34	29.473,62	31.698,66	34.174,37
<i>Valor en libros</i>						139.640,72
AMORTIZACIÓN		12.531,20	14.402,11	16.552,34	19.023,61	21.863,83
<i>Inversion Inicial propia</i>		-126.559,63				
<i>Prestamo bancario</i>		-84.373,08				
<i>Flujo Neto de Caja</i>		-42.186,54	13.124,68	13.066,23	12.921,28	12.310,54
VAN		2.000,23				
TIR		15,98%				

Figura E.3 Flujo de caja para la condición de carga al 70% de su totalidad

Rubros	Años					
	0	1	2	3	4	5
INGRESOS (+)		239.674,29	245.378,54	251.218,55	257.197,55	263.318,85
VENTA DE ACTIVO						150.000,00
TOTAL DE INGRESOS		239.674,29	245.378,54	251.218,55	257.197,55	263.318,85
COSTOS OPERATIVOS						
<i>Personal a bordo</i>		23.806,40	24.372,99	24.953,07	25.546,95	26.154,97
<i>Mantenimiento</i>		21.771,08	22.289,23	22.819,72	23.362,83	23.918,86
<i>Combustible</i>		93.854,02	96.087,74	98.374,63	100.715,95	103.112,99
TOTAL COSTOS OPERATIVOS		139.431,50	142.749,97	146.147,42	149.625,73	153.186,82
COSTOS ADMINISTRATIVOS						
<i>Guardia</i>		9.591,76	9.820,04	10.053,76	10.293,04	10.538,01
<i>Acoderamiento</i>		3.000,00	3.071,40	3.144,50	3.219,34	3.295,96
<i>Gerente general</i>		23.379,40	23.935,83	24.505,50	25.088,73	25.685,85
<i>Jefe de operaciones</i>		15.719,60	16.093,73	16.476,76	16.868,90	17.270,38
<i>Seguros</i>		1.000,00	1.023,80	1.048,17	1.073,11	1.098,65
<i>Uniformes</i>		900,00	921,42	943,35	965,80	988,79
TOTAL COSTOS ADMINISTRATIVOS		53.590,76	54.866,22	56.172,04	57.508,93	58.877,64
DEPRECIACIÓN		10.546,64	10.546,64	10.546,64	10.546,64	10.546,64
VALOR EN LIBROS						52.733,18
<i>Gastos financieros (-)</i>		12.596,90	10.725,99	8.575,76	6.104,49	3.264,27
TOTAL EGRESOS (-)		216.165,80	218.888,82	221.441,85	223.785,79	225.875,37
UTILIDAD ANTES DE PARTICIPACIÓN DE TRABAJADORES		23.508,49	26.489,72	29.776,70	33.411,76	37.443,48
UTILIDAD A TRABAJADORES (-15%)		3.526,27	3.973,46	4.466,50	5.011,76	5.616,52
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO		19.982,22	22.516,26	25.310,19	28.400,00	31.826,96
IMPUESTO A LA RENTA (-25%)		4.995,55	5.629,07	6.327,55	7.100,00	7.956,74
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO		14.986,66	16.887,20	18.982,64	21.300,00	23.870,22
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO MAS DEPRECIACIÓN		25.533,30	27.433,83	29.529,28	31.846,63	34.416,86
<i>Valor en libros</i>						87.150,03
AMORTIZACIÓN		12.531,20	14.402,11	16.552,34	19.023,61	21.863,83
<i>Inversion Inicial propia</i>	-126.559,63					
<i>Prestamo bancario</i>	-84.373,08					
Flujo Neto de Caja	-42.186,54	13.002,10	13.031,72	12.976,94	12.823,03	12.553,02
VAN	2.117,27					
TIR	16,08%					

Figura E.4 Flujo de caja para la condición de carga al 60% de su totalidad