



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológica,
Oceánicas y Recursos Naturales**

“DISEÑO TÉCNICO - ECONÓMICO Y VALIDACIÓN ESTRUCTURAL
USANDO SAP2000 DE UN YATE PARA 12 PASAJEROS”

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERA NAVAL

ANGIE THALÍA OCHOA PIZARRO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a Dios por bendecirme y guiarme durante el camino que he recorrido para llegar hasta aquí, al Ing. Johnny Domínguez por su gran dedicación y ayuda para poder realizar este proyecto. A mis padres el Ing. Néstor Ochoa, MBA. y la Ing. Mariana Pizarro por estar siempre para mí, apoyándome y aconsejándome, a mis hermanos Claudio, Nidia, Tamara y a mis sobrinos Shanthal y Didier que en todo momento supieron sacarme sonrisas donde solo había preocupación. A mis amigos dentro y fuera de la ESPOL, por escucharme, por haberme ayudado en todas mis consultas, mis peticiones, etc., muchas gracias, hicieron de mi vida universitaria una de las mejores experiencias de mi vida.

.....
Angie Thalía Ochoa Pizarro

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a Dios, por llenarme de valor y de fuerza para poder cumplir con lo me propongo, a mis padres Néstor y Mariana por todo el esfuerzo que pusieron en mí, esta es una de mis mejores formas de reconocérselos y llenarlos de orgullo. Les dedico este proyecto también a mis hermanos, sobrinos y demás familiares y amigos, por siempre estar presentes en mi vida de una forma positiva y alentadora.

.....
Angie Thalía Ochoa Pizarro

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

Ing. Franklin Johnny Domínguez Ruíz

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; 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"

.....
Angie Thalía Ochoa Pizarro

RESUMEN

Debido al incremento en la demanda de cruceros en las Islas Galápagos, se consideró contribuir con el diseño de un yate de 12 pasajeros para realizar turismo en el archipiélago. Por lo que se ha realizado el diseño de la embarcación cumpliendo los requerimientos de las Reglas de las Sociedades Clasificadoras, convenios internacionales y reglamentos nacionales aplicables al diseño, la clasificación, la construcción y operación del yate.

Para realizar el diseño preliminar y definitivo del yate se ha seguido la metodología que consiste en: el dimensionamiento del buque y sus formas, la dotación mínima y finalmente la estimación de los pesos que va a tener la embarcación. Mediante un análisis regresional se ha seleccionado un prototipo para luego desarrollar el arreglo general. Adicionalmente, se ha realizado el análisis de arquitectura naval – estabilidad intacta, basándose en cuatro condiciones de carga aplicables para este tipo de buque.

El arreglo estructural del buque se ha realizado tomando como base el escantillonado de la embarcación. El análisis estructural se ha desarrollado utilizando el Método de Elementos Finitos aplicado al compartimento cinco. Mediante el uso del software se ha obtenido en la cuaderna como máxima deformación 3.6 mm, siendo el máximo permitido por la Regla Lloyd's Register de 4 mm. El esfuerzo máximo calculado en el longitudinal de costado ha sido de 145 N/mm², siendo el máximo permitido por la Regla Lloyd's Register de 152 N/mm².

Adicionalmente, se ha determinado la frecuencia del aspa de la hélice, obteniendo un valor de 20 Hz. Este valor se ha comparado con la frecuencia fundamental de la estructura cuyo valor ha resultado en 25.78 Hz.

Una vez completado el análisis estructural, se ha realizado el análisis económico del proyecto. Este análisis se ha orientado para poder determinar el costo total, el porcentaje de aportación por los inversionistas, el préstamo a solicitar a una entidad financiera.

Como resultado se ha determinado la Tasa de Descuento del proyecto de 18.68%; el Valor Actual Neto (VAN) de \$5,456,271.09 dólares americanos y la Tasa Interna de Retorno (TIR) de 21%.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1.....	3
1. CONSIDERACIONES PRELIMINARES.....	3
1.1 Alcance del Proyecto	3
1.1.1 Fase I: Diseño conceptual	3
1.1.2 Fase II: Diseño preliminar	3
1.1.3 Fase III: Diseño definitivo	4
1.2 Requerimientos Básicos para el Diseño	4
1.3 Restricciones del Diseño	7
CAPÍTULO 2.....	8
2. DISEÑO PRELIMINAR.....	8
2.1 Dimensionamiento y Formas	8
2.1.1 Base de datos y dimensionamiento	8
2.1.2 Determinación de la necesidad de bulbo	11
2.1.3 Determinación de condición del buque	12

2.2	Coeficientes de Formas	13
	2.2.1 Formas del yate	13
2.3	Dotación Mínima	19
2.4	Determinación de Pesos	20
	2.4.1 Peso en rosca	20
	2.4.2 Peso muerto	22
2.5	Selección del Prototipo	25
	2.5.1 Análisis dimensional	26
	2.5.2 Parámetros básicos	26
2.6	Arreglo General	28
	2.6.1 Escantillonado	28
	2.6.2 Mamparos transversales	29
	2.6.3 Habitabilidad	30
2.7	Arquitectura Naval	31
	2.7.1 Pesos	31
	2.7.2 Condiciones específicas y estabilidad	33
	2.7.3 Criterios	34
2.8	Resistencia Estructural	36
	2.8.1 Esfuerzo longitudinal	37
	2.8.2 Presiones de diseño	39
	2.8.3 Arreglo estructural	39
	2.8.4 Espesor de planchaje y refuerzos	40
	2.8.5 Escantillonado de refuerzos	40
2.9	Análisis de Resultados	43
	CAPÍTULO 3	45

3.	DISEÑO DEFINITIVO - OPTIMIZACIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL USANDO SAP2000	45
3.1	Alcance del diseño definitivo	45
3.2	Optimización de formas.....	46
3.3	Optimización de la estructura del yate	48
3.3.1	Función Objetivo.....	51
3.3.2	Descripción de un compartimento típico.....	52
3.3.3	Variables de diseño	53
3.3.4	Variables predefinidas.....	53
3.3.5	Restricciones	55
3.3.6	Frecuencia natural de refuerzos y planchas.....	56
3.3.7	Determinación de la geometría de los elementos estructurales	59
3.3.8	Función Objetivo de la optimización estructural.....	59
3.3.9	Aplicación del método de optimización – Algoritmo Genético	60
3.3.10	Resultados de la optimización.....	61
3.3.11	Determinación del Factor Lambda.....	64
3.4	Análisis Estructural y Validación del Compartimento Cinco	66
3.4.1	Resistencia longitudinal.....	66
3.4.2	Representación de la estructura global del compartimento	71
3.4.3	Comparación con deformaciones recomendadas por Lloyd’s Register	79
3.4.4	Comparación con esfuerzos permisibles recomendados por Lloyd’s Register.....	82
3.4.5	Frecuencia natural	84
3.5	Análisis de Resultados	86

CAPÍTULO 4	88
4. ANÁLISIS ECONÓMICO	88
4.1 Costo del Proyecto	88
4.1.1 Estimación de costos de Grupos Tecnológicos.....	89
4.2 Metodología de Operación del Yate.....	92
4.3 Presupuesto de Inversión	92
4.3.1 Activo Fijo	92
4.3.2 Activo Diferido	93
4.3.3 Capital de trabajo.....	94
4.3.4 Presupuesto de operación.....	94
4.4 Estructura de Financiamiento	100
4.5 Estado de Resultados.....	101
4.6 Flujo de Caja.....	101
4.7 Evaluación Financiera	101
4.7.1 Tasa de descuento.....	101
4.7.2 Valor actual neto (VAN)	102
4.7.3 Tasa interna de retorno (TIR)	103
4.8 Análisis de Punto de Equilibrio.....	105
4.9 Análisis de Sensibilidad	106
4.10 Análisis de Resultados	107
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
BIBLIOGRAFÍA.....	109
ANEXOS	112
ANEXO A	113
Condiciones Específicas	113
ANEXO B	114

Ecuaciones de Criterio Meteorológico	114
ANEXO C	118
Resultados de Criterios de Estabilidad y Meteorológico	118
ANEXO D	127
Presiones de Diseño	127
Frecuencia Natural	128
ANEXO E	130
Parámetros de prototipos de series VTT	130
Valores de KN de prototipos	132
ANEXO F	134
Resultados de Inercia de AutoCAD	134
ANEXO G	135
Costo de Construcción y de Mano de Obra	135
Costos de Grupos Tecnológicos	136
ANEXO H	137
Depreciaciones y Amortizaciones	137
ANEXO I	140
Estado de Resultado	140
ANEXO J	143
• Planos de Líneas de Formas del Yate Shanthal I	143
• Planos de Distribución del Yate Shanthal I	143
• Planos de Distribución Estructural del Yate Shanthal I	143
• Plano de Cuaderna típica del Yate Shanthal I	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rango de dimensiones principales del yate.	4
Tabla 2. Datos de consumo de agua por actividad de personas.	5
Tabla 3. Aire acondicionado por espacio habitable.	5
Tabla 4. Espacios para acomodación.	6
Tabla 5. Condiciones meteorológicas.	6
Tabla 6. Equipos de navegación.	6
Tabla 7. Base de datos de yates, I parte.	9
Tabla 8. Base de datos de yates, II parte.	9
Tabla 9. Rango y dimensiones del yate.	11
Tabla 10. Resultados para determinar la necesidad del bulbo.	12
Tabla 11. Dimensiones principales del yate.	13
Tabla 12. Coeficientes para determinar $C_{WL-l_{XX}}$ - [8].	15
Tabla 13. Coeficientes para determinar $C_{WL-l_{YY}}$ - [8].	15
Tabla 14. Coeficiente para tonelaje de registro bruto - [8].	17
Tabla 15. Coeficiente para tonelaje de registro neto - [8].	17
Tabla 16. Centros de gravedad.	18
Tabla 17. Características principales del yate.	18
Tabla 18. Dotación mínima para el personal de cubierta - [10].	19
Tabla 19. Dotación mínima para el personal de máquinas - [10].	19
Tabla 20. Peso de equipos.	22
Tabla 21. Resumen de pesos.	22
Tabla 22. Resumen de resultados de peso muerto.	24
Tabla 23. Resumen de desplazamiento de buque.	25
Tabla 24. Comparación de dimensiones principales.	25
Tabla 25. Resultado de análisis dimensional.	26
Tabla 26. Parámetros para determinación de bulbo.	26
Tabla 27. Dimensiones y parámetros principales del Yate Shanthal I.	27
Tabla 28. Número de mamparos según eslora - Lloyd's Register [12, p. 102].	29
Tabla 29. Requerimientos mínimos de habitabilidad - [6].	30

Tabla 30. Desagregación de pesos en Hydromax – Parte 1.	31
Tabla 31. Desagregación de pesos en Hydromax – Parte 2.	32
Tabla 32. Desagregación de pesos en Hydromax – Parte 3.	33
Tabla 33. Presiones de diseño del Yate Shanthal I.	39
Tabla 34. Espesores de planchaje y refuerzos.	40
Tabla 35. Refuerzos de casco del Yate Shanthal I.	42
Tabla 36. Matriz de prototipos.	47
Tabla 37. Rango y definición de parámetros – Series VTT.	48
Tabla 38. Número de refuerzos primarios en compartimentos.	54
Tabla 39. Dimensiones y presiones de diseño de compartimentos.	54
Tabla 40. Espaciamiento entre refuerzos primarios.	56
Tabla 41. Incremento a la frecuencia del aspa.	57
Tabla 42. Incremento en la frecuencia del aspa por secciones.	59
Tabla 43. Matriz de dimensiones y Costo total por prototipo.	60
Tabla 44. Comparación de características principales.	61
Tabla 45. Comparación de espesores de plancha, Diseño preliminar – Diseño final.	62
Tabla 46. Comparación de refuerzos entre Diseño preliminar y Diseño final.	63
Tabla 47. Comparación de puntales entre Diseño preliminar y diseño final.	64
Tabla 48. Comparación entre la Regla y el cálculo.	68
Tabla 49. Momento flector – análisis de prototipo optimizado.	68
Tabla 50. Datos usados para el cálculo de la fuerza cortante.	70
Tabla 51. Características principales del Yate Shanthal I.	72
Tabla 52. Dimensiones principales del bloque 5.	72
Tabla 53. Características principales del bloque 5.	76
Tabla 54. Espesores, cargas y presiones de diseño.	77
Tabla 55. Límite de deformación de la plancha – Lloyd’s Register.	79
Tabla 56. Deflexión máxima de las planchas del Yate Shanthal I.	80
Tabla 57. Deflexión máxima de refuerzos – Lloyd’s Register.	80
Tabla 58. Longitud no soportada de elementos primarios y secundarios.	81
Tabla 59. Comparación entre máximas deflexiones – Parte 1.	81
Tabla 60. Comparación entre máximas deflexiones – Parte 2.	82

Tabla 61. Comparación entre máximas deflexiones – Parte 3.	82
Tabla 62. Comparación entre máximos esfuerzos – Parte 1.	83
Tabla 63. Comparación entre máximos esfuerzos – Parte 2.	83
Tabla 64. Comparación entre máximos esfuerzos – Parte 3.	83
Tabla 65. Comparación entre máximos esfuerzos – Parte 4.	84
Tabla 66. Tabla de frecuencias naturales del modelo – SAP2000.	84
Tabla 67. Comparación de dimensiones principales.	86
Tabla 68. Comparación de espaciamientos entre refuerzos.	86
Tabla 69. Comparación con resultados de SAP y Lloyd's Register.	87
Tabla 70. Plantel Productivo del proyecto.	89
Tabla 71. Plantel Administrativo del proyecto.	90
Tabla 72. Costo total de construcción y Hombre-Hora.	91
Tabla 73. Costos de la construcción del yate.	93
Tabla 74. Activos diferidos del proyecto.	94
Tabla 75. Costos de tour por persona.	95
Tabla 76. Ingresos varios.	96
Tabla 77. Gastos generales de la empresa operadora.	97
Tabla 78. Salarios de los tripulantes del yate Shanthal I.	98
Tabla 79. Costo de mantenimiento del yate.	99
Tabla 80. Costos de operación del yate.	99
Tabla 81. Costos variables del yate.	100
Tabla 82. Inversión Inicial del proyecto.	100
Tabla 83. Flujo de efectivo proyectado – Parte I.	104
Tabla 84. Resultados del análisis de condición específica para las cuatro condiciones.	113
Tabla 85. Brazos escorantes, ángulo de balance	125
Tabla 86. Comparación de ángulo de escora – tres condiciones.	126
Tabla 87. Ecuaciones de las presiones de diseño.	127
Tabla 88. Coeficiente K_i para los cinco primeros modos de vibración.	129
Tabla 89. Parámetros de prototipos – Parte I.	130
Tabla 90. Parámetros de prototipos – Parte II.	131
Tabla 91. Valores de KN de los prototipos – Parte I.	132

Tabla 92. Valores de KN de los prototipos – Parte II.....	133
Tabla 93. Cálculo de Fuerza Cortante.	134
Tabla 94. Presupuesto de Outfitting.....	136
Tabla 95. Presupuesto de Sistema Eléctrico.....	136
Tabla 96. Tabla de depreciaciones de activos – Parte I.	137
Tabla 97. Tabla de depreciaciones de activos – Parte II.	138
Tabla 98. Tabla de depreciaciones de activos – Parte III.	139
Tabla 99. Estado de Resultado del Proyecto – Parte I. ¡Error!	Marcador no definido.
Tabla 100. Estado de Resultado del Proyecto – Parte II. ¡Error!	Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1. Porcentaje basado en el coeficiente de block.....	14
Figura No. 2. Yate Shanthal I modelado en Rhinoceros.....	28
Figura No. 3. Yate Shanthal I en el programa Maxsurf.....	31
Figura No. 4. Vientos intensos y balance.....	35
Figura No. 5. Momentos Flectores, DNV – GL.....	38
Figura No. 6. Arreglo estructural del Yate Shanthal I.	39
Figura No. 7. Datos de bulárcama de fondo.....	41
Figura No. 8. Refuerzo en T 200x10+100x10 mm.	41
Figura No. 9. Diagrama de flujo de optimización de formas.	46
Figura No. 10. Diagrama de flujo de la optimización estructural del yate Shanthal I.	49
Figura No. 11. Vista en 3D de los compartimentos, están separados intencionalmente.....	52
Figura No. 12. Descripción de un bloque típico.....	52
Figura No. 13. Función de optimización – Algoritmo Genético.	61
Figura No. 14. Yate Shanthal I optimizado.....	62
Figura No. 15. Análisis de la cuaderna maestra.....	67
Figura No. 16. Momento flector del prototipo optimizado.	69
Figura No. 17. Distribución de fuerza cortante.	71
Figura No. 18. Compartimentos del Yate “Shanthal I”.	72
Figura No. 19. Plano de Distribución del Yate Shanthal I – Vista de perfil y vista de planta bajo cubierta principal.	73
Figura No. 20. Plano de Distribución del Yate Shanthal I – Vista de planta de cubiertas de la superestructura.....	74
Figura No. 21. Modelado del bloque.	75
Figura No. 22. Refuerzo ingresado a la biblioteca de SAP2000.....	78
Figura No. 23. Modelo matemático tridimensional del bloque 5 desarrollado en SAP2000.	78
Figura No. 24. Cronograma de calendario de viajes.	96
Figura No. 25. Punto de equilibrio del proyecto.	105

Figura No. 26. Valores de X_1 , X_2 y s	115
Figura No. 27. Criterios de estabilidad – Condición I.	118
Figura No. 28. Curva de estabilidad a grandes ángulos – Condición I.	118
Figura No. 29. Ángulo de escora vs. Brazo adrizante GZ – Condición I.....	119
Figura No. 30. Criterio de aglomeración de personas – Condición I.....	119
Figura No. 31. Criterios de estabilidad – Condición II.	120
Figura No. 32. Curva de estabilidad a grandes ángulos – Condición II.	120
Figura No. 33. Ángulo de escora vs. Brazo adrizante GZ – Condición II.....	121
Figura No. 34. Criterio de aglomeración de personas – Condición II.....	121
Figura No. 35. Criterios de estabilidad – Condición III.....	122
Figura No. 36. Curva de estabilidad a grandes ángulos – Condición III.	122
Figura No. 37. Ángulo de escora vs. Brazo adrizante GZ – Condición III.....	123
Figura No. 38. Criterio de aglomeración de personas – Condición III.....	123
Figura No. 39. Criterios de estabilidad – Condición IV.	124
Figura No. 40. Curva de estabilidad a grandes ángulos – Condición IV.....	124
Figura No. 41. Análisis del casco sin superestructura.....	134
Figura No. 42. Resultado de Costo Total, Hombre-Hora y pesos.....	135

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, Ecuador ha incrementado su desarrollo como potencia turística en las Islas Galápagos, por esta razón, el Gobierno se ha enfocado en promover el turismo en la parte continental e insular. Siendo el turismo el objetivo principal, se ha decidido desarrollar el diseño de un yate para doce pasajeros. La primera fase ha sido el diseño preliminar, luego, el diseño final de la embarcación y por último, el análisis estructural detallado de un compartimento del buque utilizando un software de Elementos Finitos. El yate tiene previsto realizar un recorrido por las principales islas del Archipiélago de Galápagos, incluyendo varias opciones de viaje, que van desde 4 días y 3 noches hasta 7 días y 6 noches, para que cada día conozcan más sobre la biodiversidad existente en cada isla. Según el informe del Parque Nacional Galápagos (PNG) ha existido un aumento de turistas del 6% en el 2014 llegando a 215.691 visitantes, siendo visitantes extranjeros un 70%. Con este proyecto se ha pretendido incrementar el número de visitantes a esta región insular.

Teniendo en cuenta el lugar en donde va a operar la embarcación y los requerimientos del armador, se han determinado cuáles van a ser las restricciones que condicionarán el presente proyecto.

Durante el desarrollo del proyecto se ha hecho un análisis de cada grupo tecnológico, dando énfasis al análisis estructural de la embarcación y al cumplimiento de los convenios internacionales para salvaguardar la vida humana en el mar.

El objetivo general consiste en presentar el diseño final de un yate con capacidad de doce pasajeros para operar en las Islas Galápagos.

Los objetivos específicos que se desean conseguir son:

- Realizar el diseño preliminar de la embarcación, realizado en detalle durante la materia Diseño Naval I.
- Realizar la optimización de la parte estructural del yate, realizado en detalle durante la materia Diseño Naval II.
- Desarrollar el análisis estructural – Método de Elementos Finitos de un compartimento del yate mediante el uso del software SAP2000.
- Realizar el análisis económico de la embarcación para determinar si el proyecto es viable.

CAPÍTULO 1

1. CONSIDERACIONES PRELIMINARES

En esta sección se presentan las consideraciones preliminares y el alcance para el desarrollo del proyecto. Como parte del diseño básico se presentan los requerimientos del armador y de las Sociedades Clasificadoras, con la finalidad de determinar cuáles son las restricciones del diseño.

1.1 Alcance del Proyecto

Desarrollar el diseño preliminar y definitivo mediante la espiral de diseño, partiendo de una base de datos de yates de características similares y que actualmente se encuentran operando. Luego de esto, se continúa con las siguientes fases:

1.1.1 Fase I: Diseño conceptual

Se ha determinado el análisis regresional de las dimensiones principales de la embarcación y de las áreas habitables, para generar la distribución general del buque, estimación de pesos y del sistema de propulsión.

1.1.2 Fase II: Diseño preliminar

Se han seleccionado las dimensiones principales del buque, formas de la nave y sus parámetros principales. Se ha estimado la ubicación de tanques y maquinaria principal. Con esta distribución se ha definido la ubicación de los elementos estructurales, y se han realizado los cálculos de francobordo, arqueo, resistencia y propulsión del buque. A continuación se ha determinado la resistencia estructural del buque, la maniobrabilidad, los equipos de amarre y fondeo, los principales sistemas auxiliares y la planta eléctrica necesaria en el yate.

1.1.3 Fase III: Diseño definitivo

En esta fase, las formas de la embarcación se han ajustado a las series VTT correspondientes a este tipo de buque. A partir de esta fase se han realizado nuevamente los cálculos de arquitectura naval, estabilidad, resistencia, propulsión, maniobrabilidad y resistencia estructural. En función de los resultados obtenidos, se ha procedido a la optimización del buque. Luego, se realiza la verificación de la estructura de un compartimento usando un software de elementos finitos SAP2000. Finalmente, como parte del diseño, se ha determinado el costo de la obra y la viabilidad del proyecto.

1.2 Requerimientos Básicos para el Diseño

Los yates son embarcaciones de recreación, destinadas a fines comerciales. Tienen como prioridad la comodidad del pasajero, permitirle conocer y disfrutar la naturaleza del Ecuador durante su estadía. Debido a esto, el confort de ellos es un factor importante. Para esto, se ha determinado cuáles son los espacios mínimos para esta embarcación tipo crucero. Debido a las restricciones de abastecimiento de combustible, la capacidad de los tanques de combustible será definida en función de su autonomía.

De acuerdo a los requisitos propuestos por el armador, en la Tabla I se ha definido el rango de las dimensiones principales del buque.

DIMENSIONES PRINCIPALES		
	Longitud Mínima [m]	Longitud Máxima [m]
Eslora	50	55
Manga	9.2	10
Calado	2.2	3

Tabla 1. Rango de dimensiones principales del yate.

A partir de la base de datos de yates con dimensiones similares, es posible inferir que la velocidad está entre 10 y 14 nudos.

De acuerdo a estudios estadísticos de barcos similares, en la Tabla II se presenta un resumen del consumo diario de agua por actividad de personas:

AGUA DULCE			
DESCRIPCIÓN	CONSUMO [litros]	FRECUENCIA	SUBTOTAL
Lavaplatos	18	3 veces por día	54
Ducha	60	2 veces por día	120
Bebida	3	1 vez al día	3
Cocina	2	3 veces por día	6
Lavamanos	3.5	3 veces por día	10.5
TOTAL litros agua dulce/día/hombre			193.5
12 pasajeros por 3.5 días			8127
18 tripulantes por 3.5 días			12190.5
TOTAL DE LITROS (aprox.)			20317.5

Tabla 2. Datos de consumo de agua por actividad de personas.

El 100 % de la cantidad total de litros determinada en la Tabla II, es obtenida a partir del agua desalinizada a bordo. La capacidad de la planta de tratamiento físico – químico de aguas residuales (grises y negras), es seleccionada de catálogos de fabricantes especializados y depende de la capacidad del yate.

En la Tabla III se define el rango de capacidades para el diseño del sistema de acondicionamiento de ambiente (aire acondicionado).

	Mínimo [BTU]	Máximo [BTU]
Por cabina (incluye tripulación)	9000	12000
Comedor	21000	24000
Salón principal	21000	24000

Tabla 3. Aire acondicionado por espacio habitable.

Para establecer las dimensiones de los espacios para acomodación, se presenta el siguiente intervalo:

DESCRIPCIÓN	Área Mínima	Área Máxima	Cantidad Máxima de Espacios
Master Room	37 m ²	128 m ²	1
Cabinas Guest Room	85 m ²	330 m ²	5
Salón principal (sala de estar)	80 m ²	331 m ²	2

Tabla 4. Espacios para acomodación.

Para las condiciones meteorológicas de operación, se ha considerado varios parámetros tales como el viento, la altura de ola y estado de mar. Los datos mostrados en la Tabla V, han sido tomados del Instituto Oceanográfico de la Armada [1], del 8 al 12 de mayo del 2016.

	Mínima	Máximo
Altura de ola [m]	0.9	1.8
Viento [m]	4	15
Estado de mar	U2	U4

Tabla 5. Condiciones meteorológicas.

Se ha propuesto como equipos de navegación los siguientes:

Descripción	Mínimo	Máximo
Gyro compass 1 x C. Plath	2	3
Automatic Pilot 1 x C. Plath Navy Pilot V	1	2
Echo sounder 1 x Simrad IS 15	1	2
Radar 2 x Kelvin Hughes Nucleus 5000 ATA	1	2
GPS 1 x Leica mx400 DGPs	1	2
1 x Furuno GP-50 Mk3	1	2
Weather fax 1 x JRC JAX 9-A	1	2
Anemometer 1 x B&G Windex	1	2

Tabla 6. Equipos de navegación.

El diseño del yate será realizado de acuerdo a los requerimientos establecidos en las Normas de SOLAS [2], para salvaguardar la vida humana en el mar y se utilizará MARPOL [3] para prevenir la contaminación causada por los buques. El Convenio Internacional sobre Líneas de Carga [4] y el Convenio sobre arqueo [5], se han utilizado dentro de los cálculos arquitectura naval.

El análisis y diseño de los elementos estructurales del yate se han realizado de acuerdo a los requerimientos de las normas de la Sociedad Clasificadora Lloyd's Register, y con la ayuda del software Special Service Craft.

La ergonomía de los espacios destinados para la tripulación ha sido definida considerando las normas de American Bureau of Shipping [6].

1.3 Restricciones del Diseño

Se ha recomendado 20 metros como profundidad para fondeo en los sitios de las Islas Galápagos. Se espera como mínima profundidad de 5 metros en marea baja, por lo que la embarcación de preferencia debe tener un calado máximo de 3 metros. Estos sitios de fondeo han sido obtenidos de las publicaciones del Instituto Oceanográfico de la Armada [7].

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO PRELIMINAR

En este capítulo se ha tratado sobre el diseño preliminar del proyecto. Inicialmente se han definido las dimensiones principales del buque aplicando regresión lineal. Luego, se han seleccionado las formas de la embarcación, se han calculado los parámetros principales y finalmente se ha determinado el arreglo general que tendrá la misma.

En los cálculos de Arquitectura Naval se han incluido la estabilidad del buque y el arqueado. Luego, se ha determinado la resistencia estructural del yate de acuerdo a los requerimientos de las Reglas de Sociedades Clasificadoras.

2.1 Dimensionamiento y Formas

Se ha generado una base de datos de yates de dimensiones similares. Se ha ordenado de forma descendente la base, basándose en el coeficiente de transporte. Se ha aplicado la metodología regresional para establecer las dimensiones del yate.

2.1.1 Base de datos y dimensionamiento

Para la determinación de la base de datos, se ha procedido a buscar barcos de características similares. Se ha escogido, de preferencia, yates que posean información completa, incluyendo planos de distribución. Con los datos obtenidos, se ha calculado el coeficiente de Eficiencia de Transporte, dado por la siguiente ecuación 2.1:

$$C_{transporte} = \frac{\Delta[kg]*Velocidad[knots]}{198*P_s [kW]} \quad (2.1)$$

Luego, se han seleccionado los barcos cuyo coeficiente de Eficiencia de Transporte sea alto para generar las fórmulas regresionales. A

continuación, se muestra en las Tablas VII y VIII, la base de datos de los yates seleccionados y sus principales características.

No.	Nombre del yate	L [m]	B [m]	Tmax [m]	Vcruc [nud]	Vmax [nud]	Potencia [HP]
1	Ghost G180 F	55.0	9.30	2.25	11	29	3460
2	Clelands	58.7	11.40	3.07	12	16	3360
3	Amel ESPERANZA	50.0	9.00	3.2	11	14	2400
4	Abeking & Rasmussen	57.9	10.95	3.51	14	16	3754
5	Fead Ship	48.78	7.92	2.74	12	15.5	2000
6	Elsflether Werft	58.51	8.9	3.02	12.0	14	3100
7	Wesmac Warsan 184	55.15	11.29	2.21	12.5	16	2700
8	Passion	48.50	8.64	2.70	10.0	10	2000
9	Golden Yatch O'neiro	52.72	9.22	2.87	16	18	4400
10	Christensen Motor	47.87	8.84	2.44	12	17	3600
11	Mondomarine	49.2	9.1	2.3	20	22	3770
12	Trinity	57.21	10.8	2.59	18	21	6768

Tabla 7. Base de datos de yates, I parte.

No.	Nombre del yate	Fr	Cb	Coficiente de transporte	Pax	Trip
1	Ghost G180 F	0.24	0.64	43	10	9
2	Clelands	0.26	0.62	42	12	20
3	Amel ESPERANZA	0.26	0.66	39	11	9
4	Abeking & Rasmussen	0.3	0.58	38	10	16
5	Fead Ship	0.28	0.63	36	10	10
6	Elsflether Werft	0.26	0.67	33	10	10
7	Wesmac Warsan 184	0.28	0.56	32	15	7
8	Passion	0.24	0.68	27	12	18
9	Golden Yatch O'neiro	0.36	0.52	21	11	11
10	Christensen Motor Yacht	0.28	0.59	20	16	10
11	Mondomarine	0.47	0.43	18	12	9
12	Trinity	0.39	0.47	16	17	9

Tabla 8. Base de datos de yates, II parte.

Con la base de datos presentada, se han realizado los cálculos para determinar las dimensiones principales. A continuación, se detalla las relaciones de las variables a usarse en los gráficos regresionales:

- **Eslora:** Se ha relacionado la eslora de los yates entre el total de pasajeros y tripulantes.
- **Manga:** De la base de datos, se ha relacionado la manga dividida para la eslora (B/L) de los yates, para determinar la nueva manga del barco.
- **Calado:** De la base de datos, se ha graficado el calado (T) versus el área total de habitabilidad dividida para el número de pasajeros (A/pax), realizando una regresión lineal y obteniendo el calado del yate.
- **Velocidad:** Para la determinación de la Velocidad de la embarcación, en nudos, se ha relacionado la manga dividida para el calado (B/T) versus la velocidad (V), y se realiza la regresión lineal.
- **Potencia:** Se ha graficado Froude vs Potencia, obteniendo una regresión lineal para calcular la Potencia en HP del yate.

Para estimar el desplazamiento de los buques de la base de datos, se ha determinado el Coeficiente de Block de las fórmulas generales de Métodos de Estimación [8], escogiendo el método de Katsoulis, cuya ecuación viene dada por la ecuación 2.2:

$$C_b = 0.8217 * f * L_{pp}^{0.42} * B^{-0.3072} * T^{0.1721} * V^{-0.6135} \quad (2.2)$$

Como parámetro f se ha escogido el factor del ferry, debido a que es semejante a un yate, siendo de $f = 1.09$.

El desplazamiento de las embarcaciones se ha determinado utilizando la ecuación 2.3:

$$\nabla = L_{wl} * B * T * C_B * \rho, [Ton] \quad (2.3)$$

Para estimar la eslora a la máxima carga, de acuerdo a las Reglas de la IMO, se ha utilizado el 96% de la Eslora total.

Los resultados que se han obtenido se presentan en la Tabla IX comparativa, a los requerimientos del armador se indica como “RANGO” y “ADOPTADO” a los valores determinados aplicando el método de regresión lineal.

	RANGO		ADOPTADO
L [m]	50	55	52.63
Lpp [m]	48.01	52.81	50.53
B [m]	9.2	10	9.53
T [m]	2.2	3.00	2.75
Vcrucero [kn]	12	16	14
Fr	0.28	0.35	0.32
Δ [Ton]	400	1500	766
Vol [m3]	591	864	743
P [HP]	2000	7000	3000
AREA/PAX	23	60	25
Pasajeros	18	25	23
At pax [m2]	202	788	570

Tabla 9. Rango y dimensiones del yate.

2.1.2 Determinación de la necesidad de bulbo

Si el buque debe llevar bulbo se ha determinado que debe cumplir simultáneamente ciertas características detalladas en “El proyecto básico del buque mercante” [9], como son:

- El Número de Froud debe estar dentro del siguiente rango:

$$0.35 \leq Fr \leq 0.65 \quad (2.4)$$

- La relación eslora entre manga (L/B) debe estar dentro del rango:

$$5.5 \leq \frac{L}{B} \leq 7 \quad (2.5)$$

- El coeficiente de bulbo debe ser menor a 0.135.

$$C_{bulbo} = C_b \times \frac{B}{L} < 0.135 \quad (2.6)$$

En la Tabla X se muestran los resultados de estos cálculos:

Parámetro	Resultado	Criterio
-----------	-----------	----------

Fr	0.32	NO CUMPLE
L/B	5.73	SI CUMPLE
C bulbo	0.10	SI CUMPLE

Tabla 10. Resultados para determinar la necesidad del bulbo.

Debido a que el intervalo Froud no ha sido satisfecho, esto indica que la instalación del bulbo no mejorará la velocidad, sino que puede ser aprovechado para disminuir la aceleración del encabuzamiento.

2.1.3 Determinación de condición del buque

Para determinar si el buque es de desplazamiento, semi-desplazamiento o planeador, se han aplicado las condiciones detalladas a continuación:

- El número de Froud volumen indica la condición del buque:

Desplazamiento $F_{vol} < 1.66$

Planeo $F_{vol} \geq 1.66$

- El coeficiente de carga debe estar en el siguiente rango:

Desplazamiento $3 \leq C_p \leq 5$

Planeo $6 \leq C_p \leq 7$

Hidrofoil $C_p \geq 8$

Se ha utilizado las siguientes ecuaciones para calcular el Froud volumen y el coeficiente de carga:

$$F_{vol} = \frac{v}{\sqrt{g(\text{volumen}^{\frac{1}{3}})}} = 0.76 \quad (2.7)$$

$$C_p = \frac{A_{flotacion}}{\frac{2}{\sqrt{3}}} = 4.47 \quad (2.8)$$

Con los resultados obtenidos, se ha determinado que el yate es un buque de desplazamiento.

2.2 Coeficientes de Formas

Se han presentado los parámetros básicos del buque para determinar los coeficientes principales y el arqueo de la embarcación.

2.2.1 Formas del yate

Las dimensiones que se han obtenido aplicando el método de regresión lineal se presentan en la Tabla XI:

PARÁMETRO	VALOR
L [m]	52.63
L _{pp} [m]	50.53
B [m]	9.53
T [m]	2.75
V crucero [kn]	14.00
Fr	0.32
Δ [Ton]	766.00
Vol [m ³]	747.00
P [HP]	3000.00
AREA/PAX	25.00
Pasajeros	23.00
At pax [m ²]	575.00

Tabla 11. Dimensiones principales del yate.

Se han determinado los principales coeficientes del yate utilizando las fórmulas de [8]:

- **Coficiente de block.-** Calculado anteriormente con la fórmula de Katsoulis.

$$C_b = 0.8217 * f * L_{pp}^{0.42} * B^{-0.3072} * T^{0.1721} * V^{-0.6135} \quad (2.9)$$

- **Coficiente de sección media.-** se ha utilizado la ecuación dada por HSVA.

$$C_M = \frac{1}{1+(1-C_B)^{3.5}} \quad (2.10)$$

- **Coefficiente de línea de agua.-** se ha utilizado la formulación dada por Parson:

$$C_{WL} = \frac{C_B}{0.471+0.551*C_B} \quad (2.11)$$

- **Centro de boyantes.-** Se ha utilizado la ecuación de Wobig para la determinación del Centro de Boyantes:

$$KB = T \left(0.78 - 0.285 \frac{C_B}{C_{WL}} \right) \quad (2.12)$$

- **Centro de boyantes longitudinal.-** se ha utilizado la Figura No. 1, en el cual se ingresa con el coeficiente de block y se determina un porcentaje que multiplica a la mitad de la eslora.

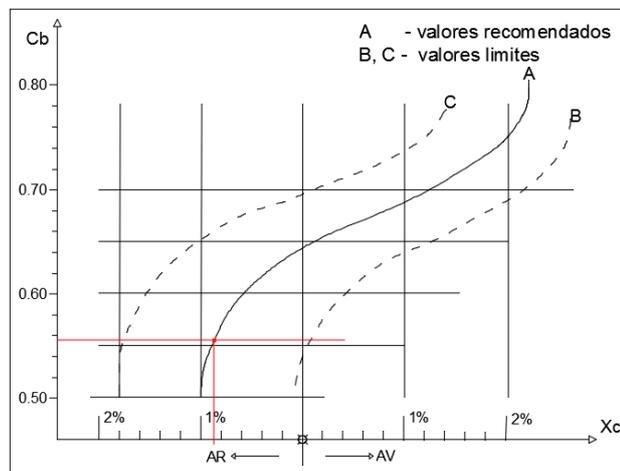


Figura No. 1. Porcentaje basado en el coeficiente de block.
Fuente: Fórmulas de [8].

$$LCB = \frac{L}{2} * 0.82\% \quad (2.13)$$

- **Momento de inercia transversal.-** Se ha usado la siguiente fórmula para determinar el momento de inercia transversal, la cual consta de K_r que se ha escogido dependiendo del C_{WL} del buque.

C_{WL}	K_r	C_{WL}	K_r	C_{WL}	K_r
0.68	0.0411	0.78	0.0529	0.88	0.0662
0.70	0.0433	0.80	0.0555	0.90	0.0690
0.72	0.0456	0.82	0.0580	0.92	0.0718
0.74	0.0480	0.84	0.0607	0.94	0.7460
0.76	0.0504	0.86	0.0634	0.96	0.7740

Tabla 12. Coeficientes para determinar $C_{WL}-I_{XX}$ - [8].

$$I_{XX} = k_r * B^3 * L \quad (2.14)$$

- **Momento de inercia longitudinal.-** Se ha determinado el momento de inercia longitudinal de forma similar al momento de inercia transversal:

C_{WL}	K_r	C_{WL}	K_r	C_{WL}	K_r
0.68	0.0332	0.78	0.0450	0.88	0.0588
0.70	0.0350	0.80	0.0475	0.90	0.0616
0.72	0.0375	0.82	0.0503	0.92	0.0645
0.74	0.0400	0.84	0.0532	0.94	0.0675
0.76	0.0425	0.86	0.0560	0.96	0.0710

Tabla 13. Coeficientes para determinar $C_{WL}-I_{YY}$ - [8].

$$I_{YY} = k_r * L^3 * B \quad (2.15)$$

- **Radio metacéntrico transversal.-** Para la determinación del radio metacéntrico se ha utilizado el factor de reducción de Normand $f(C_{WP})$:

$$f(C_{WP}) = 0.096 + 0.89 * C_{WP}^2 \quad (2.16)$$

$$BMT = \frac{f(C_{WP})B^2}{12 * T * C_B} \quad (2.17)$$

- **Radio metacéntrico longitudinal.-** para calcular el radio metacéntrico longitudinal se ha utilizado:

$$BML = \frac{I_{YY}}{\nabla} \quad (2.18)$$

- **Altura metacéntrica.-** Para determinar la altura metacéntrica se ha utilizado el método de Schneekluth (para cálculo preliminar se inicia con $KG = 0$). Debe estar dentro del rango:

$$0.73 < (C_B/C_{WP}) < 0.95 \quad (2.19)$$

Debido a que la relación de coeficientes da 0.78, se procede a utilizar:

$$KM = B * \left(\frac{0.08}{\sqrt{C_M}} * \frac{B}{T} + \frac{0.9-0.3*C_M-0.1*C_B}{\frac{B}{T}} \right) \quad (2.20)$$

- **Superficie mojada.-** La superficie mojada se ha calculado usando el método de Holtrop y Mennen (1978), el cual cuenta con un término que incluye el área del bulbo, que en este caso es igual a cero de acuerdo a los resultados obtenidos en la sección 2.1.2.

$$S_W = Lwl * (2 * T + B) * \sqrt{C_M} * \left(0.453 + 0.4425 * C_B - 0.2862 * C_M - 0.003467 * \frac{B}{T} + 0.369 * C_{WP} \right) + 2.38 * A_{BT}/C_B \quad (2.21)$$

- **Tonelaje de Registro Bruto.-** se lo determina con la siguiente ecuación:

$$GT = k * CN \quad (2.22)$$

En donde: $CN = L_{PP} * B * D \quad (2.23)$

Type of Ship	K
Tanker, Bluk Carrier	0.26 - 0.30
Product Tanker, Chemical Tanker	0.25 - 0.35
Multi-Purpose	0.25 - 0.40
Fast Container Carrier	0.25 - 0.33

Tabla 14. Coeficiente para tonelaje de registro bruto - [8].

- **Tonelaje neto.-** se ha calculado por medio de la multiplicación de un coeficiente k que depende del tipo de buque y el Tonelaje de Registro Bruto.

$$NT = k * GT \quad (2.24)$$

En donde:

Type of Ship	K
Container Carrier	0.3 - 0.5
Others	0.5 - 0.7

Tabla 15. Coeficiente para tonelaje de registro neto - [8].

Para determinar el centro de gravedad se ha utilizado las ecuaciones proporcionadas por M. Ventura y se ha escogido a Kupras, para buques de acero de eslora mayor o igual a 120m se detalla en la ecuación 2.25:

$$KG_{s1} = 0.01D[46.6 + 0.135(0.81 - C_b)(L/D)^2] + 0.008D(L/B - 6.5) \quad (2.25)$$

Para buques de eslora menor a 120m se detalla en la ecuación 2.26:

$$KG_{s2} = KG_{s1} + 0.001D[1 - (L - 60)/60], L < 120m \quad (2.26)$$

El centro de gravedad para la Maquinaria se ha determinado utilizando ecuaciones de Watson y Gilfillan, en donde primero se ha obtenido la altura del doble fondo cuyo valor no debe ser menor a 0.8 m.

$$H_{DB} = 250 + 20B + 50T [mm] \quad (2.27)$$

$$KG_M = H_{DB} + 0.35[D - H_{DB}] \quad (2.28)$$

Los resultados preliminares se muestran en la Tabla XVI:

KG s1 [m]	2.487
KG s2 [m]	2.492
H doub bot [m]	0.8
KGm [m]	2.27

Tabla 16. Centros de gravedad.

En la Tabla VXII se presenta el resumen de los resultados obtenidos mediante las ecuaciones propuestas:

L [m]	52.63	Cb	0.56
Lpp [m]	50.53	Cm	0.95
Lwl	46.40	Cwl	0.72
B [m]	9.53	KB [m]	1.61
T [m]	2.75	LCB [m]	0.22
D [m]	5	Ixx [m4]	1856.63
V cruc [kn]	14.00	Iyy [m4]	50185.02
Fr	0.32	f(Cwp)	0.55
Fvol	0.76	BMT [m]	2.42
Δ [Ton]	766	BML [m]	67.155
Vol [m3]	747	Cb/Cwp	0.779
P [HP]	3000	KM	4.02
AREA/PAX	25	Sw [m2]	460.97
Pasajeros	23	GT [Ton]	695.80
At pax [m2]	575	NT [Ton]	347.90

Tabla 17. Características principales del yate.

2.3 Dotación Mínima

Para determinar la dotación mínima de tripulantes de la embarcación se ha utilizado la Resolución del Ministerio de Transporte y Obras Públicas: Subsecretaría de Puertos y Transporte Marítimo y Fluvial [10], que ha establecido los principios relativos a la dotación mínima de seguridad de las naves, se ha elegido para este caso el Apéndice I-C que se refiere a buques de pasaje.

Para el personal de cubierta, se ha ingresado con el TRB = GT del yate, el cual es de GT = 696, y para el personal de máquinas se ha ingresado con la potencia en máquinas BHP, en este caso entre 1001-3000, por lo que se tiene:

APÉNDICE I-C										
C. DOTACIÓN MÍNIMA DE SEGURIDAD PARA BUQUES DE PASAJE										
1. PERSONAL DE CUBIERTA										
TRB	CAPITÁN DE ALTURA	OFICIAL DE CUBIERTA			PATRÓN DE ALTURA	PATRÓN COSTANERO	CONTRA-MAESTRE	MARINERO DE PRIMERA DE PUENTE (Timonel)	MARINERO DE CUBIERTA	TOTAL
		PRIMER	SEGUNDO	TERCER						
50 - 100						1		1	1	3
101 - 400					1			2	2	5
401 - 1500		1	1	1			1	3	3	10
1501 - 2000	1	1	1		1		1	3	4	12
2001 en adelante	1	1	1	1			1	3	4	12

Tabla 18. Dotación mínima para el personal de cubierta - [10].

1. PERSONAL DE MÁQUINAS										
POTENCIA EN MÁQUINAS SHP	JEFE DE MÁQUINAS	OFICIAL DE MÁQUINAS			OFICIAL ELECTROTÉCNICO O ELECTRICISTA	MARINERO DE PRIMERA DE MÁQUINAS		MARINERO DE MÁQUINAS (Aceitero)	TOTAL	
		PRIMER	SEGUNDO	TERCER		(Maquinista)	(Motorista)			
0 - 250						1		1	2	
251 - 500							1	1	2	
501 - 750						1	1	1	3	
751 - 1000			1		1	1	1	1	6	
1001 - 3000			1	1	1	1	2	1	1	8
3001 en adelante	1		1	1	1	1	2	1	1	9

Tabla 19. Dotación mínima para el personal de máquinas - [10].

La tripulación total consta de 18 personas, 10 para personal de cubierta y 8 para personal de máquinas, información que ha servido para estimar el total de camarotes necesarios, el peso para almacenamiento de víveres y equipaje, peso por tripulantes y otros efectos, etc.

2.4 Determinación de Pesos

Se ha estimado los pesos del buque utilizando las ecuaciones expuestas en el libro de Alvariño [9]. El desplazamiento de un barco es usualmente dividido en peso en rosca y el peso muerto total (DWT).

$$\Delta = P_{rosca} + DWT \quad (2.29)$$

La estimación preliminar de pesos se ha basado en la información de pesos de barcos de características similares.

2.4.1 Peso en rosca

El desplazamiento en rosca ha sido dividido en:

- Grupos tecnológicos.
 - Estructura del casco.
 - Planta de Propulsión.
 - Planta Eléctrica.
 - Sistemas Auxiliares.
 - Equipo y mobiliario.
- Agua de lastre.

Peso de estructuras.

El peso de las estructuras, de acuerdo a las ecuaciones de Watson & Gilfillan, ha incluido:

- El peso del casco hasta el puntal de sección media.
- El peso de las superestructuras, en su máxima amplitud del casco sobre el puntal en sección media.
- El peso de las casetas.

Las ecuaciones a usarse se detallan a continuación:

$$E = L(B + T) + 0.85 * L(D - T) + 0.85 \sum_i l_i h_i + 0.75 \sum_j l_j h_j \quad (2.30)$$

$$C'_B = C_B + (1 - C_B) \left[\frac{0.8D - T}{3T} \right] \quad (2.31)$$

$$W_s = W_s(E) = kE^{1.36} (1 + 0.5(C'_B - 0.70)) \quad (2.32)$$

Siendo l_i y h_i las medidas principales de la superestructura, l_j y h_j las medidas principales de la caseta y $k = 0.038$ para buque de pasaje [9].

Peso de maquinaria.

Se ha tomado en cuenta la maquinaria destinada a propulsión, cajas de reducción, ejes y hélices. Se ha estimado el peso de los motores más la caja reductora, tomando como referencia la maquinaria de un barco de similares características. Los pesos de ejes y hélices, se lo ha estimado aplicando las fórmulas de Watson & Gilfillan:

$$W_{ME} = 15.71 \text{ ton} \quad (2.33)$$

$$W_{rem} = C_m * (MCR^{0.70}) \quad (2.34)$$

Para barcos de pasajeros y ferries se ha tomado el $C_m = 0.83$, y MCR es Maximum Continuous Rating en kilowatts [kW]. El peso total de la maquinaria se ha considerado de la siguiente manera:

$$W_M = W_{ME} + W_{rem} \quad (2.35)$$

Peso de equipos.

Se ha estimado el peso de plantas eléctricas, plantas auxiliares, equipos electrónicos, pinturas, muebles, grúas, winches, etc. En la Tabla XX se detallan los equipos de peso significativo.

EQUIPOS MÁS SIGNIFICANTES			
Descripción	Unidades	Modelo	Peso[ton]
Generadores	2	CAT C9	4.352
Planta procesadora de aguas negras	1	ST0-C	2.605
Planta desalinizadora	1	NF1200	1.3
Total			8.257

Tabla 20. Peso de equipos.

La Tabla XXI contiene un resumen de los pesos antes mencionados:

W struct [ton]	356.38
W Machinery [ton]	169.69
W outfitting [ton]	8.257
W Subtotal [ton]	534.33
Margen de Pesos [lastre]	3%
PESO EN ROSCA [ton]	550.36

Tabla 21. Resumen de pesos.

Para el lastre se ha considerado un 3% del subtotal de pesos, basándose en las fórmulas expresadas por Watson y Gilfillan que indican que este porcentaje está entre 1% – 5%.

2.4.2 Peso muerto

El peso muerto, también conocido como deadweight (DW), se ha determinado usando las ecuaciones de Watson y Gilfillan:

$$DWT_{TOTAL} = DWT_{carga} + W_{fuel\ oil} + W_{Lube\ oil} + W_{Fresh\ Water} + W_{Crew\ \&\ Effects} + W_{Provision} \quad (2.36)$$

El peso de la carga, DWT_{carga} , se ha considerado que es igual a cero debido a la naturaleza de la embarcación.

Peso de combustible.

Para la estimación del peso de combustible se ha usado el consumo de combustible de los motores y de los generadores, en litros/hora, instalado en un barco de similares características. La autonomía se ha considerado de 7 días y las horas de trabajo se han asumido de 8.5 horas por día, tanto del motor como del generador.

$$W_{fuel\ oil} = consumo \left[\frac{lt}{hr} \right] * \frac{1\ m^3}{1000\ lt} * autonomia[day] * \frac{8.5\ horas}{día} * \gamma_{diesel} \left[\frac{ton}{m^3} \right] * \# motor \quad (2.37)$$

Peso de aceite.

Se ha determinado este peso asumiendo que es el 4% de la capacidad de combustible:

$$W_{LO} = 4\% * W_{FL} * \gamma_{lub\ oil} \quad (2.38)$$

Peso de agua dulce.

El cálculo de peso de agua dulce se ha basaso en la formulación:

$$W_{FW} = 0.17\ t\ (persona\ x\ día) \quad (2.39)$$

Peso de tripulantes y otros.

El peso de tripulantes y otros efectos se ha estimado por:

$$W_{C\&E} = \frac{0.17t}{person} \quad (2.40)$$

Peso de provisiones.

Los pesos por provisiones y almacenamiento se han estimado con la siguiente ecuación:

$$W_{PR} = \frac{0.01t}{person \times day} \quad (2.41)$$

A continuación, en la Tabla XXII, se detalla el resumen de los pesos considerados como DWT [ton]:

Consumo de motor [lt/hr]	421.4
Consumo de generador [lt/hr]	47.1
Capacidad de combustible [lt]	59968
Peso específico de diesel [ton/m ³]	0.85
Peso específico de aceite [ton/m ³]	0.92
W fuel oil [ton]	47.39
W lube oil [ton]	2.21
W fresh water [ton]	17.85
W c&e [ton]	3.06
W pr [ton]	2.40
DWT [ton]	72.91

Tabla 22. Resumen de resultados de peso muerto.

Se ha aumentado un 10% al desplazamiento preliminar y se ha comparado con el desplazamiento teórico.

$$\Delta_p = (Peso_{rosca} + DWT) * 1.1 \quad (2.42)$$

$$\Delta = \gamma_{agua\ salada} (C_b \times L_{pp} \times B \times T) \quad (2.43)$$

Δ preliminar [ton]	Δ teórico [ton]	Error
685.59	766.07	11%

Tabla 23. Resumen de desplazamiento de buque.

La diferencia porcentual ha sido calculada como el 11%, lo que indica que se ha podido obtener una aproximación aceptable del peso de los componentes del buque utilizando las fórmulas de Watson y Gilfillan.

2.5 Selección del Prototipo

Se ha seleccionado el yate PASSION, por tener alto coeficiente de transporte además de contar con la información completa obtenida de la Subsecretaría de Puertos, Transporte Marítimo y Fluvial [11]. Se han comparado los parámetros básicos obtenidos de la información del Yate PASSION y los valores que se han calculado regresionalmente para el yate:

PARÁMETROS	YATE DEL PROYECTO	PROTOTIPO YATE PASSION
L [m]	52.63	48.5
L_{pp} [m]	50.53	44.2
B [m]	9.53	8.64
T [m]	2.75	2.7
D [m]	5	4.2
V cruc [kn]	14	10
Fr	0.32	0.24
Δ [Ton]	766.0	583.7
Vol [m³]	747.3	569.4
P [HP]	4400	2000
Area/Pax	25	17
Pasajeros+Crew	23	30
At pax [m²]	575	520
C_b	0.56	0.528
C_m	0.95	0.93

Tabla 24. Comparación de dimensiones principales.

2.5.1 Análisis dimensional

Para conseguir las dimensiones principales del modelo se ha realizado análisis dimensional. Se ha usado lambda cubo, λ^3 , el cual involucra los volúmenes de los barcos, de la siguiente manera:

$$\lambda^3 = \frac{\nabla_p}{\nabla_m} \quad (2.44)$$

$$\lambda = 0.913$$

Se han calculado las dimensiones principales del yate utilizando análisis dimensional siguiendo la ecuación 2.46:

$$\lambda = \frac{L_p}{L_m}, \lambda = \frac{B_p}{B_m}, \lambda = \frac{T_p}{T_m}, \lambda = \frac{D_p}{D_m} \quad (2.45)$$

Dimensiones del Yate Shanthal I	
Eslora [m]	53.1
Manga [m]	9.5
Calado [m]	2.96
Puntal [m]	4.6

Tabla 25. Resultado de análisis dimensional.

2.5.2 Parámetros básicos

De la misma manera que en la sección 2.2, se han determinado los coeficientes de formas y parámetros principales con las nuevas medidas del Yate Shanthal I.

- **Bulbo de proa:** Las ecuaciones que se ha usado se detallaron en la sección 2.1.2, obteniendo como resultados:

Determinación de existencia de bulbo		
Parámetro	Resultado	Criterio
Fr	0.27	NO CUMPLE
L/B	5.59	SI CUMPLE
C bulbo	0.10	SI CUMPLE

Tabla 26. Parámetros para determinación de bulbo.

Debido a que el resultado que se ha calculado del número de Froud no está en el intervalo, se ha inferido que la instalación del bulbo no mejorará la velocidad, sino que puede ser aprovechado para disminuir la aceleración del encabuzamiento. Pero se ha decidido no utilizar.

- **Coefficientes de formas:** Las fórmulas han sido detalladas anteriormente, por lo que se han tenido como resultado lo expresado en la Tabla XXVII:

YATE SHANTHAL I			
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
L [m]	53.1	Cb	0.56
Lpp [m]	50.98	Cm	0.95
B [m]	9.5	Cwl	0.72
T [m]	2.96	KB [m]	1.65
D [m]	4.6	LCB [m]	0.22
V cruc [kn]	12.00	Ixx [m4]	2076.01
Fr	0.27	Iyy [m4]	53338.21
Fvol	0.65	f(Cwp)	0.56
Δ [Ton]	823	BMT [m]	2.52
Vol [m3]	803	BML [m]	66.447
P [HP]	4400	Cb/Cwp	0.780
AREA/PAX	25	KM	4.16
Pasajeros	23	Sw [m2]	420.62
At pax [m2]	575	GT [Ton]	668.36
		NT [Ton]	334.18

Tabla 27. Dimensiones y parámetros principales del Yate Shanthal I.

2.6 Arreglo General

La distribución general del yate se ha realizado basándose en las reglas de las Sociedades Clasificadoras. El modelado del yate se ha diseñado utilizando el software/programa Rhinoceros, Versión 5, como se muestra en la siguiente Figura 2.

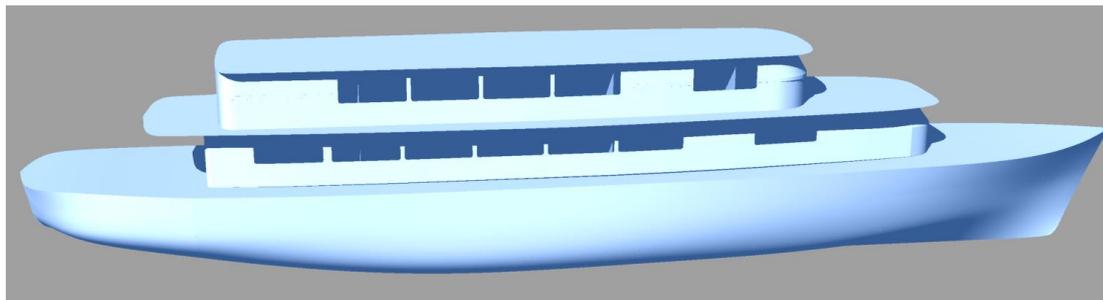


Figura No. 2. Yate Shanthal I modelado en Rhinoceros.
Fuente: Software Rhinoceros – Versión de prueba.

2.6.1 Escantillonado

Se han utilizado las Reglas de la Sociedad Clasificadora Lloyd's Register. Para determinar el espaciamiento entre refuerzos se ha usado la ecuación:

$$s = 470 + \frac{L}{0.6}, \quad [mm] \quad (2.46)$$

$$s = 550 \text{ mm}$$

Se han definido diferentes razones de aspecto para cada una de las partes del yate:

- Fondo: en las zonas de proa, popa y sala de máquinas, la razón de aspecto es de 1:1.
- Costado: depende de la separación entre el palmejar y cubierta. Por lo tanto, la razón de aspecto en los costados es desde 3:1 hasta 4:1.

- Cubierta: Depende de la separación de los longitudinales. Por lo tanto, la razón de aspecto en los costados es desde 3:1 hasta 4:1.

2.6.2 Mamparos transversales

Los mamparos se han determinado haciendo uso de Lloyd's Register, en donde se establece el número recomendado de mamparos que debe tener el buque. Los mamparos se han ubicado respetando el espaciamiento entre refuerzos.

Eslora, LR, en metros		Número total de mamparos	
		Centro del buque	Sala de máquinas a popa
> 15	≤ 25	3	2
> 25	≤ 65	4	3
> 65	≤ 85	4	4
> 85	≤ 90	5	5
> 90	≤ 105	5	5
> 105	≤ 115	6	5
> 115	≤ 125	6	6
> 125	≤ 145	7	6
> 145		Se considerará individualmente	

Tabla 28. Número de mamparos según eslora - Lloyd's Register [12, p. 102].

Según las reglas, la distancia mínima y máxima de separación entre los mamparos más importantes se detallan a continuación:

- **Mamparos de colisión:** se ha empleado lo recomendado en SOLAS [13, p. 29]. Los mamparos de colisión no deben estar ubicados a menos de $0.05 \cdot L_{pp}$ desde la perpendicular y no a más de $0.08 \cdot L$ o $(0.05 \cdot L_{pp} + 3)$ m.
- **Mamparo de sala de máquinas:** Para el largo de la sala de máquinas se ha usado lo recomendado en las fórmulas de Ventura. Es decir, de 2 a 3 veces el largo del motor.

- **Mamparo de división de camarotes:** se ha implementado tres mamparos transversales para la división de camarotes.

2.6.3 Habitabilidad

Para las áreas mínimas permitidas para la habitabilidad de la tripulación se han tomado las expuestas por la Sociedad Clasificadora American Bureau of Shipping [6].

TRIPULANTES	
HABITACIÓN	ÁREA [m ²]
2 personas	7.5
3 personas	11.5
4 personas	14.5
Baño	0.75

Tabla 29. Requerimientos mínimos de habitabilidad - [6].

A continuación, se detalla la distribución en las cubiertas:

- **Bajo cubierta:** siete camarotes para tripulantes, los cuales son para dos, tres o cuatro personas, comedor de tripulantes y cuatro habitaciones (dobles o triples) para pasajeros.
- **Primera cubierta:** un master room, habitación que tiene mayor área para pasajeros; una cocina, un área de comedor para pasajeros y una sala de estar.
- **Segunda cubierta:** Puente de mando, la habitación para el capitán, otra sala de estar para pasajeros y la cubierta de soleo.

2.7 Arquitectura Naval

Para los cálculos de arquitectura naval se ha utilizado el software Maxsurf 20.0, con su módulo de Estabilidad Avanzada. Primero se han ingresado los pesos del buque y luego se han realizado las pruebas a las condiciones específicas en las que el buque va a navegar.

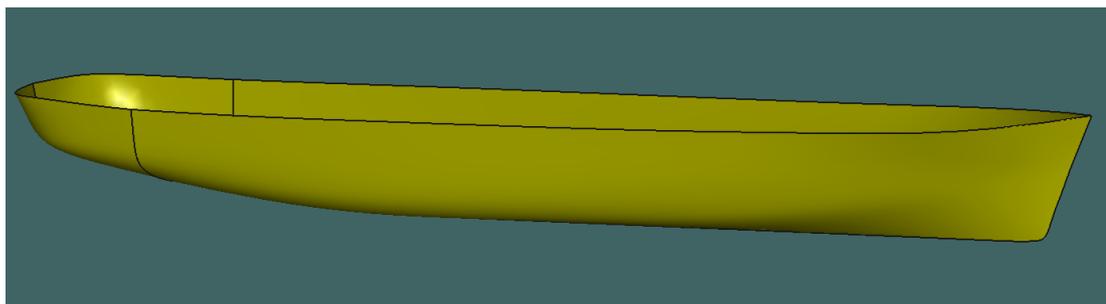


Figura No. 3. Yate Shanthal I en el programa Maxsurf.
Fuente: Maxsurf – Versión de prueba.

2.7.1 Pesos

Se ha detallado los pesos ingresados al software, con su centro de gravedad, se ha tomado como punto de referencia la línea central proporcionada por el mismo software. Finalmente, se han dividido los elementos según el grupo tecnológico al que pertenecen.

Item Name	Unit Mass [ton]	Total Mass [tonne]	Long. Arm [m]	Trans. Arm [m]	Vert. Arm [m]
CASCO	240.31	240.31	-0.796	0	3.09
SUPERESTRUCTURA	117.99	117.99	1.568	0	7.38
SUBTOTAL		358.3	-0.018	0	4.503
MOTOR BABOR – 1500 HP	6.667	6.667	-13.557	-1.481	2.51
MOTOR ESTRIBOR – 1500 HP	6.667	6.667	-13.557	1.481	2.51
BASE DE MOTOR BABOR	3	3	-13.557	0	0
BASE DE MOTOR ESTRIBOR	3	3	-13.557	0	0
REDUCTOR BABOR – 3,429 : 1	0.75	0.75	-15.402	-1.481	2.143
REDUCTOR ESTRIBOR– 3,429 : 1	0.75	0.75	-15.402	1.481	2.143

Tabla 30. Desagregación de pesos en Hydromax – Parte 1.

Item Name	Unit Mass [ton]	Total Mass [tonne]	Long. Arm [m]	Trans. Arm [m]	Vert. Arm [m]
EJE BABOR	1.391	1.391	-19.189	-1.481	1.402
EJE ESTRIBOR	1.391	1.391	-19.189	1.481	1.402
PALA BABOR	1.5	1.5	-24.136	-1.481	1.196
PALA ESTRIBOR	1.5	1.5	-24.136	1.481	1.196
CIRCUITO	7.2	7.2	-13.696	0	4.46
STEERING MACHINE	0.5	0.5	-23.945	0	2.95
VENTILACION	8.6	8.6	-14.432	0	4.017
SUBTOTAL		42.916	-15.046	0	2.617
EQUIPOS AUXILIARES	2.238	2.238	-11.477	1.769	2.45
GENERADOR BABOR - 163 ekW	2.091	2.091	-16.537	-3.275	3.56
GENERADOR ESTRIBOR - 163 ekW	2.091	2.091	-16.537	3.275	3.56
BASE GEN. BABOR	1	1	-16.537	-3.275	2.75
BASE GEN. ESTRIBOR	1	1	-16.537	3.275	2.75
BASES DE EQUIPOS AUXILIARES	2	2	0	0	0
SWITCHBOARD AND CIRCUIT	5	5	-11.145	0	3.326
PLANTA PROCESADORA SEWAGE	4.91	4.91	-17.066	0	2.24
PLANTA TRATADORA AGUA SENTINA	0.365	0.365	0	0	0
PLANTA CENTRIFUGADORA DE DIESEL	0.35	0.35	-11.477	-1.769	2.45
SUBTOTAL		21.045	-12.899	0.159	2.583
PAÑOL DE CADENAS	20	20	22.712	0	3.854
DESALINIZADORA	0.239	0.239	-4.431	0	0.711
SUBTOTAL		20.239	22.391	0	3.817
VIVERES	0.04	1.2	5.708	-0.66	6.245
EQUIPAJE	0.03	0.9	-5.276	0	3.29
TRIPULANTES	0.075	1.35	7.534	0	2.65
PASAJEROS	0.075	0.9	-6.382	0	6.087
SUBTOTAL		4.35	1.501	-0.182	4.485
CAMAROTES_PASAJEROS_HABITABILI	0.14	12.223	-5.276	0	3.29
CAMAROTE_MASTER ROOM_HAB	0.14	4.132	11.738	0	6.215
AREA DE ESTAR_1	0.14	17.99	-6.382	0.13	6.245
AREA DE ESTAR_2	0.14	13.948	-8.182	0	8.795
JACUZZI	1.76	1.76	-15.189	0	8.085

Tabla 31. Desagregación de pesos en Hydromax – Parte 2.

Item Name	Unit Mass [ton]	Total Mass [tonne]	Long. Arm [m]	Trans. Arm [m]	Vert. Arm [m]
CAMAROTES_TRIPULANTES_HABITABI	0.12	11.373	7.534	0	3.33
CAMAROTE_CAPITAN_2TRIP_HABITA	0.12	3.16	2.438	0	8.795
PUENTE DE MANDO	0.12	2.885	6.848	0	8.765
SUBTOTAL		67.471	-2.349	0.035	6.019
DIESEL DAYLY TANK SB	4.459	0	-11.296	3.475	1.821
DIESEL DAYLY TANK BB	4.459	0	-11.296	-3.475	1.821
DIESEL TANK SM2	13.959	0	2.985	0	0.203
DIESEL TANK SM1	13.336	0	-7.754	0	0.254
FRESH WATER TANK	19.634	0	-1.694	0	0.196
LUBE OIL TANK	14.684	0	-11.864	0	0.536
SEWAGE WATER	7.454	0	9.794	0	0.181
BALLAST TANK FW	13.499	0	17.855	0	1.096
BALLAST TANK A.PEAK	20.464	0	-21.477	0	3.575
SUBTOTAL	111.947	0	-5.464	0	2.191
FACTOR DE SEGURIDAD DE PESO	60	60	0	0	0

Tabla 32. Desagregación de pesos en Hydromax – Parte 3.

2.7.2 Condiciones específicas y estabilidad

Se han analizado cuatro condiciones de carga con las que el buque va a navegar en algún punto de su travesía, las cuales son:

- **Condición I.- Salida del puerto**

En la Condición I se ha analizado el buque con los tanques 95% llenos, excepto el tanque de aguas residuales y los tanques de lastre que han de estar prácticamente vacíos (0%).

- **Condición II.- Llegada al puerto**

En esta condición se ha analizado el buque con 10% en los tanques de combustible y agua. Debido al bajo desplazamiento del buque en esta condición, los dos tanques de lastre han de estar al 95% de su capacidad.

- **Condición III.- 95% combustible y 10% consumibles**

En esta condición se ha realizado el análisis con los tanques de combustible al 95%, el tanque de agua a 10% y los tanques de lastre al 0% de su capacidad.

- **Condición IV.- 10% combustible y 95% consumibles**

En esta condición, los tanques de combustible han de estar al 10%, el tanque de agua al 95% y los tanques de lastre al 0% de su capacidad.

Estas condiciones han sido probadas en el software Maxsurf - Stability y los resultados son presentados en el Anexo A. En estas pruebas se ha buscado que el asiento de la embarcación sea menor al 1% de la eslora del buque.

2.7.3 Criterios

Se han aplicado los criterios de estabilidad y meteorológicos a las tres primeras condiciones de carga especificadas en la sección 2.7.2. Los criterios se describen a continuación:

- **Criterios de estabilidad:** Todos los buques, de manera general, deben cumplir con los siguientes requisitos [14]:
 - El GZ mínimo, a una escora mayor o igual a 30°, es de 0.20 metros.
 - El ángulo de escora mínimo, para obtener el GZ máximo, es de 25°.
 - El GM mínimo es de 0.15 metros.
 - Para barcos de pasaje, el ángulo de escora producido por la aglomeración de pasajeros en una banda no excederá de 10°.
 - El área mínima, entre 0° y 30° bajo la curva de GZ, es 0.055 m rad.

- El área mínima, entre 0° y 40° bajo la curva de GZ, es 0.095 m rad.
 - El área mínima, entre 30° y 40° bajo la curva de GZ, es 0.030 m rad.
 - Criterio meteorológico: bajo un viento cuya presión es de aproximadamente 504 N/m^2 y olas actuando transversalmente al buque, el área de la curva de brazos de adrizamiento (tras sustraerle el brazo escorante generado por el viento y las olas) a la izquierda del ángulo de equilibrio alcanzado (área A), debe ser menor o igual que la situada a la derecha (área B).
- **Criterios meteorológicos:** Se ha aplica el código internacional de estabilidad sin avería. Se debe demostrar la capacidad del buque para resistir los efectos combinados del viento de través y del balance, con referencia a la figura 4 del modo siguiente [15]:

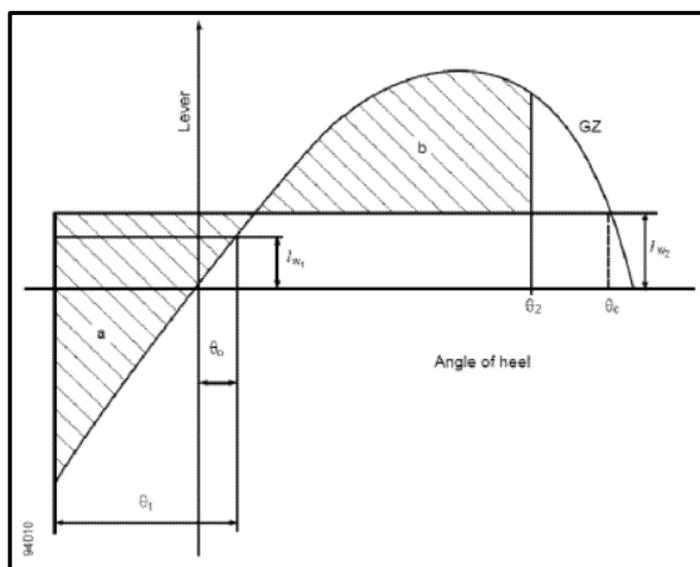


Figura No. 4. Vientos intensos y balance.
Fuente: [15].

- Se someterá el buque a la presión de un viento constante que actúe perpendicularmente al plano de crujía, lo que dará como resultado el correspondiente brazo escorante (l_{w1}).
- Se supondrá que a partir del ángulo de equilibrio resultante (θ_0), el buque se balancea por la acción de las olas hasta alcanzar un ángulo de balance (θ_0) a barlovento. El ángulo de escora provocado por un viento constante (θ_0), no deberá exceder los 16° o al 80% del ángulo de inmersión del borde de cubierta, si éste ángulo es menor.
- Se someterá al buque a la presión de una ráfaga de viento que dará como resultante el correspondiente brazo escorante (l_{w2}).

En estas circunstancias, el área b debe ser igual o superior al área a, como se indica en la figura 4.

Las ecuaciones y la nomenclatura que se ha detallado se encuentran en el Anexo B. Los resultados de los criterios para las diferentes condiciones a estudiarse se han presentado en el Anexo C.

2.8 Resistencia Estructural

Se ha realizado el análisis de la estructura del yate de pasajeros, de acuerdo a las regulaciones dispuestas por la Sociedad Clasificadora Lloyd's Register y DNV. Cabe indicar que el yate cuenta con doble fondo continuo debajo del espacio designado para la habitabilidad de los pasajeros. El espaciamiento entre refuerzos se ha determinado de 550 mm y se ha realizado el escantillonado del yate utilizando el software Special Service Craft (SSC).

2.8.1 Esfuerzo longitudinal

El esfuerzo longitudinal del buque se ha estimado determinando el momento flector, el cual se detalla a continuación:

- **Momento flector:** Se ha aplicado la formulación expuesta por la Sociedad Clasificadora DNV – GL.

Momento flector en aguas tranquilas:

$$M_{so} = 0.0052 L^3 B (C_b + 0.7) \text{ [kN m]} \quad (2.47)$$

$$M_{so} = 0.0052 (53.1)^3 (9.5) (0.6 + 0.7)$$

$$M_{so} = 9615.10 \text{ [kN m]}$$

Momento flector en arrufo:

$$M_{wo} = 0.11 C_w L^2 B (C_b + 0.7) \text{ [kN m]} \quad (2.48)$$

$$M_{wo} = 0.11 (0.0792 * 53.1)(53.1)^2(9.5)(0.6 + 0.7) \text{ [kN m]}$$

$$M_{wo} = 16108.99 \text{ [kN m]}$$

Momento flector en quebranto:

$$M_{wo} = 0.19 C_w L^2 B C_b \text{ [kN m]} \quad (2.49)$$

$$M_{wo} = 0.19(0.0792 * 53.1)(53.1)^2(9.5)(0.6) \text{ [kN m]}$$

$$M_{wo} = 12842.13 \text{ [kN m]}$$

donde:

C_w Coeficiente de olas, igual a $0.0792 \cdot L$.

C_b es frecuentemente no menor a 0.6.

Al ser el coeficiente de bloque del yate de 0.56, se utiliza 0.6 para el cálculo.

M_w es tomado igual a M_{wo} entre $0.4 L$ y $0.65 L$ desde la perpendicular de popa. Fuera de esta región M_w puede ser reducida linealmente a cero desde F.P. y A.P.

Se representa el momento flector como se muestra en la siguiente figura.

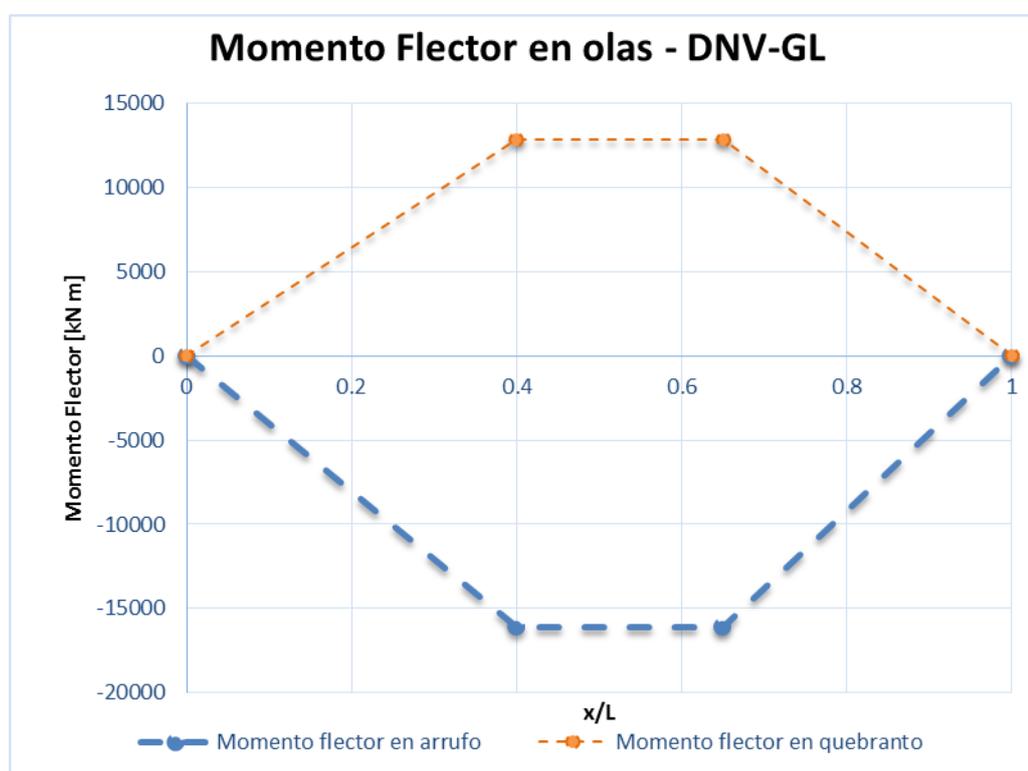


Figura No. 5. Momentos Flectores, DNV – GL.

Fuente: Autor.

2.8.2 Presiones de diseño

Las ecuaciones para determinar las presiones de diseño han sido tomadas de las Reglas de Lloyd's Register, las cuales están en el Anexo D.

La Tabla XXXIII presenta los resultados obtenidos de las presiones de diseño del Yate Shantal I.

BLOQUES	PRESIONES DE DISEÑO [kN/m ²]		
	Fondo	Costado	Doble Fondo
B1 - PROA	93.08	79.67	52.69
B2	86.72	78.17	47.41
B3	75.32	67.72	39.14
B4	73.26	57.47	39.14
B5	73.26	57.47	38.25
B6	70.28	57.47	36.26
B7 - POPA	67.97	57.47	36.26

Tabla 33. Presiones de diseño del Yate Shantal I.

2.8.3 Arreglo estructural

El arreglo estructural del Yate Shantal I ha sido definido como cuadernaje transversal, teniendo una separación entre refuerzos de 0.55 m. El buque consta de 6 mamparos, 24 bulárcamas, 1 palmejar, 2 esloras, 3 longitudinales de cubierta y varias cuadernas. Adicionalmente, está compuesto de un doble fondo corrido bajo la habitabilidad, ubicado a 1.65 m de altura desde la línea base.

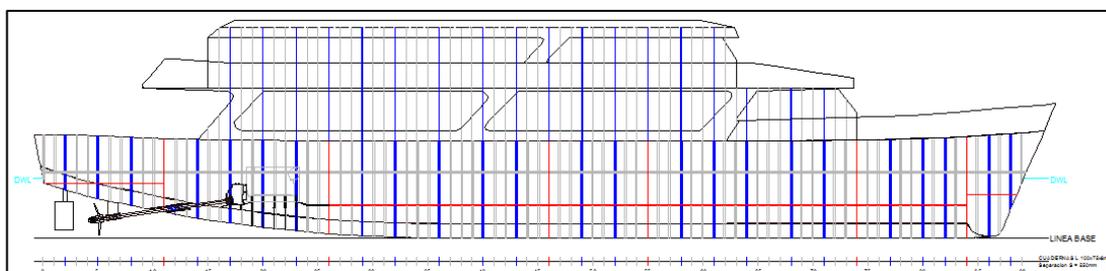


Figura No. 6. Arreglo estructural del Yate Shantal I.

Fuente: AutoCAD.

2.8.4 Espesor de planchaje y refuerzos

El espesor de planchaje mínimo ha sido determinado utilizando las ecuaciones proporcionadas por Det Norske Veritas – Germanischer Lloyd (DNV – GL).

En la Tabla XXXIV se compara el espesor mínimo requerido por la regla con el espesor adoptado, el cual se lo ha determinado con el Software Special Service Craft (SSC).

ESPEORES EN CASCO [mm]		
PLANCHAJE	t min DNV-GL	t adoptado SSC
Fondo	9	9
Doble fondo	9	9
Costado	8	8
Cubierta	5	5
Quilla	11	30
Cuadernas	7	8
Center girder - Side girder	8	13
Bulárcamas	8	10
Eslora	8	10
ESPEORES EN SUPERESTRUCTURA [mm]		
Ref. Secundarios	7	8
Ref. Primarios	8	10

Tabla 34. Espesores de planchaje y refuerzos.

2.8.5 Escantillonado de refuerzos

El escantillonado de los refuerzos y las planchas se lo ha realizado usando el software SSC. Los datos de entrada para calcular una bulárcama de fondo, ubicada a 25.85 m desde la perpendicular de popa, se ilustran en la Figura No. 6:

	Property	Units	Entered	Derived	Required
1	Steel		Steel		
2	Effective Span	m	2.952		
3	Stiffener Spacing	m	1.650		
4	Thickness of Attached Plate	mm	9.000		
5	Width of Attached Plate	mm	729.503		
6	Profile		T 200*10+100*10		Pass
7	Section Modulus	cm ³	296.294		295.398
8	Inertia	cm ⁴	4,842.963		2,081.252
9	Web Area	cm ²	19.000		10.399
10	Angle of Web to Plate	deg	90.000		
11	Below Tangential Point		Yes		
12	Height above Base	m	0.000		
13	Distance FWD of AP	m	25.850		
14	Design Pressure	kN/	37.658	37.658	
15	Vertical distance of under	m	0.000		

Figura No. 7. Datos de bulárcama de fondo.

Fuente: SSC – Evaluation Mode.

El elemento estructural ha sido definido en el software de la manera indicada en la figura 7.

	Property	Units	Entered
1	Fabrication Type		Built
2	Web depth - dw	mm	190.000
3	Web thickness - tw	mm	10.000
4	Flange breadth	mm	100.000
5	Flange thickness	mm	10.000
6	Web area	cm ²	19.000
7	Flange area	cm ²	10.000
8	Section modulus XX	cm ³	94.807
9	Section modulus YY	cm ³	16.983
10	Inertia XX	cm ⁴	1,227.589
11	Inertia YY	cm ⁴	84.917
12	Total area	cm ²	29.000
13	Inertia XY	cm ⁴	0.000
14	Centroid X	cm	0.000
15	Centroid Y	cm	12.948
16	Inertia XX'	cm ⁴	1,227.589
17	Inertia YY'	cm ⁴	84.917
18	Principal axis angle	deg	0.000

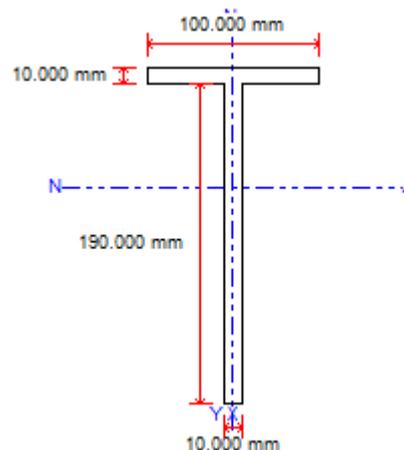


Figura No. 8. Refuerzo en T 200x10+100x10 mm.

Fuente: SSC – Evaluation Mode.

Se han seleccionado refuerzos en “Tee” para los refuerzos primarios, en “L” para los refuerzos secundarios y “Flat Bar” para los refuerzos de la superestructura. A continuación se detallan los refuerzos seleccionados en la Tabla XXXV.

REFUERZOS	ALMA (mm)	ALA (mm)	ESPESOR (mm)
CENTRE GIRDER (TEE)	630	400	13
SIDE GIRDER (TEE)	400	200	13
PLATE FLOOR (TEE)	200	150	12
BOTTOM TRANSVERSAL WEB FRAME (TEE)	200	100	10
BOTTOM TRANSVERSAL FRAME (L)	100	75	8
REFUERZO LONGITUDINAL (TEE)	80	80	10
SIDE TRANSVERSAL WEB FRAME (TEE)	200	100	10
SIDE TRANSVERSAL FRAME (L)	100	75	8
BAOS - BULARCAMAS DEL WEATHER DECK (TEE)	200	100	10
BAOS - CUADERNA WEATHER DECK (L)	100	100	10
ESLORAS (TEE)	200	100	10
SUPERESTRUCTURA			
SIDE TRANSVERSAL WEB FRAME (FB)	120		10
SIDE TRANSVERSAL FRAME (L)	90		8
REFUERZO VERTICAL_FRONT	120		10
REFUERZO VERTICAL_AFT	90		8
BAOS - BULARCAMAS DEL WEATHER DECK	120		10
BAOS - CUADERNA WEATHER DECK	90		8
ESLORAS	120	80	10

Tabla 35. Refuerzos de casco del Yate Shanthal I.

2.9 Análisis de Resultados

A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos en el presente capítulo:

- ✓ Las dimensiones principales del yate en una primera instancia han sido obtenidas mediante un método estadístico, el método de regresión lineal. Además de los parámetros determinados por este método, se usaron fórmulas empíricas y se determinó que el barco es de desplazamiento y que no requiere de un bulbo.
- ✓ Se han calculado los coeficientes de formas del buque mediante ecuaciones propuestas en Métodos de Estimación [8], para de esta manera tener una mejor aproximación de las formas de yate.
- ✓ Se ha determinado la dotación mínima requerida en el buque de pasajeros por la Autoridad Marítima del Ecuador.
- ✓ Se ha obtenido una aproximación de pesos usando las ecuaciones propuestas en el libro El proyecto básico del buque mercante [9]. Para determinar el porcentaje de error con la forma teórica de encontrar el desplazamiento del buque.
- ✓ Se ha seleccionado el prototipo con el que se va a trabajar, teniendo en cuenta que se selecciona un prototipo cuyo coeficiente de transporte es alto además de que se posee mayor información. Adicionalmente, se ha realizado el análisis dimensional y se han obtenido los parámetros básicos del buque con nuevas dimensiones.
- ✓ Se ha determinado el arreglo general del buque, basándose en el espaciamiento propuesto por la Sociedad Clasificadora Lloyd's Register. Además, se ha definido el número de mamparos que debe llevar el buque como mínimo y la cantidad adoptada. Con respecto a la habitabilidad, se ha distribuido el área tanto para pasajeros como para tripulantes, cumpliendo con las normas de espacios mínimos para habitabilidad de pasajeros y considerando el área de confort mínima para pasajeros.

- ✓ Se ha realizado el escantillonado del buque, comparando los resultados obtenidos de forma manual con los del software SSC. Consecuentemente, se han determinado espesores de planchaje y refuerzos, y el tipo de elementos a utilizar como refuerzos primarios y secundarios.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DEFINITIVO - OPTIMIZACIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL USANDO SAP2000

3.1 Alcance del diseño definitivo

El diseño definitivo del yate de doce pasajeros se ha desarrollado con el objetivo de mejorar las formas del buque y de optimizar la estructura del mismo.

Las formas del buque han sido mejoradas utilizando series acorde a este tipo de barco, para minimizar el consumo de combustible y mejorar la estabilidad. Se ha optimizado la estructura para minimizar los costos, tanto de construcción como de mano de obra.

Para conseguir esto, se ha implementado un código programado en Matlab R2014b, en el cual, se ha tomado como base una biblioteca creada en Excel con las dimensiones principales de veintisiete prototipos. Se ha usado un método de optimización, el cual presenta el prototipo que minimiza costos y cumple con los requerimientos y las restricciones establecidas por las Sociedades Clasificadoras.

El código y los resultados obtenidos por Matlab son validados por programas del área naval, los cuales fueron utilizados y descritos durante el diseño preliminar. Se ha presentado la comparación entre el diseño preliminar y el definitivo.

3.2 Optimización de formas

Para la mejora de las formas se ha determinado que los rangos de parámetros de forma que expresan las Series VTT [16], están acorde con el tipo de barco y su diseño. Para realizar esto, se ha seguido el procedimiento explicado en la Figura 8.

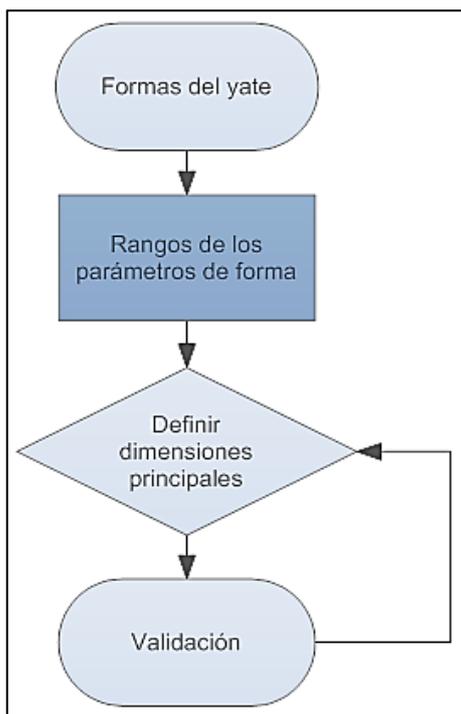


Figura No. 9. Diagrama de flujo de optimización de formas.
Fuente: Autor.

Después que se ha definido las dimensiones y parámetros principales, se valida la resistencia, la estabilidad con las condiciones de carga expuestas en el diseño preliminar, el asiento del buque, la longitud inundable y el francobordo. Una vez que se han obtenido estos resultados, se calcula el Tonelaje de Registro Bruto y Tonelaje de Registro Neto.

Posteriormente, se determina el rango de la matriz de prototipos a usar. Las dimensiones principales se exponen en la Tabla XXXVI.

	P1	P2	P3
L [m]	51.31	52.42	53.53
B [m]	8.82	8.82	8.82
D [m]	4.89	4.89	4.89
	P4	P5	P6
L [m]	51.31	52.42	53.53
B [m]	9.07	9.07	9.07
D [m]	4.89	4.89	4.89
	P7	P8	P9
L [m]	51.31	52.42	53.53
B [m]	9.32	9.32	9.32
D [m]	4.89	4.89	4.89
	P10	P11	P12
L [m]	51.31	52.42	53.53
B [m]	8.82	8.82	8.82
D [m]	4.63	4.63	4.63
	P13	P14	P15
L [m]	51.31	52.42	53.53
B [m]	9.07	9.07	9.07
D [m]	4.63	4.63	4.63
	P16	P17	P18
L [m]	51.31	52.42	53.53
B [m]	9.32	9.32	9.32
D [m]	4.63	4.63	4.63
	P19	P20	P21
L [m]	51.31	52.42	53.53
B [m]	8.82	8.82	8.82
D [m]	4.76	4.76	4.76
	P22	P23	P24
L [m]	51.31	52.42	53.53
B [m]	9.07	9.07	9.07
D [m]	4.76	4.76	4.76
	P25	P26	P27
L [m]	51.31	52.42	53.53
B [m]	9.32	9.32	9.32
D [m]	4.76	4.76	4.76

Tabla 36. Matriz de prototipos.

PARÁMETROS	RANGO VTT SERIE	PASSION	SHANTHAL I
$L[m]/(\text{vol}^{1/3})$	4.47 - 8.30	5.92	5.86
L/B	3.33 - 8.21	5.61	5.30
B/T	1.72 -10.21	3.2	3.47
Cb	0.397 - 0.60	0.528	0.502
LCB	-3.104	-0.619	-1.548
Fn volumen	1.8-3.2	0.57	0.31
Mitad de ángulo de entrada	14°-22°	18	18
Ángulo Forefoot	6	7	7

Tabla 37. Rango y definición de parámetros – Series VTT.

Los parámetros de los veintisiete prototipos deben estar dentro del rango de las series sistemáticas que se han escogido. En el Anexo E se presenta que los parámetros de los prototipos a analizar han cumplido con las Series VTT.

3.3 Optimización de la estructura del yate

La importancia de optimizar la estructura del buque ha sido porque de esta manera se reduce el peso de la estructura y con esto, se minimiza el costo. Por lo que se ha implementado una subrutina en Matlab, dando cumplimiento a los requerimientos de las Sociedades Clasificadoras.

Para optimizar la estructura, el buque se ha dividido en 9 compartimentos. La función objetivo se ha definido como el costo total de la embarcación, siendo las variables de diseño: tipo de arreglo utilizado, espaciamiento entre refuerzos primarios, secundarios, etc. Las restricciones han sido dadas por las Reglas y por las dimensiones principales de los prototipos a usar.

El procedimiento que se ha seguido, se representa en la siguiente figura 9, con un diagrama de flujo.

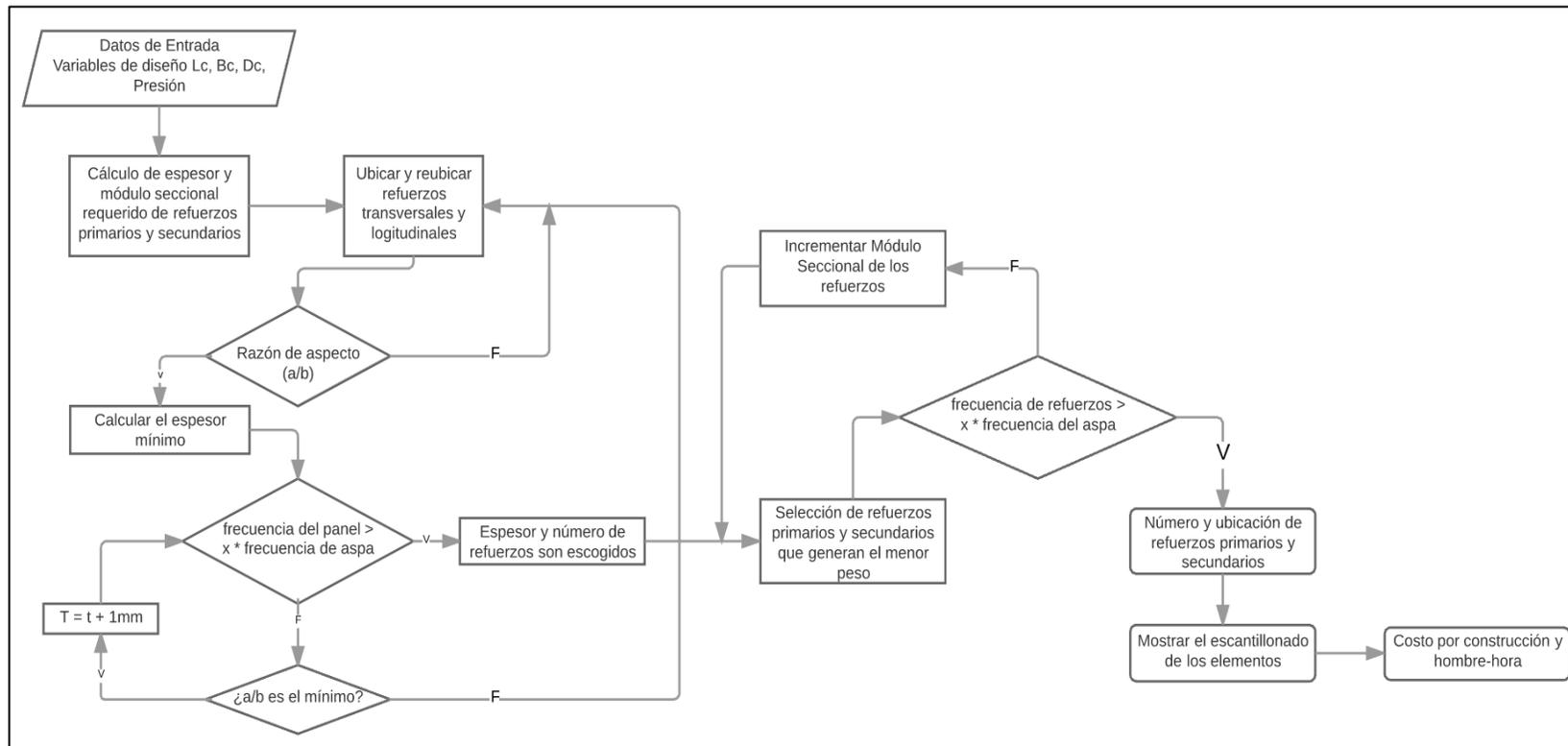


Figura No. 10. Diagrama de flujo de la optimización estructural del yate Shanthal I.
Fuente: Autor.

Se ha realizado el código de la subrutina en Matlab para que lea una base de datos de un archivo de Excel, el cual contiene las dimensiones principales de los prototipos (eslora, manga y puntal) y la presión de diseño, estos valores dependen de la ubicación del compartimento.

En los siguientes subcapítulos se han descrito las restricciones de las Reglas de Lloyd's Register. Luego, se ha establecido la ubicación y número de refuerzos primarios de cada compartimento, considerando el máximo espaciamiento permitido por la regla.

El programa estima la ubicación de los refuerzos secundarios transversales y longitudinales, se ha verificado la razón de aspecto que depende del lugar en donde se encuentren, si es mayor al permitido, se determina otro número de refuerzos.

La subrutina ha determinado el espesor del planchaje que depende del compartimento y la sección a analizar, cumpliendo los mínimos requeridos por la regla y soportando la carga de diseño. Después, el programa ha escogido los refuerzos primarios y secundarios desde la biblioteca de refuerzos, basándose en el módulo seccional del mismo. Se ha calculado que la frecuencia natural de las planchas y de los elementos sea mayor que la frecuencia del aspa, valor que aumenta en un porcentaje dependiendo de la ubicación. Si el módulo seccional o la frecuencia no pasan, se prueba con el siguiente. Una vez que se han seleccionado los elementos que cumplen, se determina el peso de la estructura.

El peso de la estructura se ha incrementado un porcentaje Λ , calculado entre la comparación del peso estimado por Matlab y el peso obtenido utilizando Orca 3D, una opción en Rhinoceros. Para aproximar el peso debido a soldadura, escuadras, etc, se ha incrementado este valor un factor λ ; luego, se ha determinado el nuevo costo debido a este incremento de peso.

3.3.1 Función Objetivo

La función objetivo para el Grupo Tecnológico 100, correspondiente a estructura, se la ha definido de la siguiente manera:

$$\text{Minimizar: } F(x) = C(x) \quad (3.1)$$

$$C(x) = \sum C_{mat}(x) + \sum C_{H-H}(x) \quad (3.2)$$

$$C_{mat}(x) = P \sum_{i=1}^n W_{ci} \quad (3.3)$$

donde:

$C(x)$	Costo total de la estructura de la embarcación incluidos los materiales y la mano de obra, [\$]
$C_{mat}(x)$	Costo de materiales requeridos para la estructura del yate. Los materiales considerados son planchas y refuerzos, [\$]
P	Costo del acero por tonelada, [\$/ton]
n	Número de compartimentos
i	= 1, 2, ..., 10. Compartimentos considerados
W_{ci}	Peso de los elementos estructurales de cada compartimento, [ton]
$C_{H-H}(x)$	Costo debido a la mano de obra, depende de la geometría y la ubicación del compartimento. El costo se incrementará dependiendo del elemento estructural referenciado de [17].

A continuación se muestra en la Figura 10 los compartimentos que se han analizado para determinar el costo total del buque:

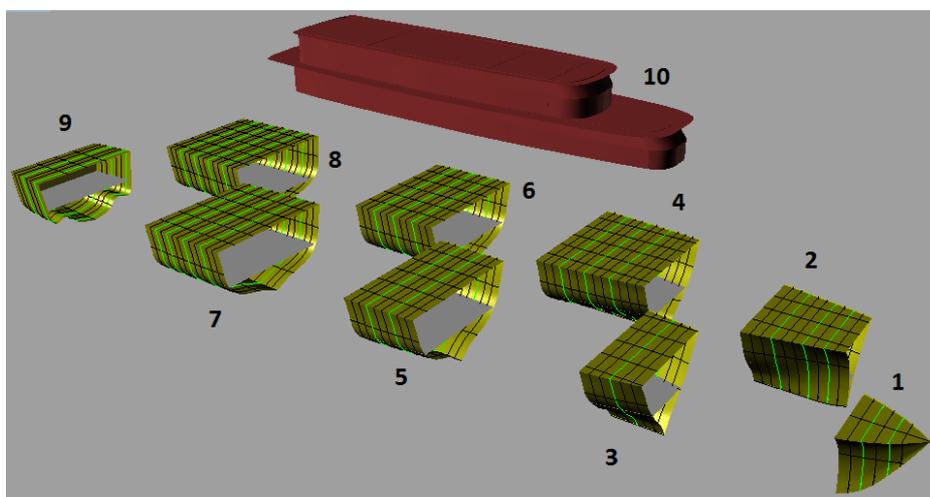


Figura No. 11. Vista en 3D de los compartimentos, están separados intencionalmente.
Fuente: Rhinoceros – Versión de prueba.

3.3.2 Descripción de un compartimento típico.

El peso de la estructura se ha calculado considerando planchas, refuerzos primarios, refuerzos secundarios y puntales de cada sector. Para realizar este cálculo se ha dividido por sector de cubierta, costados, doble fondo y fondo. La Figura 11 muestra un compartimento del yate:

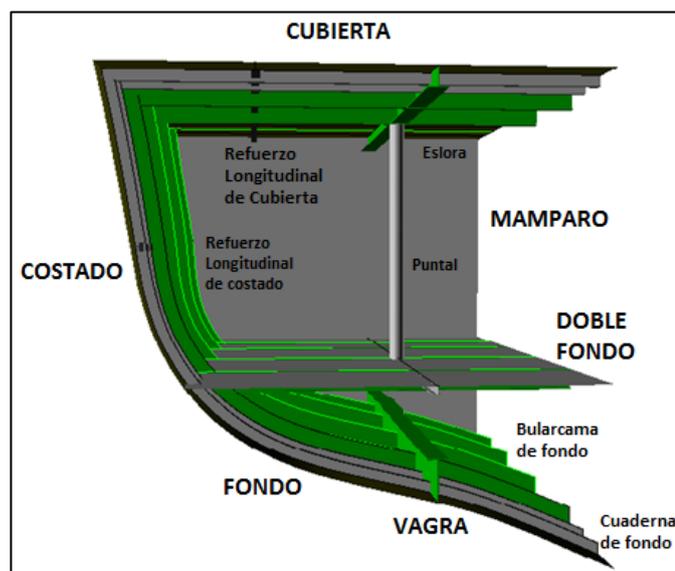


Figura No. 12. Descripción de un bloque típico.
Fuente: Rhinoceros – Versión de prueba.

3.3.3 Variables de diseño

Las variables de diseño que han sido declaradas en el programa son:

- Número de refuerzos longitudinales en la cubierta
- Número de refuerzos longitudinales en el fondo
- Número de baos de cuadernas
- Número de cuadernas en el fondo
- Número de cuadernas

3.3.4 Variables predefinidas

Geometría del yate y configuración estructural

Las variables que se han predefinido son:

- Longitud del compartimento, L , [m]
- Manga del compartimento, B , [m]
- Puntal del compartimento, D , [m]
- Número de refuerzos primarios transversales y longitudinales
- Ubicación del refuerzo longitudinal de costado
- Posición de los puntales

El número de bulárcamas se han definido según el diseño preliminar, la ubicación del refuerzo longitudinal de costado depende de la altura entre la el doble fondo y la cubierta principal. Las dimensiones de cada compartimiento se han definido como un porcentaje de la eslora total basado en el arreglo del diseño preliminar. La posición de los pilares se ha determinado por la intersección entre la bulárcama de fondo y la vagra con la intersección del bao de bulárcama y la eslora. La posición del puntal no debe interferir en la comodidad y habitabilidad de los pasajeros.

Número de refuerzos primarios.

Se predefine el número de refuerzos primarios en cada compartimento del buque.

	# BULÁRCAMAS [TOTAL]	# ESLORAS [TOTAL]	# VAGRAS [TOTAL]	CENTER GIRDER	LONGITUDINAL DEL DOBLE FONDO
B1 [peak de proa]	2	1	0	0	1
B2 [lavandería]	3	3	0	1	1
B3 [tripulación]	1	3	0	1	1
B4 [tripulación]	3	3	2	1	2
B5 [tripulación]	2	3	2	1	2
B6 [Pasajeros]	3	3	2	1	2
B7 [Pasajeros]	4	3	2	1	2
B8 [Sala de máquinas]	4	3	2	1	
B9 [peak de popa]	2	3	2	1	

Tabla 38. Número de refuerzos primarios en compartimentos.

Presiones de diseño.

Las presiones de diseño se han calculado como se describe en el Anexo D, y los valores han sido obtenidos del Software Special Service Craft de Lloyd's Register, se presentan en la Tabla XXXIX:

COMPARTIMENTOS	DIMENSIONES [m]			PRESIÓN DE DISEÑO [kN/m ²]		
	L	B	D	Fondo	Costado	Doble fondo
B1 - PROA	3,8	3,76	4,73	93,078	79.671	52.691
B2	5,5	6,05	4,95	86,723	78.174	47.407
B3	3,3	7,42	5	75.315	67.718	39.142
B4	7,15	8,8	5	73.263	57.465	39.142
B5	4,95	9,44	5	73.263	57.465	38.247
B6	6,6	9,53	5	73.263	57.465	36.079
B7	7,15	9,34	4,68	73.263	57.465	36.258
B8	8,25	8,65	4,47	70.275	57.465	36.258
B9 - POPA	3,85	8,02	4,28	67.965	57.465	36.258

Tabla 39. Dimensiones y presiones de diseño de compartimentos.

3.3.5 Restricciones

Restricciones estructurales

- Espesor mínimo (Lloyd's Register and DNV)
- Módulo seccional requerido (Lloyd's Register and DNV)
- Áreas seccionales mínimas (Lloyd's Register and DNV)
- Frecuencia mínima (GL)

Restricciones geométricas

- Razón de aspecto del panel: $1 \leq a/b \leq 4$
- Espaciamiento entre refuerzos secundarios: $300 \text{ mm} \leq s \leq$

s_{LR}

$$s_{LR} = 470 + \frac{L_R}{0.6} \quad (3.4)$$

$$L_R = 0.965L_{WL} \quad (3.5)$$

donde:

s_{LR} Espaciamiento de la Regla por Lloyd's Register, [mm]

L_R Eslora de la Regla, [m]

L_{WL} Eslora en la línea de agua de verano, [m]

- Altura mínima de la vagra y el center girder: $d_w > 550 \text{ mm}$

- Máximo espaciado entre refuerzos primarios acorde a Lloyd's Register están definidos en la Tabla XL.

ELEMENTO ESTRUCTURAL	ESPACIAMIENTO MAXIMO [m]
Refuerzos primarios	3.50
Bulárcamas del fondo	3.00
Palmejares	2.80
Refuerzos primarios de cubierta	2.50

Tabla 40. Espaciado entre refuerzos primarios.

Restricciones del material

- Espesores de plancha: 1 mm a 12 mm
- Perfiles: platinas, ángulos y refuerzos en Tee

3.3.6 Frecuencia natural de refuerzos y planchas

Determinar las frecuencias de los refuerzos y planchas ha sido útil para la resistencia estructural del buque y evitar resonancia entre la frecuencia de los elementos y la frecuencia que emite el sistema propulsor.

Se ha determinado la frecuencia del aspa de la embarcación para tener una referencia para el factor por el cual se debe multiplicar para el cálculo de la frecuencia en refuerzos y planchas:

$$f_{blade} = \frac{Z \cdot N}{R \cdot (60)} \quad (3.6)$$

$$f_{blade} = \frac{4 \cdot 1800}{6 \cdot (60)} = 20 \text{ Hz}$$

donde:

Z	número de aspas de la hélice
N	revoluciones del motor
R	razón de reducción

Las frecuencias de los refuerzos primarios, secundarios y de las planchas, dependen específicamente de la ubicación del elemento. A continuación se muestra el incremento a la frecuencia del aspa (f_{blade}) para tener como referencia en la frecuencia de los refuerzos y planchas.

	$\alpha \geq 0.3$			$\alpha < 0.3$	
	$0 < d_r \leq 1$	$1 < d_r \leq 2$	$2 < d_r \leq 3$	$0 < d_r \leq 1$	$1 < d_r \leq 3$
$f_{plancha} >$	$4.40 f_{blade}$	$3.45 f_{blade}$	$2.40 f_{blade}$	$3.45 f_{blade}$	$2.40 f_{blade}$
$f_{refuerzo} >$	$4.40 f_{blade}$	$3.45 f_{blade}$	$2.40 f_{blade}$	$3.45 f_{blade}$	$2.40 f_{blade}$

Tabla 41. Incremento a la frecuencia del aspa.

donde:

$f_{plancha}$ frecuencia natural más baja de una plancha isotrópica teniendo en cuenta el equipamiento y las masas hidrodinámicas, [Hz]

$f_{refuerzo}$ frecuencia natural más baja de un refuerzo teniendo en cuenta el equipamiento y las masas hidrodinámicas, [Hz]

$\alpha = P/\Delta =$ motor principal [kW] / desplazamiento [ton]

$d_r = r/d_p =$ distancia entre plancha y hélice [m] / diámetro de la hélice [m]

Las frecuencias que se han utilizado en las otras partes del buque son las siguientes:

	FRECUENCIAS CRITICAS [Hz]	SECCIONES
f_n (plancha or refuerzo) >	$1.2 * 4 f_{blade}$	Fondo
f_n (plancha or refuerzo) >	$1.1 * 2 f_{blade}$	Costado y mamparos
f_n (plancha or refuerzo) >	$1.1 f_{blade}$	Cubierta y superestructura

Tabla 42. Incremento en la frecuencia del aspa por secciones.

En el Anexo D se ha presentado el cálculo de la frecuencia natural de la plancha y de los refuerzos.

3.3.7 Determinación de la geometría de los elementos estructurales

Las ecuaciones para la determinación de espesores de planchas, de refuerzos; del módulo seccional, área e inercia de los refuerzos han sido utilizadas de la Regla Lloyd's Register.

3.3.8 Función Objetivo de la optimización estructural

El costo total ha sido considerado como la función objetivo del análisis de optimización. Se ha determinado mediante el código de optimización estructural, costos de construcción y mano de obra, el peso de cada compartimento y los hombre-hora. Este análisis se realizó para todos los prototipos y en la siguiente tabla se presenta un resumen de los resultados.

MATRIZ DE PROTOTIPOS Y CARACTERÍSTICAS							
PROT.	Lp [m]	Bp [m]	Dp [m]	Tp [m]	Peso [ton]	[HH]	Costo [\$]
P 1	51.31	8.82	4.89	2.87	132.20	79396.18	\$ 3,134,482.03
P 2	52.42	8.82	4.89	2.835	135.16	80520.38	\$ 3,138,254.11
P 3	53.53	8.82	4.89	2.801	136.99	81186.98	\$ 3,140,566.52
P 4	51.31	9.07	4.89	2.824	135.55	80727.18	\$ 3,138,833.67
P 5	52.42	9.07	4.89	2.79	138.58	81878.88	\$ 3,142,703.61
P 6	53.53	9.07	4.89	2.757	140.31	82502.58	\$ 3,144,876.74
P 7	51.31	9.32	4.89	2.781	137.93	81642.38	\$ 3,141,870.21
P 8	52.42	9.32	4.89	2.747	141.01	82811.68	\$ 3,145,802.89
P 9	53.53	9.32	4.89	2.725	142.97	83528.88	\$ 3,148,284.08
P 10	51.31	8.82	4.63	2.805	136.34	77233.58	\$ 3,126,291.69
P 11	52.42	8.82	4.63	2.77	129.63	78797.78	\$ 3,131,417.75
P 12	53.53	8.82	4.63	2.737	132.33	79829.58	\$ 3,134,865.68
P 13	51.31	9.07	4.63	2.76	128.86	78505.18	\$ 3,130,429.05
P 14	52.42	9.07	4.63	2.726	133.04	80151.88	\$ 3,135,849.40
P 15	53.53	9.07	4.63	2.693	135.85	81230.98	\$ 3,139,445.49
P 16	51.31	9.32	4.63	2.717	131.40	79480.88	\$ 3,133,692.41
P 17	52.42	9.32	4.63	2.683	135.57	81123.18	\$ 3,139,083.43
P 18	53.53	9.32	4.63	2.651	138.44	82224.28	\$ 3,142,755.31
P 19	51.31	8.82	4.76	2.838	130.60	78809.88	\$ 3,132,422.67
P 20	52.42	8.82	4.76	2.803	133.17	79805.38	\$ 3,135,737.77
P 21	53.53	8.82	4.76	2.769	135.34	80583.08	\$ 3,138,446.98
P 22	51.31	9.07	4.76	2.792	133.77	80064.98	\$ 3,136,533.38
P 23	52.42	9.07	4.76	2.758	136.51	81130.88	\$ 3,140,071.08
P 24	53.53	9.07	4.76	2.725	138.66	81900.88	\$ 3,142,757.30
P 25	51.31	9.32	4.76	2.749	136.32	81053.88	\$ 3,139,810.46
P 26	52.42	9.32	4.76	2.715	139.02	82097.78	\$ 3,143,277.79
P 27	53.53	9.32	4.76	2.683	141.32	82927.18	\$ 3,146,164.13
P 28	50.53	9.53	5	2.802	140.80	82525.68	\$ 3,145,261.47

Tabla 43. Matriz de dimensiones y Costo total por prototipo.

3.3.9 Aplicación del método de optimización – Algoritmo Genético

El algoritmo Genético se ha elegido porque resuelve problemas con restricciones y sin restricciones. Se ha generado la función del algoritmo basada en los resultados de costos presentados anteriormente. Dicha ecuación involucra las dimensiones principales de los prototipos. En la siguiente Figura 12 se presenta la ecuación usada.

$$\begin{aligned}
y = & +0. *x(3) + 0. *x(3) .^2 + 0. *x(3) .^3 + 0. *x(3) .^4 + 0. *x(2) + 0. *x(2) . *x(3) + 0. \\
& *x(2) . *x(3) .^2 + 0. *x(2) . *x(3) .^3 + 22719.4528 . *x(2) . *x(3) .^4 + 0. *x(2) .^2 \\
& + 0. *x(2) .^2 . *x(3) + 0. *x(2) .^2 . *x(3) .^2 + 0. *x(2) .^2 . *x(3) .^3 + 0. *x(2) .^3 \\
& + 0. *x(2) .^3 . *x(3) + - \\
& 35465.3917 . *x(2) .^3 . *x(3) .^2 + 0. *x(2) .^4 + 33479.1077 . *x(2) .^4 . *x(3) + 0. \\
& *x(1) + 0. *x(1) . *x(3) + 0. *x(1) . *x(3) .^2 + 0. *x(1) . *x(3) .^3 + 14166.1076 . *x(\\
& 1) . *x(3) .^4 + 0. *x(1) . *x(2) + 0. *x(1) . *x(2) . *x(3) + 0. *x(1) . *x(2) . *x(3) .^2 \\
& + 6263.27017 . *x(1) . *x(2) . *x(3) .^3 + 0. *x(1) . *x(2) .^2 + 14188.8724 . *x(1) . * \\
& x(2) .^2 . *x(3) + 16629.7246 . *x(1) . *x(2) .^2 . *x(3) .^2 + 0. *x(1) . *x(2) .^3 + 17 \\
& 050.1535 . *x(1) . *x(2) .^3 . *x(3) + 2870.22392 . *x(1) . *x(2) .^4 + 0. *x(1) .^2 + 0 \\
& . *x(1) .^2 . *x(3) + 889.565709 . *x(1) .^2 . *x(3) .^2 + 4686.32488 . *x(1) .^2 . *x(\\
& 3) .^3 + 16502.2815 . *x(1) .^2 . *x(2) + - \\
& 4916.98218 . *x(1) .^2 . *x(2) . *x(3) + 1983.69884 . *x(1) .^2 . *x(2) . *x(3) .^2 + - \\
& 3100.92033 . *x(1) .^2 . *x(2) .^2 + 2886.6176 . *x(1) .^2 . *x(2) .^2 . *x(3) + 1789. \\
& 52224 . *x(1) .^2 . *x(2) .^3 + - \\
& 2679.91798 . *x(1) .^3 + 271.34129 . *x(1) .^3 . *x(3) + - \\
& 463.188261 . *x(1) .^3 . *x(3) .^2 + 445.218911 . *x(1) .^3 . *x(2) + - \\
& 180.642782 . *x(1) .^3 . *x(2) . *x(3) + - \\
& 368.687612 . *x(1) .^3 . *x(2) .^2 + 17.8432522 . *x(1) .^4 + 33.9607827 . *x(1) .^4 \\
& . *x(3) + 32.3909537 . *x(1) .^4 . *x(2) + 0. *1 + 1.97114836 . *x(1) .^5 + 0. *x(2) .^5 \\
& + 0. *x(3) .^5
\end{aligned}$$

Figura No. 13. Función de optimización – Algoritmo Genético.

Fuente: Autor.

3.3.10 Resultados de la optimización

Los resultados que se han obtenido con el programa de optimización son las dimensiones del prototipo que minimiza dicha función, por lo tanto se presenta el espaciamiento entre refuerzos que ha dado como resultado el menor peso de la estructura en ese prototipo y los refuerzos usados.

	PRELIMINAR	DEFINITIVO
L [m]	52.63	51.31
B [m]	9.53	8.82
D [m]	2.75	4.63
Costo total		\$3,126,291.69

Tabla 44. Comparación de características principales.

En la figura 14 se muestra el Yate Shanthal I, con las dimensiones y formas optimizadas por el Algoritmo Genético.



Figura No. 14. Yate Shanthal I optimizado.
Fuente: Autor – Rhinoceros.

La comparación entre los resultados que se han obtenido en el diseño preliminar y en el diseño optimizado, se muestra a continuación en la Tabla XLV.

UBICACIÓN	Espesor del Diseño preliminar [mm]	Espesor del Diseño final [mm]
FONDO	9	7
DOBLE FONDO	7	6
COSTADO	8	6
CUBIERTA	5	5

Tabla 45. Comparación de espesores de plancha, Diseño preliminar – Diseño final.

El código desarrollado en Matlab ha calculado el espesor de las planchas, módulo seccional de los refuerzos y dimensión de cada compartimiento. Se ha verificado la frecuencia crítica para cada elemento estructural, se ha seleccionado el perfil más ligero disponible que cumpla con los requisitos establecidos anteriormente. La tabla XLVI muestra los resultados obtenidos y la comparación con el diseño preliminar.

ITEMS	PERFIL	PERFIL DE MATLAB	
	DISEÑO PRELIMINAR	DISEÑO FINAL	
Espaciamiento de Refuerzos [mm]	550	420	
Cuaderna de fondo	L 100*8+75*8	L 100*7,0+75*7,0	
Cuaderna en el costado	L 100*8+75*8	L 75*9,0+55*9,0	
Bao de cuaderna	L 100*10+75*10	L 80*6,0+65*6,0	
Espaciamiento de Refuerzos [mm]	1650	1260	
COMPARTIMENTOS		C1-C3	C4 – C9
Varenga	T 200*12+150*12	T 550*12+130*9	
Bulárcama de fondo	T 200*10+100*10	T 155*9+75*9	
Longitudinal del doble fondo	L 90*10+90*10	L 80*6+40*6	
Bulárcama del doble fondo	T 200*10+100*10	T 195*9+85*12	
Bulárcama en el costado	T 200*10+100*10	T 230*11+115*11	T 220*9+90*12
Bao de bulárcama	T 200*10+100*10	T 155*10+90*10	
Espaciamiento de Refuerzos [mm]		1260	
Longitudinal de cubierta	L 80*8+80*8	L 80*6,0+65*6,0	
Espaciamiento de Refuerzos [mm]	1675	1675	
Longitudinal de costado	T 80*10+80*10	L 100*7+75*7	
Espaciamiento de Refuerzos [mm]		1260	
Center Girder	T 630*13+400*13	--	T 550*12+150*20
Vagra (Side Girder)	T 400*13+200*13	--	T 460*12+130*15
Eslora	T 200*10+100*10	T 195*9+85*12	

Tabla 46. Comparación de refuerzos entre Diseño preliminar y Diseño final.

El diseño preliminar fue realizado para tener uniformidad y continuidad de los refuerzos, por lo tanto, por toda la bulárcama se escogió el mismo escantillonado, pero para realizar la optimización en el diseño final, para cada parte del buque se determinó el elemento que cumpla con el mínimo requerido.

En el diseño final se han incrementado dos mamparos, estos ocuparon el lugar de cuatro pilares en el diseño preliminar, y debido a la longitud de los compartimientos, en algunos casos la zona de apoyo de unos

puntales ha aumentado. La comparación de resultados se muestra en la siguiente tabla:

UBICACIÓN	PUNTALES			
	# ELEMENTOS		DIÁMETRO [mm] & ESPESOR [mm]	
	DISEÑO PRELIMINAR	DISEÑO FINAL	DISEÑO PRELIMINAR	DISEÑO FINAL
C1	0	0	---	---
C2	2	1	88.9 mm, 5.49 mm	88.9 mm, 7.62 mm
C3	0	0	---	---
C4	4	2	88.9 mm, 7.62 mm	88.9 mm, 7.62 mm
C5	0	2	---	88.9 mm, 7.62 mm
C6	4	2	88.9 mm, 7.62 mm	88.9 mm, 7.62 mm
C7	2	2	114.3 mm, 6.02 mm	88.9 mm, 7.62 mm
C8	2	2	114.3 mm, 8.56 mm	88.9 mm, 7.62 mm
C9	2	1	114.3 mm, 8.56 mm	73.025 mm, 5.16 mm

Tabla 47. Comparación de puntales entre Diseño preliminar y diseño final.

Según el cálculo que ha realizado Matlab, el barco pesa 119.55 toneladas, para un espaciado de refuerzo de $s = 420$ mm.

3.3.11 Determinación del Factor Lambda

El peso que se ha calculado con el programa Matlab debe incrementarse, ya que el programa no asimila las formas exactas del buque, es sólo una aproximación, por lo que se ha aumentado este valor para tener una aproximación del peso total del yate.

Si se compara con el peso del análisis utilizando Orca, que es 149,60 toneladas, el factor lambda puede ser determinado como sigue:

$$W_{Orca} = 140.80 \text{ ton} \quad \text{Peso obtenido con Orca}$$

$$W_{elding} = 1.25 * W_{Orca} \quad \text{Peso incrementado por la soldadura}$$

$$W_{Total} = 176 \text{ ton} \quad \text{Peso total}$$

$$\lambda = \frac{W_{Orca}}{W_{Matlab}} \quad (3.7)$$

$$\lambda = \frac{140.80}{119.55}$$

$$\lambda = 1.18$$

Este valor se establece como un aumento en el peso de todos los prototipos a calcular para obtener la aproximación correcta.

3.4 Análisis Estructural y Validación del Compartimento Cinco

El análisis estructural se ha definido como el proceso por el cual se puede determinar el comportamiento de una estructura sometida a cargas, presiones de diseño, etc.

Las reglas de las Sociedades Clasificadoras han expresado un límite de deformación para los paneles, elementos primarios, elementos secundarios, etc. Adicionalmente, se han definido los esfuerzos máximos permisibles a los que podría estar sometida la estructura. La Regla que se ha utilizada para el análisis es de la Sociedad Clasificadora Lloyd's Register.

Se ha realizado el análisis utilizando el Método de Elementos Finitos, se ha usado el software SAP2000 con licencia educacional, con el cual se han obtenido los valores de deformaciones y esfuerzos en los elementos estructurales. Estos resultados se han comparado con los valores permitidos por la Regla para optimizar la estructura.

3.4.1 Resistencia longitudinal

El buque en cualquier condición de carga, al estar en aguas tranquilas o en olas, está sujeto a esfuerzos longitudinales. Esto se debe a la distribución de pesos del buque y a su desplazamiento o empuje.

Se han analizado dos escenarios por efecto de los esfuerzos: un análisis global y un análisis local. Para realizar el análisis global se ha considerado a los elementos estructurales mayores al 70% de la eslora del yate, y la superestructura no se la considera acorde a la Regla [18], Parte 3, Capítulo 3, Sección 3.4.

En el análisis local se considera las cargas y presiones de diseño que deben soportar los elementos estructurales.

Mínimo módulo seccional requerido

El módulo seccional mínimo acorde [18], Parte 4, Capítulo 5, Sección 5.4, no debe ser menor de:

$$Z_{min} = f_1 * k_L * C_1 * L^2 * B * (C_b + 0.7) * 10^{-6}, [m^3] \quad (3.8)$$

Donde:

f_1 factor de servicio del barco, no se deberá tomar menor a 0.5

k_L factor máximo de tensión del acero, 1.0

C_1 factor de momento flector en olas, para $L < 90$ m:

$$= 0.0412 * L + 4.0$$

$$Z_{min} = 0.144 m^3$$

Este valor se compara con el resultado del análisis de la "Cuaderna Maestra" con el software AutoCAD. La superestructura en este caso no se incluye porque no se considera como la cubierta resistente.

Los elementos considerados para el cálculo del módulo de sección debe ser refuerzos primarios y tienen una longitud de al menos 70% de la eslora del buque. Los elementos que se han utilizado son

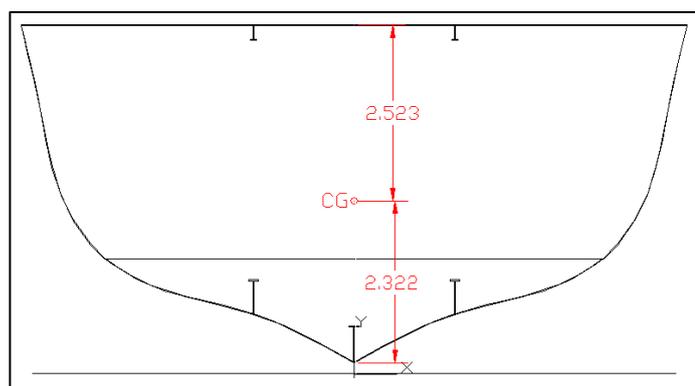


Figura No. 15. Análisis de la cuaderna maestra.
Fuente: Autor – AutoCAD.

Los valores de inercia, y los centros de gravedad de AutoCAD se muestran en el Anexo F. Se ha obtenido el módulo de la sección dividiendo el valor de la inercia por la distancia tomada desde el centro al elemento estructural más alejado.

$$Z_{MF} = \frac{Inercia}{Distancia} \quad (3.9)$$

En la tabla XLVIII se presentan los datos y la comparación de resultados.

	Inercia [m⁴]	Distancia [m]
CASCO	0.667	2.530
COMPARACIÓN	Lloyd's Register Mínimo	AutoCAD Casco
Modulo Seccional [m³]	0.144	0.264

Tabla 48. Comparación entre la Regla y el cálculo.

La comparación de resultados muestra que el cálculo del módulo de la cuaderna maestra cumple con el mínimo requerido por la Sociedad Clasificadora.

Cálculo de momento flector

Con las ecuaciones expuestas en el diseño preliminar se determina el momento flector en aguas tranquilas y en olas.

MOMENTO FLECTOR [kN m]		
En aguas tranquilas		8108.97
En olas	Arrufo	10830.51
	Quebranto	13585.64
Momento flector en Arrufo		18939.48
Momento flector en Quebranto		21694.61

Tabla 49. Momento flector – análisis de prototipo optimizado.

En la siguiente figura se muestra la curva de momento flector máximo determinado por la regla.

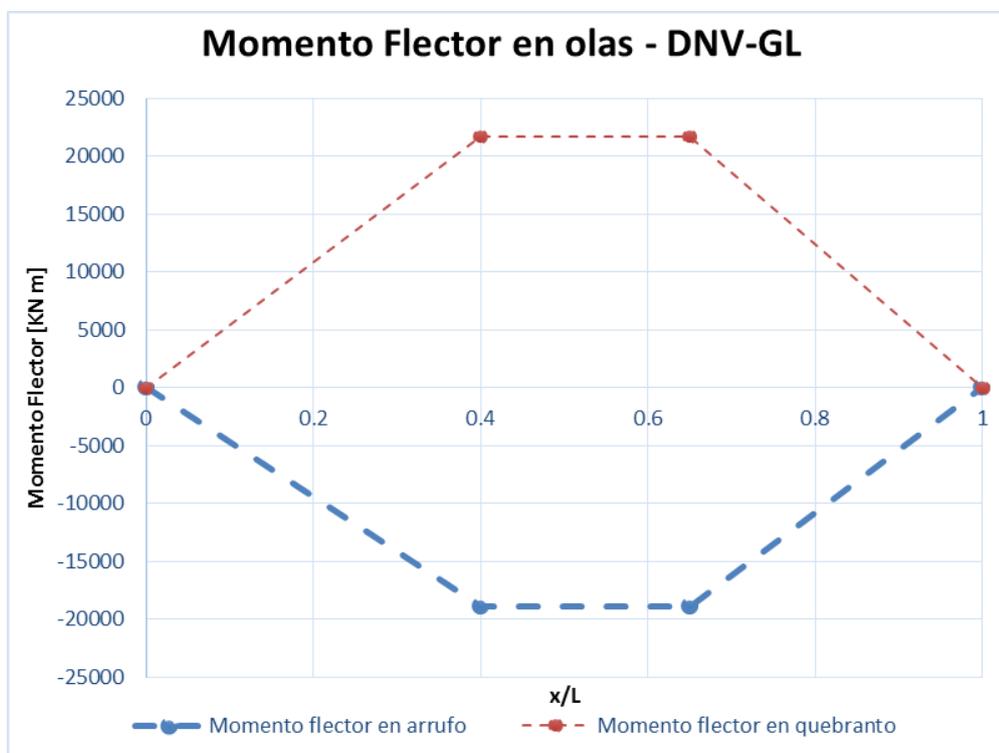


Figura No. 16. Momento flector del prototipo optimizado.
Fuente: Autor.

Fuerza cortante

Se determina la fuerza cortante aplicando las regulaciones de Lloyd's Register.

$$Q_w = K_1 * K_2 * Q_{wo}, [kN] \quad (3.10)$$

donde:

$$Q_{wo} = 0.3 * C_1 * L * B * (C_B + 0.7), [kN] \quad (3.11)$$

$$C_1 = 0.0412 * L + 4,0 \quad (3.12)$$

(a). Fuerza cortante positiva

$$\begin{aligned}
 K_1 &= 0 \text{ al final de popa de } L_R \\
 &= 1.589 C_b / (C_b + 0.7) \text{ entre } 0.2L_R \text{ y } 0.3L_R \text{ desde popa} \\
 &= 0.7 \text{ entre } 0.4L_R \text{ y } 0.6L_R \text{ desde popa} \\
 &= 1.0 \text{ entre } 0.7L_R \text{ y } 0.85L_R \text{ desde popa} \\
 &= 0 \text{ a proa de } L_R
 \end{aligned}$$

(b). Fuerza cortante negativa

$$\begin{aligned}
 K_1 &= 0 \text{ al final de popa de } L_R \\
 &= -0.92 \text{ entre } 0.2L_R \text{ y } 0.3L_R \text{ desde popa } L_R \\
 &= -0.7 \text{ entre } 0.4L_R \text{ y } 0.6L_R \text{ desde popa } L_R \\
 &= -1.727 C_b / (C_b + 0.7) \text{ entre } 0.7L_R \text{ y } 0.85L_R \text{ desde popa } L_R \\
 &= 0 \text{ a proa de } L_R \\
 K_2 &= 1.0 \text{ para condiciones de servicio de navegación marítima no} \\
 &\text{restringidas} \\
 &= 0.8 \text{ para viajes cortos} \\
 &= 0.5 \text{ para operar en áreas restringidas}
 \end{aligned}$$

Los datos que se han usado para la obtención de las fuerzas cortantes positivas y negativas se exponen en la siguiente tabla:

L [m]	B [m]	Cb
51.31	8.88	0.6
K2	C1	Qwo [kN]
1	6.11	1086.43

Tabla 50. Datos usados para el cálculo de la fuerza cortante.

En el anexo F se presentan los cálculos que se han realizado para obtener la fuerza cortante a lo largo de la eslora. En la siguiente figura se muestra la curva de distribución de fuerza a lo largo de la eslora del yate.

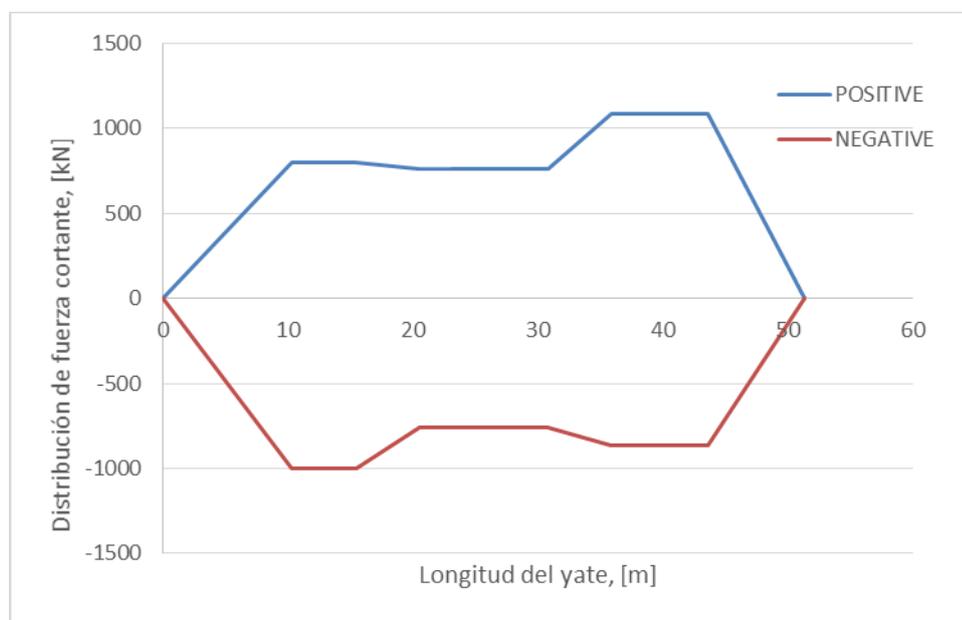


Figura No. 17. Distribución de fuerza cortante.
Fuente: Autor.

Se ha realizado el análisis local de la resistencia estructural del barco con la ayuda del software SSC y se validan estos resultados utilizando el software SAP2000.

3.4.2 Representación de la estructura global del compartimento

Descripción de la embarcación y del compartimento escogido

Se ha estimado que el casco y la superestructura de la embarcación sean construidos en acero. La estructura se ha definido de tipo transversal. Se presentan las principales características del yate:

Eslora [m]	51.31
Eslora en la línea de flotación [m]	50.18
Manga [m]	8.82
Calado [m]	2.805
Puntal [m]	4.63
Velocidad crucero [kn]	12.00
Desplazamiento [Ton]	823
Volumen de desplazamiento [m ³]	803
Material de construcción (casco)	Acero naval
Material de construcción (superestructura)	Acero naval

Tabla 51. Características principales del Yate Shanthal I.

Se han definido 9 compartimentos en la embarcación, los cuales se han destinado para peak de proa, peak de popa, sala de máquinas y habitabilidad. Se ha seleccionado el quinto compartimento, el cual consta de habitaciones de tripulantes, cocina y el puente de mando.

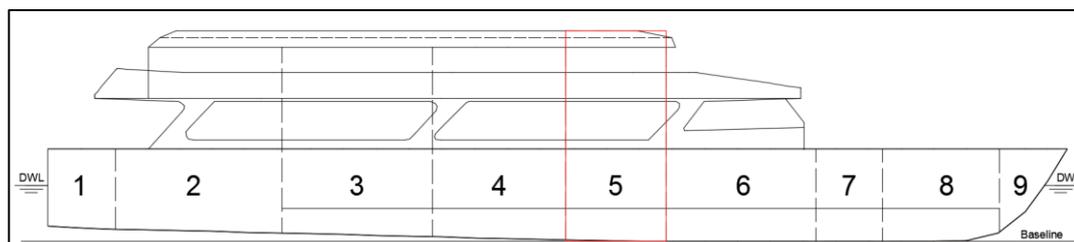


Figura No. 18. Compartimentos del Yate "Shanthal I".
Fuente: AutoCAD.

En la Tabla XLIX se detallan las dimensiones principales del bloque:

Dimensiones principales	Casco	Superestructura
Largo [m]	5.04	5.04
Ancho [m]	8.55	6.22
Altura [m]	4.63	2.57

Tabla 52. Dimensiones principales del bloque 5.

En las Figuras No. 19 y 20 se presentan los planos de distribución de la embarcación.

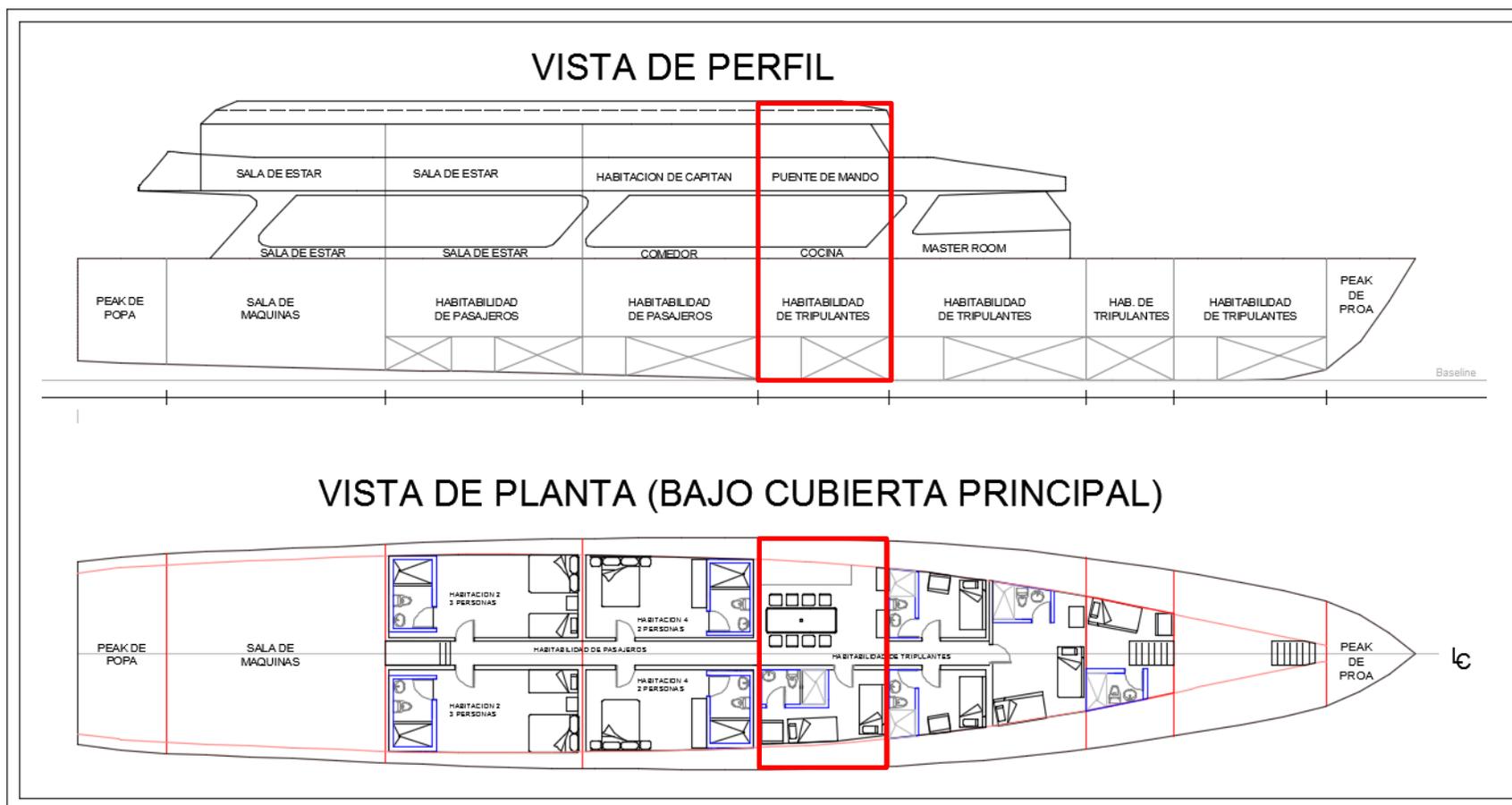


Figura No. 19. Plano de Distribución del Yate Shanthal I – Vista de perfil y vista de planta bajo cubierta principal.
Fuente: AutoCAD.

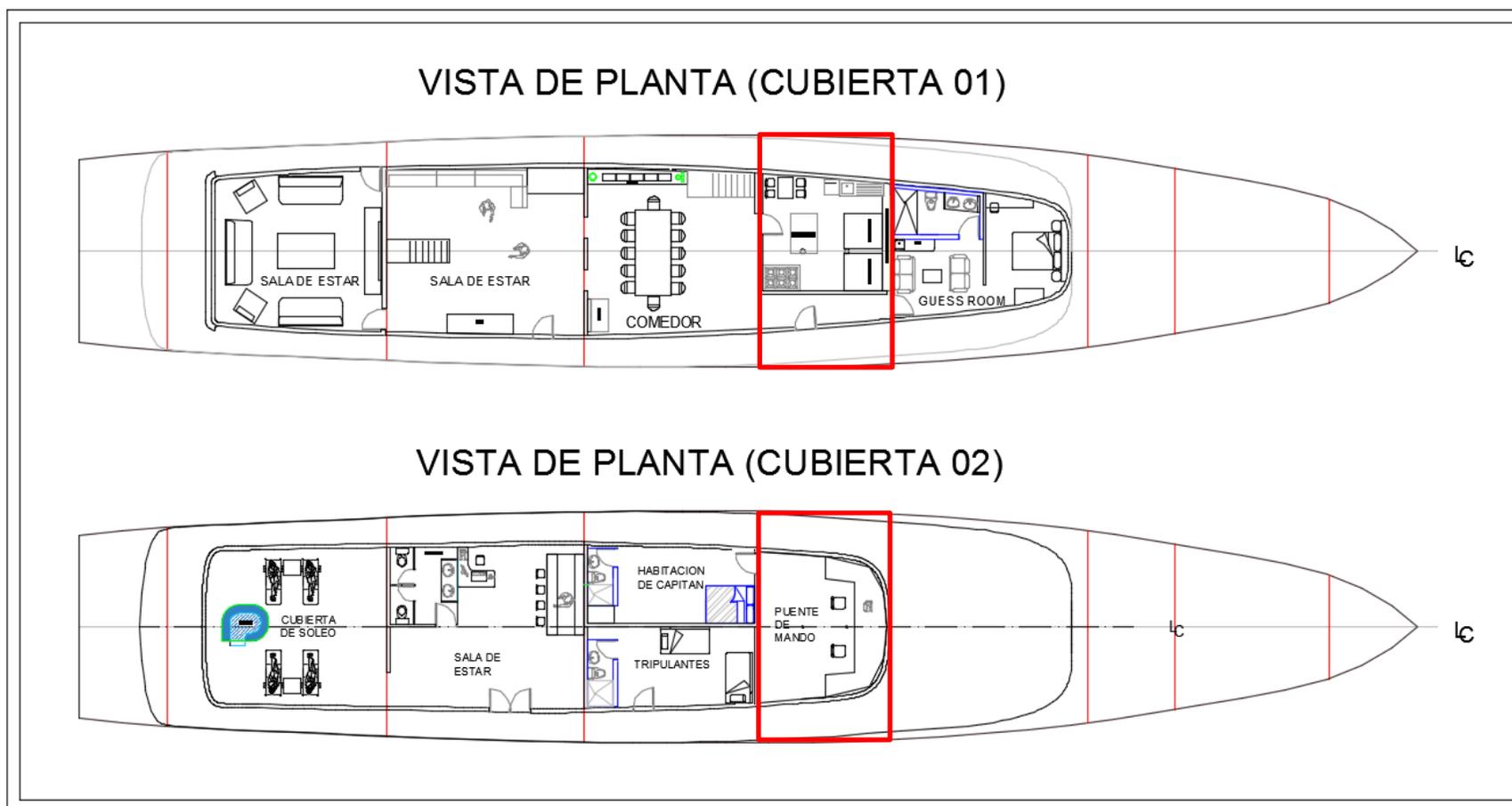


Figura No. 20. Plano de Distribución del Yate Shanthal I – Vista de planta de cubiertas de la superestructura.

Fuente: AutoCAD.

Proceso para representar e importar el modelo estructural

Paso 1: Se ha realizado el modelo del bloque en un programa con el que se pueda exportar en formato DXF, por ejemplo AutoCAD, para que pueda ser reconocido por SAP2000. Se ha clasificado en capas a los refuerzos para poder exportarlo y clasificarlos dentro de este programa de manera más rápida.

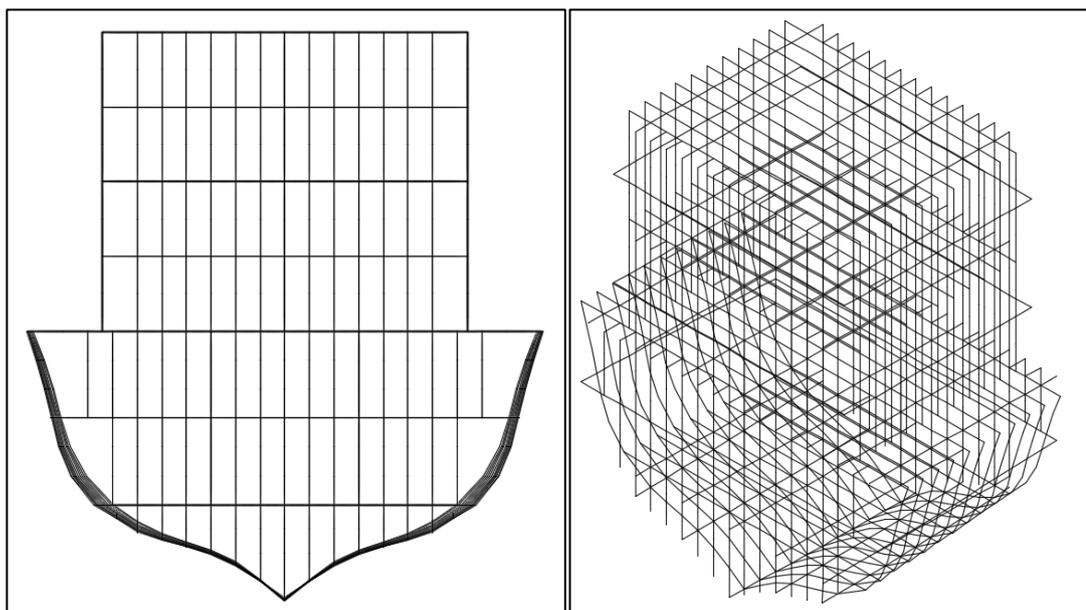


Figura No. 21. Modelado del bloque.

Fuente: AutoCAD.

Paso 2: Se ha importado el modelo presentado en la Figura 17 desde SAP2000, software que se ha utilizado para el análisis de elementos finitos. Se debe escoger las unidades a trabajar, en este caso kN, m, C. La geometría del modelo importada al programa representa a las planchas como elementos tipo SHELL y a los refuerzos como elementos tipo FRAME.

Desarrollo del modelo estructural del bloque

El modelo estructural del bloque que se ha analizado va del mamparo cuatro al mamparo cinco y tiene dos niveles de superestructura. En la Tabla L se detalla el número de refuerzos que se ha utilizado:

Número de refuerzos	Casco	Superestructura
Cuadernas	9	9
Bulárcamas	2	2
Mamparos	2	2
Long. de costado	1	1
Long. de cubierta	7	5
Long. de doble fondo	5	-
Long. de fondo	5	-

Tabla 53. Características principales del bloque 5.

Los elementos estructurales que se han definido como elementos planos (SHELL) son los siguientes:

- Planchaje de fondo
- Planchaje de costado
- Planchaje de mamparos
- Planchaje de cubierta principal
- Planchaje de costado de la superestructura
- Planchaje de cubierta 01 y cubierta 02.

Los elementos estructurales que se han definido como elementos lineales (FRAME) son los siguientes:

- Bulárcamas
- Cuadernas
- Refuerzos longitudinales principales y secundarios de fondo, doble fondo, costado y cubiertas

Desarrollo del modelo estructural completo

Al modelo completo del bloque en SAP2000 se le ha creado y asignado las características principales tales como: espesores, tipo de refuerzo, cargas y presiones de diseño. Las cargas están dadas por ABS y han sido expresadas en kg, las presiones de diseño se han tomado del programa SSC de Lloyd's Register, dependiendo de la ubicación del planchaje.

A continuación se presentan en la Tabla LI:

CASCO					
Descripción	Espesor de planchaje [mm]	Presión de diseño LR [kN/m²]			Carga ABS [kg]
Fondo	7	75.26			10
Doble fondo	6	39.91			20
Costado	6	37.79	52.85		10
Mamparo de Proa	6	22.17	32.97	48.09	10
Mamparo de Popa	6	22.17	32.97	48.09	10
Cubierta	5	12.11			20
SUPERESTRUCTURA					
Descripción	Espesor de planchaje [mm]	Presión de diseño LR [kN/m²]			Carga ABS [kg]
Costado 01	4	7.75			10
Mamparo de Proa 01	5	13.93			10
Mamparo de Popa 01	4	6.06			10
Cubierta 01	4	3.53			20
Costado 02	4	7.75			10
Mamparo de Proa 02	5	12.11			10
Mamparo de Popa 02	4	6.06			10
Cubierta 02	4	6.06			10

Tabla 54. Espesores, cargas y presiones de diseño.

Los refuerzos con plancha asociada se han representado en la biblioteca. A continuación, se presenta un refuerzo en T de 200x90x10 mm con plancha asociada de 6 mm, para el cual se ha tenido que determinar con anticipación el factor de masa y peso que

representa el refuerzo en T excluyendo la masa de la plancha asociada.

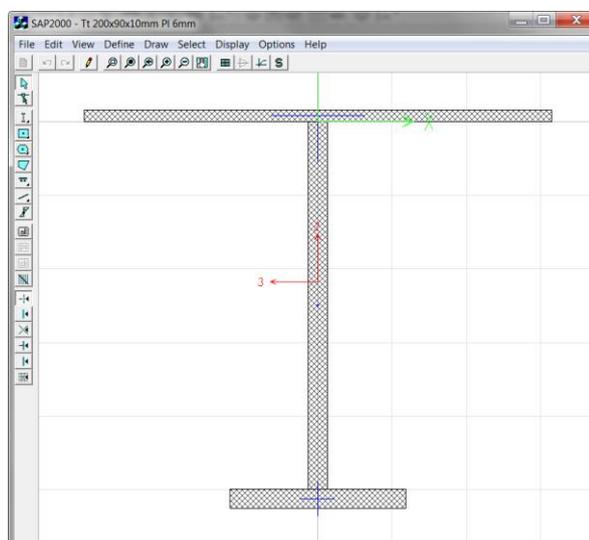


Figura No. 22. Refuerzo ingresado a la biblioteca de SAP2000.
Fuente: SAP2000.

En la Figura No. 19 se presenta el modelo que se ha desarrollado en SAP2000:

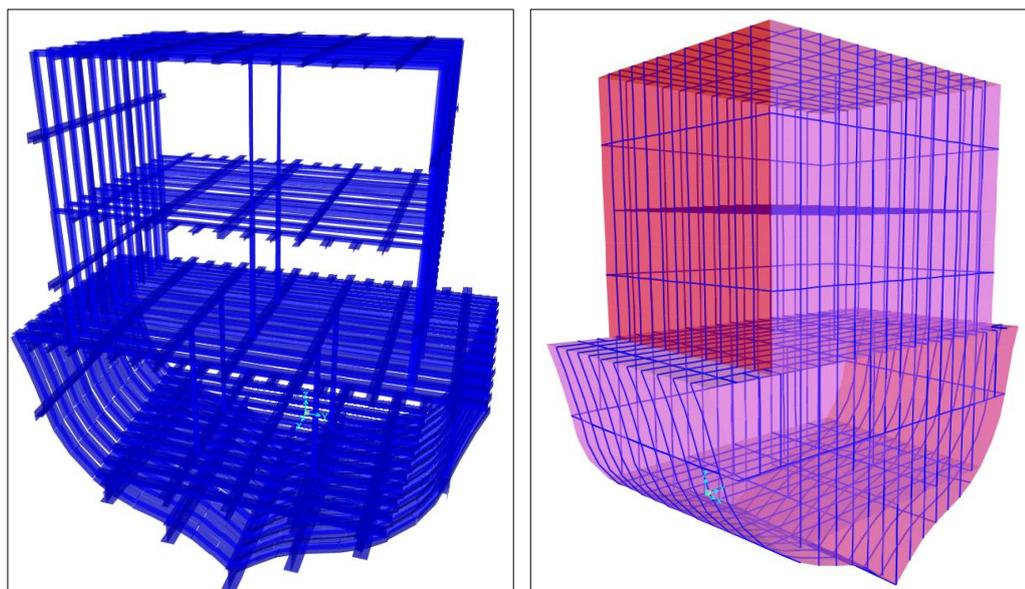


Figura No. 23. Modelo matemático tridimensional del bloque 5 desarrollado en SAP2000.
Fuente: SAP2000.

3.4.3 Comparación con deformaciones recomendadas por Lloyd's Register

Las deflexiones y los esfuerzos que se han calculado por el programa, se comparan con lo que ha expresado la Regla de la Sociedad Clasificadora Lloyd's Register.

Restricciones del modelo

Las restricciones del modelo se las ha definido en los mamparos, como simplemente soportado, debido a que la estructura del barco continúa de proa a popa. En la quilla se ha representa una restricción en sentido vertical (eje z), que representa la acción del agua.

Límite de deformación de la plancha

La Regla ha presentado el límite de deformación de la plancha de la siguiente manera [19]:

Posición	s/t	dp/s
en 0.6 L de sección media	≤ 80	1/100
	> 80	1/75
	todo	1/50
donde: s = espaciamiento entre refuerzos, en mm t = espesor de la plancha, en mm dp = deflexión del panel, en mm		

Tabla 55. Límite de deformación de la plancha – Lloyd's Register.

El compartimento cinco se encuentra dentro del 0.6 L, en la sección media, la deflexión máxima permitida que se ha expresado por la Regla se muestra en la siguiente tabla:

s [mm]		420			
	SUPERESTRUCTURA		CASCO		
t [mm]	4	5	5	6	7
s/t	105	84	84	70	60
dp/s	1/75	1/75	1/75	1/100	1/100
dp [mm]	5.60	5.60	5.60	4.20	4.20

Tabla 56. Deflexión máxima de las planchas del Yate Shanthal I.

Límite de deformación de los refuerzos

La regla ha presentado el límite de deformación de los refuerzos, los que aplican para el buque son presentados en la Tabla LIV [20]:

Item		Radios de deflexion, f_{δ}
Estructura de fondo		
	Refuerzos secundarios	800
	Vigas y refuerzos primarios	1000
Estructura del costado		
	Refuerzos secundarios	800
	Vigas y refuerzos primarios	1000
Estructura de cubierta principal		
	Refuerzos secundarios	1000
	Vigas y refuerzos primarios	1250
Superestructura		
En general	Refuerzos secundarios	600
	Refuerzos primarios	750
Cubierta	Refuerzos secundarios	600
	Refuerzos primarios	600
Cubiertas inferiores interiores y casa superior sujeta a una carga de personal		
	Refuerzos secundarios	800
	Refuerzos primarios	1000
Mamparo estanco		
	Refuerzos secundarios	600
	Refuerzos primarios	750

Tabla 57. Deflexión máxima de refuerzos – Lloyd's Register.

donde:

$$f_{\delta} = \frac{\text{longitud no soportada}}{\text{deflexión}} \quad (3.13)$$

En la Tabla LV ha definido la longitud no soportada de los elementos principales y secundarios para determinar la deflexión máxima:

DESCRIPCION	LONG. NO SOPORTADA [mm]		
	SUPERESTRUCTURA	CASCO	FONDO
BAO CUADERNA	1850	1880	
BAO BULARCAMA	3000	2822	
ESLORA	1680	1680	
LONG. CUBIERTA	1680	1680	
LONG. COSTADO	1680	3360	
CUADERNA	2566	3200	3500
BULARCAMA	2566	3200	3500
CENTER GIRDER			5040
REF. PRIM. LONG.			5040
REF. LONGITUDINAL			1680

Tabla 58. Longitud no soportada de elementos primarios y secundarios.

Se ha realizado la comparación entre la deformación máxima permitida por la Regla Lloyd's Register y los resultados que se han obtenido por el software SAP2000, valores que serán mostrados en la Tabla LVI:

MÁXIMAS DEFLEXIONES [mm]				
DESCRIPCIÓN	NIVEL 2		NIVEL 1	
	REGLA L.R. PERMITIDO	SAP2000 CALCULADO	REGLA L.R. PERMITIDO	SAP2000 CALCULADO
BAO CUADERNA	3.1	2.2	2.3	1.92
BAO BULARCAMA	5.0	1.79	3.0	1.51
ESLORA	2.8	1.92	2.8	1.62
LONG. CUBIERTA	2.8	1.61	2.1	1.04
LONG. COSTADO	2.8	2.45	2.8	1.46
CUADERNA	4.3	2.41	4.3	1.46
BULARCAMA	3.4	2.22	3.4	1.36

Tabla 59. Comparación entre máximas deflexiones – Parte 1.

MÁXIMAS DEFLEXIONES [mm]				
DESCRIPCIÓN	CASCO		FONDO	
	REGLA L.R. PERMITIDO	SAP2000 CALCULADO	REGLA L.R. PERMITIDO	SAP2000 CALCULADO
BAO CUADERNA	1.9	0.56	3.8	3.45
BAO BULARCAMA	2.3	0.44	3.0	3.00
ESLORA	1.3	0.45	5.0	3.45
LONG. CUBIERTA	1.7	0.51	2.1	0.95
LONG. COSTADO	4.2	3.6	---	---
CUADERNA	4.0	3.6	4.4	3.10
BULARCAMA	3.2	3.2	3.5	3.46
CENTER GIRDER			5.0	0.00
REF. PRIM. LONG.			5.0	2.76
REF. LONG.			2.1	1.98

Tabla 60. Comparación entre máximas deflexiones – Parte 2.

MÁXIMAS DEFLEXIONES DE MAMPARO [mm]				
DESCRIPCIÓN	NIVEL 2		NIVEL 1	
	REGLA L.R. PERMITIDO	SAP2000 CALCULADO	REGLA L.R. PERMITIDO	SAP2000 CALCULADO
REF. PRIMARIO	3.42	2.35	3.42	0.95
REF. SECUNDARIO	4.28	2.93	4.28	1.35
REF. LONG	3.08	2.93	3.08	1.35
DESCRIPCIÓN	CASCO		FONDO	
	REGLA L.R. PERMITIDO	SAP2000 CALCULADO	REGLA L.R. PERMITIDO	SAP2000 CALCULADO
REF. PRIMARIO	3.98	2.45	2.20	0.19
REF. SECUNDARIO	4.97	2.5	2.18	0.18
REF. LONG	2.5	2.5		

Tabla 61. Comparación entre máximas deflexiones – Parte 3.

3.4.4 Comparación con esfuerzos permisibles recomendados por Lloyd's Register

En las Tablas LV a LVI se han comparado los resultados obtenidos de máximos esfuerzos en los diferentes elementos por medio del Software SAP2000 con los expresados por la Regla LR [18], se ha determinado si están dentro de lo permitido.

MÁXIMOS ESFUERZOS EN SUPERESTRUCTURA [N/mm²]				
DESCRIPCIÓN	NIVEL 2		NIVEL 1	
	REGLA L.R. PERMITIDO	SAP2000 CALCULADO	REGLA L.R. PERMITIDO	SAP2000 CALCULADO
BAO CUADERNA	176.3	60.8	141.0	59.01
BAO BULARCAMA	176.3	56.93	141.0	99.09
ESLORA	176.3	123.56	141.0	48.82
LONG. CUBIERTA	176.3	47.3	141.0	23.05
LONG. COSTADO	176.3	134.16	176.3	113.51
CUADERNA	176.3	83.81	176.3	93.74
BULARCAMA	176.3	70.95	176.3	98.87

Tabla 62. Comparación entre máximos esfuerzos – Parte 1.

MÁXIMOS ESFUERZOS [N/mm²]		
DESCRIPCIÓN	CASCO	
	REGLA L.R. PERMITIDO	SAP2000 CALCULADO
BAO CUADERNA	152.8	107.44
BAO BULARCAMA	152.8	106.56
ESLORA	152.8	102.37
LONG. CUBIERTA	152.8	24.82
LONG. COSTADO	152.8	145.36
CUADERNA	152.8	112.97
BULARCAMA	152.8	108.47

Tabla 63. Comparación entre máximos esfuerzos – Parte 2.

MÁXIMOS ESFUERZOS [N/mm²]		
DESCRIPCIÓN	DOBLE FONDO	
	REGLA L.R. PERMITIDO	SAP2000 CALCULADO
BAO CUADERNA	141.0	130.83
BAO BULARCAMA	141.0	139.18
ESLORA	141.0	92.89
LONG. D.F.	141.0	125.84

Tabla 64. Comparación entre máximos esfuerzos – Parte 3.

MÁXIMOS ESFUERZOS [N/mm²]		
DESCRIPCIÓN	FONDO	
	REGLA L.R. PERMITIDO	SAP2000 CALCULADO
CUADERNA	152.8	148.06
BULARCAMA	152.8	152.71
CENTER GIRDER	152.8	11.33
REF. PRIM. LONG	152.8	67.89
REF. LONG	152.8	74.45

Tabla 65. Comparación entre máximos esfuerzos – Parte 4.

Los valores presentados en la columna de “REGLA L.R.”, son tomados de acuerdo a la ubicación del elemento y comparados con los resultados del SAP2000.

3.4.5 Frecuencia natural

En la Tabla LXIII se muestran los resultados del análisis modal obtenido con el programa SAP2000.

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
MODAL	Mode	1	0.038789	25.781	161.98	26239
MODAL	Mode	2	0.035233	28.382	178.33	31802
MODAL	Mode	3	0.034698	28.82	181.08	32790
MODAL	Mode	4	0.034692	28.826	181.12	32803
MODAL	Mode	5	0.030758	32.512	204.28	41730
MODAL	Mode	6	0.03039	32.905	206.75	42746
MODAL	Mode	7	0.029956	33.383	209.75	43995
MODAL	Mode	8	0.029937	33.404	209.88	44050
MODAL	Mode	9	0.029067	34.403	216.16	46725
MODAL	Mode	10	0.029058	34.413	216.23	46754
MODAL	Mode	11	0.028018	35.691	224.26	50291
MODAL	Mode	12	0.026862	37.228	233.91	54713

Tabla 66. Tabla de frecuencias naturales del modelo – SAP2000.

Se ha definido que la embarcación tiene dos motores Cummins KTA38 de 850HP y 1800rpm. La velocidad máxima del yate se ha especificado de 14 nudos, con una hélice de 1.5 m de diámetro y 4 aspas, la reducción es de 6:1.

$$f_{blade} = \frac{Z.N}{R*(60)} \quad (3.14)$$

$$f_{blade} = \frac{4 * 1800}{6 * (60)}$$

$$f_{blade} = 20 \text{ Hz}$$

Se ha compara la frecuencia del aspa (blade frequency) con el valor de la frecuencia fundamental, del modo 1.

$$f_{modelo} = 25.781 \text{ [Hz]}$$

Éste último valor ha sido superior en un 28%, se ha llegado a la conclusión que la estructura no tendrá problemas de vibraciones.

3.5 Análisis de Resultados

A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos en el presente capítulo:

- ✓ Se ha definido la función objetivo de la optimización como el costo total, obteniendo un prototipo con dimensiones que han minimizado el costo de construcción y mano de obra, cumpliendo todos los requerimientos de las Sociedades Clasificadoras.

YATE SHANTHAL I Parámetros	Diseño	Diseño
	Preliminar	Definitivo
L [m]	52.63	51.31
Lpp [m]	50.53	49.30
B [m]	9.53	8.88
T [m]	2.75	2.81
D [m]	5.00	4.63
Cb	0.560	0.464
Δ [Ton]	766	542

Tabla 67. Comparación de dimensiones principales.

- ✓ Para el prototipo optimizado se ha determinado un nuevo espaciamiento entre refuerzos, siendo éste de 420 milímetros. Se muestra en la siguiente tabla la comparación con el diseño preliminar.

Espaciamiento entre refuerzos	
Preliminar	550 mm
Definitivo	420 mm

Tabla 68. Comparación de espaciamientos entre refuerzos.

- ✓ El espaciamiento elegido cumple con estar dentro del rango definido en el capítulo y es el que minimiza el peso de la estructura del yate, y con esto, el costo total.

- ✓ Se han determinado refuerzos estructurales en la optimización, estos cumplen con rangos y restricciones expuestos en el capítulo, soportando las cargas y las presiones de diseño calculadas internamente. De los cuales al ser comparados con el diseño preliminar, se obtiene un menor peso en la estructura total.

- ✓ Se ha realizado la verificación de la estructura de un compartimento utilizando el software SAP2000 y se han determinado nuevos refuerzos primarios y secundarios que cumplan con las Reglas y con la frecuencia utilizando el análisis estructural desarrollado por SAP2000. En la tabla siguiente se presenta la comparación de máximas deflexiones y esfuerzos calculados por el programa con las permitidas por la Lloyd's Register.

MÁXIMAS DEFLEXIONES [mm]		
DESCRIPCIÓN	REGLA L.R.	SAP2000
	PERMITIDO	CALCULADO
NIVEL 2 - SUPERESTRUCTURA LONG. COSTADO	2.8	2.45
CASCO – CUADERNA	4.0	3.6
MÁXIMOS ESFUERZOS EN SUPERESTRUCTURA [N/mm²]		
DESCRIPCIÓN	REGLA L.R.	SAP2000
	PERMITIDO	CALCULADO
NIVEL 2 - SUPERESTRUCTURA LONG. COSTADO	176.3	134.16
CASCO - LONG. COSTADO	152.8	145.36
DOBLE FONDO - BAO BULARCAMA	141.0	139.18
FONDO – BULARCAMA	152.8	152.71
FRECUENCIA DEL ASPA [Hz]		20
FRECUENCIA NATURAL (CALCULADA POR SAP2000) [Hz]		25.78

Tabla 69. Comparación con resultados de SAP y Lloyd's Register.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS ECONÓMICO

En el presente capítulo se ha realizado el análisis económico del Yate Shanthal I para determinar el costo total y la factibilidad económica del proyecto. De esta manera, se ha podido definir la inversión que se hará en el proyecto, la vida útil del mismo y el flujo de caja durante la vida útil del Yate. Se ha calculado el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) para determinar la rentabilidad generada por el proyecto.

Adicionalmente, se ha podido determinar si la construcción y el funcionamiento del Yate Shanthal I es factible. Finalmente, se ha estimado el número de años requeridos para recuperar toda la inversión del proyecto.

4.1 Costo del Proyecto

En esta sección se ha estimado el costo total del proyecto, el cual está basado en costos de diseño, clasificación, construcción, supervisión y costos operacionales. En el proyecto de una embarcación, se ha tomado en cuenta el costo de casco, equipo, armamento e instalaciones, costo de instalación propulsora, de maquinaria principal y auxiliar, costo de carga y pertrechos, costo de instalaciones especiales, mano de obra y gastos de ingeniería.

Para llevar a cabo este análisis se ha realizado una estimación detallando los 3 Grupos Tecnológicos más representativos del proyecto, los cuales son i) Casco y Estructura, ii) Maquinaria y Equipos y, iii) Habitabilidad.

4.1.1 Estimación de costos de Grupos Tecnológicos

Estimación de costos de construcción

En los costos de construcción se han incluido los costos directos e indirectos, los cuales están relacionados con la mano de obra que se empleará durante la construcción del proyecto. Esta relación en los costos ha sido presentada como costo Hombre-Hora de la obra.

El plantel productivo ha sido conformado por supervisores, armadores, soldadores y ayudantes, que cumplen dos jornadas de trabajo durante los cinco días laborales; cada jornada laboral es de 8 horas. Cabe recalcar que se incrementó un porcentaje al sueldo de los trabajadores del turno nocturno debido a que requieren más esfuerzo. Se ha definido el plazo de la obra de 12 meses para que se finalice su construcción.

En la Tabla LXIV se presentan los salarios de los trabajadores:

PLANTEL PRODUCTIVO		
ESPECIALIDAD	NÚMERO	SUELDO
Supervisor	3	\$ 1,212.00
Armador	13	\$ 986.00
Soldador	13	\$ 986.00
Ayudantes	7	\$ 553.00

Tabla 70. Plantel Productivo del proyecto.

El plantel administrativo ha sido compuesto por el presidente, el gerente de proyectos, el ingeniero residente y su personal de apoyo. Se ha considerado un 30% extra al sueldo de los trabajadores considerando los cargos que la ley exige. En este caso, las regulaciones del Ministerio de Relaciones Laborales,

El sueldo de los dos planteles fue obtenido de los sueldos de ASTINAVE E.P, que dictamina la Remuneración mensual por puesto, información que se encuentra disponible en la página web de la empresa [21].

PLANTEL ADMINISTRATIVO		
ESPECIALIDAD	CANTIDAD	SUELDO
STAFF		
Presidente	1	\$ 4,508.00
Gerente de Proyectos	1	\$ 3,038.00
Ingeniero de Obra	1	\$ 1,212.00
PERSONAL DE APOYO		
Eléctrico	2	\$ 901.00
Bodeguero	2	\$ 733.00
Seguridad Industrial	1	\$ 553.00
Seguridad (Guardianía)	3	\$ 1,676.00
Secretaria	1	\$ 733.00

Tabla 71. Plantele Administrativo del proyecto.

Se ha declarado que el casco, la superestructura y los refuerzos del Yate Shanthal I serán construidos en acero ASTM A36, que forman parte de Grupo Tecnológico 100. Además se ha considerado que los materiales misceláneos son un 15% del material a usarse, el oxígeno un 4% del material y los fungibles un 8% del material. El precio del acero a usarse es \$1.10 por kilogramo de acero, precio referencial de ASTINAVE E.P.

Se determina el Costo neto del hombre-hora de la obra considerando el peso total de la embarcación y los aumentos que se han realizado debido al espesor de planchaje, a la ubicación del elemento, etc.

Para realizar esta estimación, se ha elaborado un código utilizando el lenguaje de programación Matlab R2014b, el cual ha aportado en la estructuración del costo de construcción del proyecto, costo de tonelada de acero y los Hombre-Hora.

Adicionalmente, se ha incluido en el código una estimación del costo del Grupo Tecnológico 200 correspondiente a propulsión. El resumen de resultados mostrados por Matlab R2014b, se presenta en la Tabla LXVI.

Eslora	[m]	51.31
Manga	[m]	8.82
Puntal	[m]	4.63
Calado	[m]	2.805
Peso Casco	[ton]	136.34
Peso Planchas	[ton]	77.38
Peso Perfiles	[ton]	58.96
Total Hombre-Hora	[HH]	76800
Costo Total del Grupo 100	[\$]	1,778,460.26
Costo Total del Grupo 200	[\$]	1,230,898.98
Costo Neto de Hombre-Hora	[\$/HH]	\$ 15.66
Costo de Construcción por Tonelada	[\$/ton]	\$ 7086.3
Costo de Construcción por Kilogramo	[\$/kg]	\$ 7.09

Tabla 72. Costo total de construcción y Hombre-Hora.

En el Anexo G se han presentado los costos que intervienen para determinar el presupuesto y los resultados obtenidos del programa Matlab.

Entre los costos que intervienen, los más importantes que se han considerado son:

- Costos de mano de obra
- Costo del acero
- Costos de alquiler de terreno y equipos
- Costos de servicios básicos, entre otros

Se ha realizado la estimación de costos de los otros sistemas del buque, la misma que es detallada en el Anexo G. El resumen de estos resultados por rubro, se presentan en las siguientes secciones.

4.2 Metodología de Operación del Yate

Una empresa de transporte marítimo de pasajeros, que explota las embarcaciones de turismo, está interesada en invertir en la construcción de un yate, para agregarlo a su flota.

El yate ha sido diseñado para ser exclusivo y, por lo tanto, catalogado en Primera Clase, ofreciendo sus rutas de turismo a 12 pasajeros por las Islas Galápagos. Se realizará la publicidad, a los 6 meses de haber iniciado su construcción. De esta manera, será posible conseguir reservaciones y empezar a operar inmediatamente después de haber finalizado la construcción del yate.

Por lo tanto, los costos y gastos que tendrá la empresa operadora, serán divididos entre el número de barcos disponibles en su flota. En detalle se presentan los precios en las siguientes secciones.

4.3 Presupuesto de Inversión

En el presupuesto para el proyecto se han descrito los ingresos y egresos estimados. Esto ha permitido al administrador establecer prioridades para poder tomar una serie de decisiones las cuales lo llevarán a alcanzar todas las metas propuestas durante un tiempo determinado.

Para estimar la inversión necesaria para un proyecto, se han determinado los costos, activos y cualquier gasto que el proyecto precise para poder entrar en funcionamiento. A continuación, se ha descrito la inversión del proyecto, la misma que está subdividida en tres componentes:

4.3.1 Activo Fijo

Los activos fijos se definen como el conjunto de bienes cuya vida útil es relativamente larga, y son utilizados de forma continua durante el ciclo de operación del proyecto. Estos bienes usualmente sufren depreciación

física, siendo fundamental el mantenimiento constante de los mismos, a fin de tener un óptimo funcionamiento durante el transcurso del proyecto. En la Tabla LXVII se presentan los activos fijos considerados en la etapa de construcción del yate:

RUBROS DEL YATE	
DETALLE	TOTAL
Casco y superestructura (G100)	\$ 1,778,460.26
Sistema de propulsión (G200)	\$ 1,230,898.98
Sistemas del yate (Outfitting)	\$ 343,734.09
Sistema eléctrico - Generación eléctrica	\$ 122,253.41
Acomodación y habitabilidad	\$ 471,804.06
Pintura, arreglos y protección catódica	\$ 81,305.02
Equipos electrónicos y de navegación	\$ 48,797.28
Equipos de seguridad y salvataje	\$ 72,385.78
Sistema de amarre y fondeo	\$ 68,000.00
Equipos de lujo para pasajeros	\$ 160,000.00
Clasificación y otros	\$ 210,000.00
TOTAL RUBROS DEL YATE	\$ 4,587,638.88

Tabla 73. Costos de la construcción del yate.

En el detalle presentado en la tabla anterior no se han incluido los costos del terreno y las instalaciones, debido a que no se realizará la compra de éstos porque ya existen. Simplemente se hará uso de los mismos.

Las depreciaciones y amortizaciones de los activos fijos se presentan en el Anexo H.

4.3.2 Activo Diferido

Los activos diferidos son bienes generalmente intangibles y se pagan por anticipado. Son necesarios para la ejecución del proyecto, debido a que representan los permisos y trámites legales que se deben realizar para que la obra se ejecute de manera continua. A continuación, se presenta la Tabla LXVIII con los activos diferidos:

INVERSIÓN INICIAL - ACTIVOS DIFERIDOS		
REQUERIMIENTOS DE SUBSECRETARÍA DE PUERTOS Y TRANSPORTE MARÍTIMO Y FLUVIAL	INSPECCIÓN DE SEGURIDAD DE PASAJEROS	\$ 794.59
	LÍNEA DE CARGA	\$ 149.72
	ARQUEO	\$ 149.72
	CERTIFICADO INTERNACIONAL DE PREVENCIÓN CONTRA LA CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS (IOPP)	\$ 692.05
	AGUAS SUCIAS	\$ 692.05
	PLANOS DE SEGURIDAD	\$ 176.88
	SOPEP	\$ 176.88
	PLAN DE MANEJO DE BASURA	\$ 176.88
	PLAN DE SEGURIDAD (ZAFARRANCHO)	\$ 176.88
	APROBACIÓN DE LIBRETO DE ESTABILIDAD	\$ 62.61
	PLANOS Y MEMORIA TÉCNICA	\$ 15.01
	REQUERIMIENTOS DE DIRNEA	MATRÍCULA
LICENCIA DE RADIO		\$ 95.00
PERMISOS DE TRÁFICO		\$ 8.96
TRAMITADOR		\$ 6,000.00
PATENTE DE OPERACIÓN TURÍSTICA		\$ 2,400.00
TOTAL		\$ 11,897.98

Tabla 74. Activos diferidos del proyecto.

4.3.3 Capital de trabajo

El capital de trabajo es la inversión inicial necesaria para la etapa de operación del yate. Valor que se determina con los costos fijos del proyecto para tres meses. Debido a que el monto de la inversión es obtenida de inversionistas y un préstamo a la CFN, se necesita determinar el capital de trabajo en este proyecto.

4.3.4 Presupuesto de operación

Se han estimado los ingresos y egresos del proyecto, lo que permitirá determinar la liquidez, y por ende la viabilidad del proyecto.

- **PRESUPUESTO DE INGRESOS**

Por la naturaleza del yate, se lo ha clasificado como Primera Clase. Los viajes que se ha definido que el yate realizará es de 7 días – 6 noches, 5 días – 4 noches y 4 días – 3 noches, con el costo que se detalla en la Tabla LXIX. Se ha estimado que año a año el costo por viaje aumentará en un 5%.

TOUR 7 días – 6 noches	Costos de tour		Pax	Ingresos
	Guess room	\$ 6,500.00	2	\$ 13,000.00
	Habitación 2 personas	\$ 6,010.00	4	\$ 24,040.00
	Habitación 3 personas	\$ 5,550.00	6	\$ 33,300.00
	TOTAL		12	\$ 71,540.00
TOUR 5 días – 4 noches	Costos de tour		Pax	Ingresos
	Guess room	\$ 4,300.00	2	\$ 8,600.00
	Habitación 2 personas	\$ 3,905.00	4	\$ 15,620.00
	Habitación 3 personas	\$ 3,545.00	6	\$ 21,270.00
	TOTAL		12	\$ 47,890.00
TOUR 4 días – 3 noches	Costos de tour		Pax	Ingresos
	Guess room	\$ 3,200.00	2	\$ 6,400.00
	Habitación 2 personas	\$ 2,905.00	4	\$ 11,620.00
	Habitación 3 personas	\$ 2,635.00	6	\$ 15,810.00
	TOTAL		12	\$ 36,230.00

Tabla 75. Costos de tour por persona.

En la siguiente figura se presenta el calendario de la programación de un mes de viajes del yate. Esta información ha sido útil para determinar cuántos viajes se podría realizar al año. Se cuentan 28 días al mes, y con 7 viajes en 28 días, al año el máximo número de viajes que se pueden realizar son 91 viajes.

	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	# VIAJES
Tour de 7D-6N	01	02	03	04	05	06	07	
Tour de 5D-4N	10 am				7 am			1
Tour de 4D-3N					10 am			2
	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	
	08	09	10	11	12	13	14	
	7 am							2
	10 am				7 am			3
					10 am			4
	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	
	15	16	17	18	19	20	21	
	7 am							4
	10 am				7 am			5
					10 am			6
	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	
	22	23	24	25	26	27	28	
	7 am							6
	10 am						7 am	7

Figura No. 24. Cronograma de calendario de viajes.
Fuente: Autor.

Otras fuentes de ingreso que se han definido son los servicios que se ofrecen dentro del yate a los turistas, tales como bebidas y snacks, cuenta con una boutique en la que se vende prendas de vestir y recuerdos de la isla, también se alquilan kayaks y equipos de buceo.

DESCRIPCIÓN	COSTO
Jugos naturales	\$ 3.50
Gaseosas	\$ 2.50
Agua	\$ 2.00
Kayak	\$ 30.00
Traje de buzo	\$ 25.00

Tabla 76. Ingresos varios.

- **PRESUPUESTO DE EGRESOS:** Los egresos del proyecto, han sido divididos en los egresos de la empresa operadora y los egresos del yate.

En la Tabla LXXI se presentan los gastos de la empresa operadora:

EMPRESA OPERADORA		
GASTOS GENERALES		
COSTOS FIJOS	MENSUAL	2017
SERVICIOS BÁSICOS - LUZ	\$ 800.00	\$ 9,600.00
SERVICIOS BÁSICOS - AGUA	\$ 200.00	\$ 2,400.00
SERVICIOS BÁSICOS - INTERNET	\$ 200.00	\$ 2,400.00
SERVICIOS BÁSICOS - TELEFONO	\$ 900.00	\$ 10,800.00
TOTAL	\$ 2,100.00	\$ 25,200.00
GASTOS DE PUBLICIDAD		
DETALLE	MENSUAL	2017
PUBLICIDAD Y PROMOCIÓN	\$ 7,000.00	\$ 84,000.00
TOTAL COSTOS FIJOS PUBLICIDAD	\$ 7,000.00	\$ 84,000.00

Tabla 77. Gastos generales de la empresa operadora.

La tripulación se ha definido en 18 personas, de las cuales se detalla su posición en la Tabla LXXII. Los salarios de la tripulación se han obtenido de una empresa dedicada a realizar turismo en las Islas Galápagos en embarcaciones de lujo.

De la misma manera, se ha determinado necesario personal en tierra, cuyos sueldos fueron tomados de ASTINAVE E.P.

Cabe recalcar, que el personal de tripulación trabaja 6 semanas y descansa 3 semanas, por lo que es necesario contratar otro equipo de trabajadores para que los suplante en este tiempo, a continuación se presenta el doble de la tripulación para los cálculos respectivos.

Se representa en la siguiente tabla los sueldos y los porcentajes que se debe pagar a los trabajadores siguiendo el Código del Trabajo de Ecuador [22].

TRIPULACIÓN DEL YATE SHANTHAL I											
POSICIÓN	#	SBU	ANUAL NOMINAL	13AVO	14AVO	APORTE PATRONAL	FONDOS DE RESEVA	SECAP ANUAL	IECE ANUAL	SUBTOTAL ANUAL	TOTAL ANUAL
Oficial de Cubierta (Primer)	2	\$ 3,500.0	\$ 42,000.0	\$ 3,500.0	\$ 366.0	\$ 4,683.0	\$ 291.55	\$ 210.0	\$ 210.0	\$ 51,260.55	\$ 102,521.1
Oficial de Cubierta (Segundo)	2	\$ 2,600.0	\$ 31,200.0	\$ 2,600.0	\$ 366.0	\$ 3,478.8	\$ 216.58	\$ 156.0	\$ 156.0	\$ 38,173.38	\$ 76,346.76
Oficial de Cubierta (Tercer)	2	\$ 2,600.0	\$ 31,200.0	\$ 2,600.0	\$ 366.0	\$ 3,478.8	\$ 216.58	\$ 156.0	\$ 156.0	\$ 38,173.38	\$ 76,346.76
Contraestrate	2	\$ 1,500.0	\$ 18,000.0	\$ 1,500.0	\$ 366.0	\$ 2,007.0	\$ 124.95	\$ 90.0	\$ 90.0	\$ 22,177.95	\$ 44,355.9
Marinero de primera de puente (Timonel)	6	\$ 1,100.0	\$ 13,200.0	\$ 1,100.0	\$ 366.0	\$ 1,471.8	\$ 91.63	\$ 66.0	\$ 66.0	\$ 16,361.43	\$ 98,168.58
Marinero de cubierta	6	\$ 950.0	\$ 11,400.0	\$ 950.0	\$ 366.0	\$ 1,271.1	\$ 79.14	\$ 57.0	\$ 57.0	\$ 14,180.24	\$ 85,081.41
Oficial de máquinas (Primer)	2	\$ 3,500.0	\$ 42,000.0	\$ 3,500.0	\$ 366.0	\$ 4,683.0	\$ 291.55	\$ 210.0	\$ 210.0	\$ 51,260.55	\$ 102,521.1
Oficial de máquinas (Segundo)	2	\$ 2,800.0	\$ 33,600.0	\$ 2,800.0	\$ 366.0	\$ 3,746.4	\$ 233.24	\$ 168.0	\$ 168.0	\$ 41,081.64	\$ 82,163.28
Oficial de máquinas (Tercer)	2	\$ 1,500.0	\$ 18,000.0	\$ 1,500.0	\$ 366.0	\$ 2,007.0	\$ 124.95	\$ 90.0	\$ 90.0	\$ 22,177.95	\$ 44,355.9
Oficial electrotécnico o electricista	2	\$ 2,500.0	\$ 30,000.0	\$ 2,500.0	\$ 366.0	\$ 3,345.0	\$ 208.25	\$ 150.0	\$ 150.0	\$ 36,719.25	\$ 73,438.5
Marinero de primera de máquinas (Maquinista)	4	\$ 1,200.0	\$ 14,400.0	\$ 1,200.0	\$ 366.0	\$ 1,605.6	\$ 99.96	\$ 72.0	\$ 72.0	\$ 17,815.56	\$ 71,262.24
Marinero de primera de máquinas (Motorista)	2	\$ 1,500.0	\$ 18,000.0	\$ 1,500.0	\$ 366.0	\$ 2,007.0	\$ 124.95	\$ 90.0	\$ 90.0	\$ 22,177.95	\$ 44,355.9
Marinero de máquinas (aceitero)	2	\$ 1,500.0	\$ 18,000.0	\$ 1,500.0	\$ 366.0	\$ 2,007.0	\$ 124.95	\$ 90.0	\$ 90.0	\$ 22,177.95	\$ 44,355.9
TOTAL DE TRIPULANTES	36										
PERSONAL											
Gerente de proyecto	1	\$ 3,038.0	\$ 36,456.0	\$ 3,038.0	\$ 366.0	\$ 4,064.8	\$ 253.07	\$ 182.3	\$ 182.3	\$ 44,542.5	\$ 44,542.5
Ingeniero de bahía	1	\$ 1,212.0	\$ 14,544.0	\$ 1,212.0	\$ 366.0	\$ 1,621.7	\$ 100.96	\$ 72.7	\$ 72.7	\$ 17,990.1	\$ 17,990.1
Clasificación	1	\$ 1,212.0	\$ 14,544.0	\$ 1,212.0	\$ 366.0	\$ 1,621.7	\$ 100.96	\$ 72.7	\$ 72.7	\$ 17,990.1	\$ 17,990.1
Promotores (publicidad)	3	\$ 733.0	\$ 8,796.0	\$ 733.0	\$ 366.0	\$ 980.8	\$ 61.06	\$ 44.0	\$ 44.0	\$ 11,024.8	\$ 33,074.3
										TOTAL ANUAL DE SALARIOS	\$ 1,058,870.2
										TOTAL MENSUAL DE SALARIOS	\$ 88,239.1

Tabla 78. Salarios de los tripulantes del yate Shanthal I.

Se ha considerado que el buque debe estar asegurado, por lo que se ha seleccionado un seguro que cubre casco y maquinaria contra todo riesgo, incluso negligencia de la tripulación. Siendo éste valor un 3% del costo total del yate.

El precio por mantenimiento de la embarcación ha sido adoptado de una embarcación de similares características, dividiéndose la reparación en cuatro partes, como se detalla en la Tabla LXXIII.

MANTENIMIENTO (PERIODO: 2 AÑOS)	
Parte administrativa	\$ 40,633.33
Cubierta	\$ 112,955.56
Hotelería	\$ 97,238.89
Máquinas	\$ 94,172.22
TOTAL	\$ 345,000.00

Tabla 79. Costo de mantenimiento del yate.

Debido a que el mantenimiento se lo realiza cada dos años, este precio ha sido dividido para dos, para obtener un precio anual. Estos costos se expresan en la Tabla LXXIV.

COSTOS DE OPERACIÓN	
COSTOS FIJOS	2016
MANTENIMIENTO	\$ 172,500.00
SEGURO	\$ 137,629.17
TOTAL	\$ 310,129.17

Tabla 80. Costos de operación del yate.

Los costos variables del buque han estado orientados a los consumibles para pasajeros y tripulación, y, al combustible que se usa para la operación del yate, valor que se ha detallado mensualmente en la Tabla LXXV.

DESCRIPCIÓN	COSTO MENSUAL
Alimentos perecibles y no perecibles	\$ 15,000.00
Transporte aéreo y logística	\$ 1,780.00
Transporte marítimo	\$ 12,000.00
TOTAL CONSUMIBLE	\$ 28,780.00
TOTAL COMBUSTIBLE	\$ 53,083.12

Tabla 81. Costos variables del yate.

4.4 Estructura de Financiamiento

Para determinar la estructura de financiamiento, se ha establecido cómo va a ser financiado el proyecto para poder determinar la factibilidad del mismo.

Este proyecto se ha estimado que se financiará contando con un aporte del 60% por parte de inversionistas y el 40% restante se lo obtiene de un préstamo a la Corporación Financiera Nacional (CFN), cuya tasa de interés es del 11.83% actualmente. En la Tabla LXXVI se presenta el valor total de la inversión, cuánto representa lo aportado por el accionista y cuánto es el préstamo:

Activos Fijos Totales	\$ 4,587,638.88	
Permiso de Funcionamiento	\$ 11,897.98	
Inv. Capital de Trabajo	\$ 364,487.52	
Total Inversión	\$ 4,964,024.38	100%
Aporte Inversionistas	\$ 2,978,414.63	60%
Préstamo	\$ 1,985,609.75	40%
Institución Financiera	CFN	
Tasa de Interés	11.83%	
Plazo	10	años
Gracia	0	años
Fecha de inicio	01/01/2017	
Moneda	dólares	

Tabla 82. Inversión Inicial del proyecto.

4.5 Estado de Resultados

El estado de resultados en un análisis financiero sirve para determinar si la inversión ha generado utilidades o pérdidas, comparando los ingresos con los egresos en un período establecido.

Estos rubros se clasifican por ingresos y tipo de gastos. En el Anexo I se presenta un resumen de dichos costos.

4.6 Flujo de Caja

En el flujo de caja se ha presentado el flujo de ingresos y egresos del proyecto en un tiempo determinado. Se ha determinado la capacidad del proyecto para producir flujos de efectivo positivos. El principal objetivo del flujo de caja es proporcionar la información necesaria a los inversionistas sobre las entradas y salidas de efectivo del proyecto.

4.7 Evaluación Financiera

4.7.1 Tasa de descuento

La tasa de descuento que se ha utilizado en el proyecto es la tasa CAPM. Con esta tasa se descuentan los flujos de caja futuros cuando se valora un proyecto en el que existen inversionistas. Se ha calculado la tasa de descuento mediante la ecuación:

$$R_i = R_f + (R_m - R_f) * \beta + R_p \quad (4.1)$$

donde:

R_i Tasa de descuento del accionista

R_f Tasa libre de riesgo, 1.6%

R_m Rentabilidad esperada del mercado, $R_m - R_f = 6.7\%$

β Riesgo de mercado de un activo, 2.4%

R_p Riesgo del país

Se ha encontrado el valor del riesgo del país Ecuador, en el Banco Central Ecuatoriano, teniendo un valor de 7.97%. El beta se ha determinado basándose en el tipo de sector en Estados Unidos, de los cuales se ha seleccionado Construcción Naval & Marina, con un valor de 1.24%. Por lo que la tasa de descuento es:

$$R_i = 18.68\%$$

4.7.2 Valor actual neto (VAN)

Con el VAN se establece si quedan ganancias luego de descontar la inversión inicial, valor que se determina llevando al presente los flujos netos del tiempo de operación, con la tasa de descuento. Se acepta el proyecto si el VAN es mayor o igual a cero, caso contrario, no se invierte. Se utilizará la ecuación expuesta en el libro de Finanzas Corporativas [23].

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+R_i)^t} \quad (4.2)$$

Donde:

F_t Flujo de efectivo, ingresos menos egresos

t Número de período, $t = 1, 2, \dots, 10$

R_i Tasa de descuento

4.7.3 Tasa interna de retorno (TIR)

La TIR indica la rentabilidad del proyecto, expresada en porcentaje. Se compara la tasa interna de retorno con la tasa de descuento, si la primera es mayor, el proyecto se acepta, caso contrario, se rechaza.

Esta tasa iguala el valor presente neto de los flujos de efectivo de una inversión a cero. Se analiza como:

$$\sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+R_i)^t} = 0 \quad (4.3)$$

$$-\frac{F_0}{(1+R_i)^0} + \frac{F_1}{(1+R_i)^1} + \dots + \frac{F_{10}}{(1+R_i)^{10}} = 0 \quad (4.4)$$

En la Tabla LXXXV se presenta la evaluación financiera del proyecto, con sus valores determinados de VAN y TIR, determinándose la TIR con la formulación presentada por la plantilla de Excel.

TASA DE DESCUENTO		18.68%					
AÑO	COSTOS DE INVERSIÓN	COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	COSTOS FIJOS	COSTOS VARIABLES	BENEFICIOS	INGRESOS NETOS	VA
0	\$ (4,964,024.38)					\$ (4,964,024.38)	
1		\$ (310,129.17)	\$ (1,490,097.38)	\$ (888,583.47)	\$ 3,442,466.31	\$ 753,656.30	\$ 635,042.97
2		\$ (319,433.04)	\$ (1,534,800.30)	\$ (869,677.44)	\$ 3,538,876.31	\$ 814,965.53	\$ 578,627.14
3		\$ (329,016.03)	\$ (1,580,844.31)	\$ (926,395.53)	\$ 3,957,680.90	\$ 1,121,425.03	\$ 670,902.77
4		\$ (338,886.51)	\$ (1,628,269.64)	\$ (907,489.50)	\$ 4,072,091.01	\$ 1,197,445.36	\$ 603,635.58
5		\$ (349,053.11)	\$ (1,677,117.72)	\$ (926,395.53)	\$ 4,363,343.19	\$ 1,410,776.82	\$ 599,248.87
6		\$ (359,524.70)	\$ (1,727,431.26)	\$ (907,489.50)	\$ 4,489,480.33	\$ 1,495,034.88	\$ 535,093.91
7		\$ (370,310.44)	\$ (1,779,254.19)	\$ (926,395.53)	\$ 4,810,585.86	\$ 1,734,625.70	\$ 523,135.56
8		\$ (381,419.76)	\$ (1,832,631.82)	\$ (907,489.50)	\$ 4,949,652.07	\$ 1,828,110.99	\$ 464,558.93
9		\$ (392,862.35)	\$ (1,887,610.77)	\$ (926,395.53)	\$ 5,303,670.92	\$ 2,096,802.26	\$ 448,978.46
10		\$ (404,648.22)	\$ (1,944,239.10)	\$ (907,489.50)	\$ 5,456,991.41	\$ 2,200,614.59	\$ 397,046.89
						VAN	\$ 5,456,271.09
						TIR	21%

Tabla 83. Flujo de efectivo proyectado – Parte I.

El VAN y TIR del proyecto ha sido determinados con el flujo de caja expuesto, y se ha obtenido lo que se muestra en la Tabla LXXXV.

Se ha calculado un VAN mayor a cero, con lo que se ha podido afirmar que el proyecto es rentable. Al tener una TIR mayor a la tasa de descuento, los inversionistas deben sentirse seguros de financiar este proyecto.

4.8 Análisis de Punto de Equilibrio

En el análisis de punto de equilibrio se ha determinado el número mínimo de viajes a realizar para no tener ni pérdidas ni ganancias, es decir, donde los ingresos totales son equivalentes a los costos totales. Se determina que al menos se realizarán 12 viajes de 7 días – 6 noches, y el restante se subdividirá en los viajes de 5 días – 4 noches y 4 días – 3 noches, por lo que los precios de venta y los costos variables dependerán de esto.

El número de viajes que se ha necesitado para cubrir los costos totales antes de poder conseguir una ganancia son 70 viajes, como se muestra:

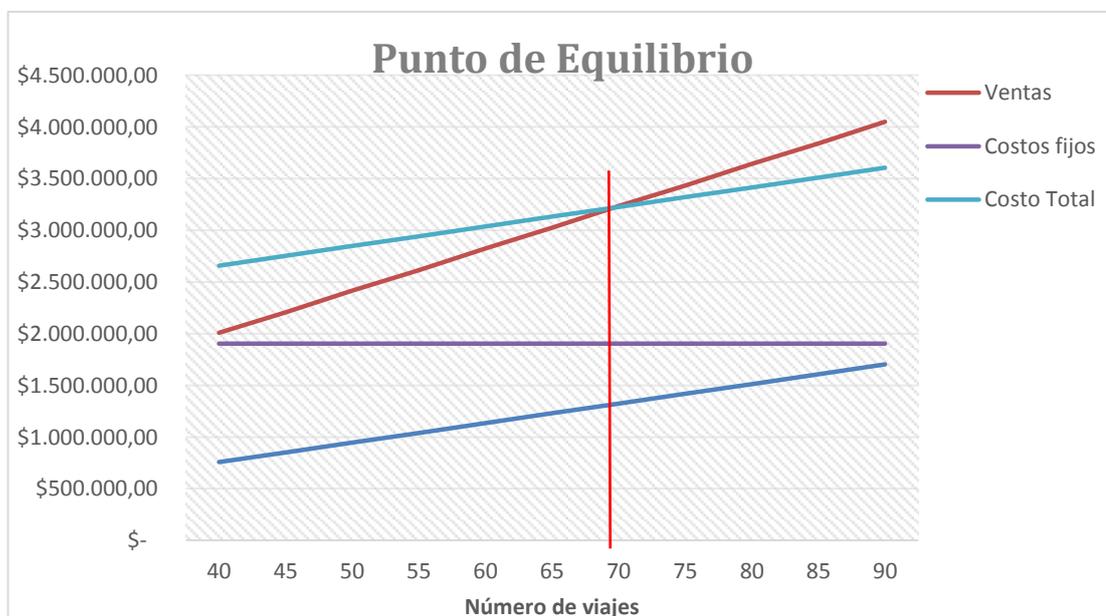


Figura No. 25. Punto de equilibrio del proyecto.
Fuente: Gráficos de Excel.

4.9 Análisis de Sensibilidad

En el análisis de sensibilidad se estudian al menos dos escenarios en los cuales se han variado parámetros importantes durante la vida del proyecto, debido a que éstos influyen en las ganancias que se puedan esperar, por lo tanto, influyen en la rentabilidad del proyecto.

Los dos escenarios que se han definido para hacer el análisis son:

- Incremento de un 10% de los costos de suministros y provisiones.
- Reducción de un 5% en la demanda de cruceros.

Estos escenarios se han tomado en cuenta debido a la situación actual del Ecuador, debido a que se encuentra en un estancamiento económico, los impuestos suben y crean un incremento de precio de todos los bienes.

En el primer escenario, ha aumentado el costo de los consumibles y del combustible en un 10%. Por lo tanto, el VAN y la TIR han disminuido, y el período de recuperación del proyecto ha aumentado.

En el segundo escenario, se ha disminuido la demanda de los viajes en un 5%. Con esto, disminuyó notablemente el VAN y la TIR, y ha aumentado considerablemente el período de recuperación del proyecto.

4.10 Análisis de Resultados

A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos en el presente capítulo:

- ✓ Se han estimado los costos de la construcción del buque junto a la mano de obra que se utiliza durante la misma, siguiendo
- ✓ Se ha considerado al buque como un Yate de Primera Clase, por lo que se ha tomado de referencia precios altos de los viajes a realizar por las Islas Galápagos. Teniendo una gran fuente de ingresos en el proyecto.
- ✓ Se han estimado los costos operacionales, administrativos, etc. que intervengan en la operación, funcionamiento y mantenimiento del yate.
- ✓ Se ha determinado que el préstamo a pedir a una entidad bancaria será del 40% de la Inversión total necesaria.
- ✓ Se ha calculado el VAN de \$ 5,456,271.09 y la TIR de 21%, valores que permiten asegurar que el proyecto es rentable.
- ✓ Se ha calculado como punto de equilibrio, que el yate al menos debe realizar 12 viajes de 7 noches – 6 días, 29 viajes de 5 días y 4 noches y 29 viajes de 4 días y 3 noches.
- ✓ Al menos se deben realizar el 70% de los viajes propuestos para cubrir los costos fijos.
- ✓ Se ha realizado un análisis de sensibilidad con 2 supuestos casos que pueden ocurrir en el proyecto, teniendo como resultado que el proyecto sigue siendo rentable, pero su periodo de recuperación ha incrementado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Se realizó el diseño preliminar de un yate para 12 pasajeros que va a operar en las Islas Galápagos.
2. De los resultados obtenidos del análisis estructural optimizado y realizado en SSC, al ser verificados mediante un modelo tridimensional del compartimento 5 desarrollado en SAP2000, se ha determinado que esos elementos estructurales exceden la máxima deformación permitida por Lloyd's Register, por lo que se ha tenido que seleccionar nuevos refuerzos para el bloque en función de las cargas y presiones de diseño aplicadas.
3. Con respecto al análisis económico del buque, se ha determinado que el proyecto es rentable. El período de recuperación es de 4.40 años.

Recomendaciones

1. Previo a realizar el diseño de una embarcación, definir el área de operación y proyectos en los cuales se pueda basar para elaborar un proyecto completo tanto en la etapa de diseño como en el análisis económico.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] INOCAR, «Istituto Oceanográfico de la Armada,» Mayo 2016. [En línea]. Available: <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/boletines/oleaje-y-aguaje/597-condiciones-de-oleaje-durante-el-feriado-del-27-al-30-de-mayo-2016>. [Último acceso: Julio 2016].
- [2] Organización Marítima Internacional, Convenio Internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, Londres: Organización Marítima Internacional, 2012.
- [3] Organización Marítima Internacional, Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques, Londres: Organización Marítima Internacional, 2002.
- [4] Organización Marítima Internacional, Convenio Internacional sobre Líneas de Carga, 1966 y Protocolo 1988, enmendado en 2003, Londres: Organización Marítima Internacional, 2005.
- [5] Ministerio Asuntos Exteriores, Convenio de 23 de junio de 1969 sobre arqueo de buques, España: Marina Mercante de España, 1982.
- [6] ABS, American Berau of Shipping Rules for Classification, Houston, 2013.
- [7] INOCAR, «Istituto Oceanográfico de la Armada,» Junio 2016. [En línea]. Available: http://www.inocar.mil.ec/docs/derrotero/derrotero_cap_VI.pdf.
- [8] M. Ventura, Estimation Methods for basic Ship Design, Instituto Superior Técnico, 2014.
- [9] R. Alvariño, J. Aspiroz y M. Meizoso, El proyecto básico del buque mercante,

Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos, 2007.

- [10] SPTMF, Resolución, Edición No. 096-S, Guayaquil: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013.
- [11] SPTMF, «Planos de Líneas de Formas, Distribución y Estructurales del Yate Passion,» Subsecretaría de Puertos y Transporte Marítimo y Fluvial, Guayaquil, 2015.
- [12] Lloyd's Register, Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft, Londres: Lloyd's Register Group Limited, 2016.
- [13] Organización Marítima Internacional, «Chapter II-2, Regulation 12,» de *Convenio Internacional para la seguridad de la vida humana en el mar*, Londres, Organización Marítima Internacional, 2012, p. 29.
- [14] Organización Marítima Internacional, Código de estabilidad sin avería para todos los tipos de buques regidos por los instrumentos de la OMI, Resolución A749 (18), Organización Marítima Internacional, 1993.
- [15] Organización Marítima Internacional, Código Internacional de Estabilidad sin avería, 2008 (Código IS 2008), adoptada el 4 de Diciembre del 2008 por la Resolución MSC 267 (85), Organización Marítima Internacional, 2008.
- [16] E. Lahtiharju, Resistance and Seakeeping characteristics of fast transom stern hulls with systematically varied forms, SNAME Transactions, 1991.
- [17] D. Butler, Guide to Ship Repair Estimates, Butterworth Heinemann, 2000.
- [18] Lloyd's Register, «Hull structures,» de *Rules for Classification and Construction – Ship Technology*, Londres, Lloyd's Register Group Limited, 2015.
- [19] Lloyd's Register, «Plate Deformation Limits,» de *Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft*, Londres, Lloyd's Register Group

Limited, 2016, pp. Part 3, Chapter 1, Section 8.

- [20] Lloyd's Register, «Deflection control,» de *Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft*, Londres, Lloyd's Register Group Limited, 2016, pp. Part 6, Chapter 7, Section 2.
- [21] ASTINAVE E.P., «Astilleros Navales Ecuatorianos, Empresa Pública,» Julio 2016. [En línea]. Available: [http://www.astinave.com.ec/lotaip/docs/Documentacion/2016/literal%20c\)Remuneraci%C3%B3n%20mensual%20por%20puesto/07.%20JULIO/literal%20c\)%20Remuneraci%C3%B3n%20mensual%20por%20%20puesto.pdf](http://www.astinave.com.ec/lotaip/docs/Documentacion/2016/literal%20c)Remuneraci%C3%B3n%20mensual%20por%20puesto/07.%20JULIO/literal%20c)%20Remuneraci%C3%B3n%20mensual%20por%20%20puesto.pdf).
- [22] Ministerio del Trabajo, 2016. [En línea]. Available: <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/11/C%C3%B3digo-de-Tabajo-PDF.pdf>.
- [23] J. Berk y P. Demarzo, *Finanzas Corporativas*, Pearson, 2007.
- [24] Empresa Actual, «Empresa Actual,» Septiembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.empresaactual.com/el-wacc/>.
- [25] Lloyd's Register, «Esfuerzo Longitudinal,» de *Rules for Classification and Construction – Ship Technology*, Londres, Lloyd's Register Group Limited, pp. Parte 3, Capítulo 3, Sección 3.4.

ANEXOS

ANEXO A

Condiciones Específicas

	CONDICIÓN I	CONDICIÓN II	CONDICIÓN III	CONDICIÓN IV
Draft amidships [m]	2.751	2.679	2.677	2.642
Displacement t	641.3	614.4	612.9	598.8
Heel deg	0.5	0.6	0.5	0.6
Draft at FP m	2.607	2.569	2.589	2.592
Draft at AP m	2.895	2.789	2.766	2.691
Draft at LCF m	2.768	2.692	2.687	2.647
Trim (+ve by stern) m	0.288	0.221	0.177	0.099
WL Length m	48.834	48.792	48.791	48.573
Beam max extents on WL m	9.208	9.187	9.185	9.172
Wetted Area m ²	455.145	446.704	446.228	441.64
Waterpl. Area m ²	348.647	345.132	344.759	342.549
Prismatic coeff. (Cp)	0.627	0.623	0.623	0.624
Block coeff. (Cb)	0.502	0.496	0.496	0.496
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.803	0.799	0.798	0.796
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.775	0.77	0.769	0.769
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-1.548	-1.379	-1.301	-1.136
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-2.788	-2.701	-2.661	-2.568
KB m	1.715	1.669	1.667	1.643
KG m	3.938	3.975	3.905	3.934
BMt m	3.06	3.135	3.137	3.174
BML m	79.856	81.544	81.536	82.248
GMt m	0.836	0.829	0.898	0.883
GML m	77.632	79.238	79.298	79.957
KMt m	4.775	4.804	4.803	4.817
KML m	81.566	83.209	83.199	83.887
Immersion (TPc) tonne/cm	3.574	3.538	3.534	3.511
MTc tonne.m	10.394	10.163	10.146	9.995
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	9.36	8.889	9.61	9.231
Max deck inclination deg	0.6363	0.6244	0.5628	0.5646
Trim angle (+ve by stern) deg	0.345	0.2638	0.2116	0.119

Tabla 84. Resultados del análisis de condición específica para las cuatro condiciones.

ANEXO B

Ecuaciones de Criterio Meteorológico

Los ángulos de la figura 11 son:

- θ_0 , ángulo de escora provocado por un viento constante.
- θ_1 , ángulo de balance de barlovento debido a la acción de las olas.
- θ_2 , ángulo de inundación descendente (θ_f), o 50° , o θ_c , tomando el que sea el menor de todos.

Definiendo:

- θ_f , ángulo de escora al que se sumergen las aberturas del casco, superestructuras o casetas que no puedan cerrarse de modo estanco a la intemperie. Al aplicar este criterio no se debe considerar abiertas las pequeñas aberturas por las que no pueda producirse inundación progresiva.
- θ_c , ángulo de la segunda intersección entre la curva de brazos escorantes (l_{w2}) y la de brazos GZ.

El ángulo θ_0 , ángulo de escora, debe cumplir con lo siguiente:

El ángulo de escora provocado por un viento constante (θ_0), no deberá exceder a 16° o al 80% del ángulo de inmersión del borde de cubierta.

Para determinar el ángulo de balance θ_1 , se aplica la siguiente ecuación:

$$\theta_1 = 109 * k * X1 * X2 * \sqrt{\tau * s}, \quad [\text{grados}]$$

Donde:

- $K=1$, cuando no se dispone de quilla de balance, aplica en nuestro caso.
- X_1 , factor tomado de la tabla.
- X_2 , factor tomado de la tabla.
- $\tau = 0.73 + 0.6 \text{ OG}/d$ con $\text{OG}=\text{KG}-d$
- d , calado de diseño [m].
- s = factor que aparece en la tabla, donde T es el período de balance natural del buque. Siendo T :

$$T = \frac{2 \times 0.432 \times 9.53}{\sqrt{0.836}} [s]$$

A continuación se muestran, en la siguiente figura, las tablas:

B/d	X_1	C_B	X_2	T	s
≤ 2.4	1.0	≤ 0.45	0.75	≤ 6	0.100
2.5	0.98	0.50	0.82	7	0.098
2.6	0.96	0.55	0.89	8	0.093
2.7	0.95	0.60	0.95	12	0.065
2.8	0.93			14	0.053
2.9	0.91			16	0.044
3.0	0.90			18	0.038
3.1	0.88			≥ 20	0.035
3.2	0.86				
3.3	0.84				
3.4	0.82				
≥ 3.5	0.80				

Figura No. 26. Valores de X_1 , X_2 y s .

Fuente: [15].

Determinación del brazo escorante.

Los brazos escorantes l_{w1} y l_{w2} provocados por el viento, son valores constantes a todos los ángulos de inclinación y se calcularán con la siguiente fórmula:

$$l_{w1} = \frac{P * A * Z}{1000 * g * \Delta}, \quad [m]$$

$$l_{w2} = 1.5 * l_{w1}, \quad [m]$$

Donde:

- P, presión del viento de 504 Pa.
- A, área lateral proyectada de la parte del buque y de la superestructura que esté por encima de la flotación [m²].
- Z, distancia vertical desde el centro del área A hasta el centro del área lateral de la obra viva, o aproximadamente hasta el punto medio del calado medio [m].
- Δ, desplazamiento [ton].
- g, gravedad, 9.81 m/s².

Determinación del ángulo θ_2

Para hallar este ángulo hay que recordar:

- θ_2 , ángulo de inundación descendente (θ_f), o 50°, o θ_c , tomando el que sea el menor de todos.

Definiendo:

- θ_f , ángulo de escora al que se sumergen las aberturas del casco, superestructuras o casetas que no puedan cerrarse de modo estanco a la intemperie. Al aplicar este criterio no se debe considerar abiertas las pequeñas aberturas por las que no pueda producirse inundación progresiva.
- θ_c , ángulo de la segunda intersección entre la curva de brazos escorantes (l_{w2}) y la de brazos GZ.

El ángulo θ_2 se lo obtiene de igualar el área 'b' con el área 'a'. A continuación se presenta el orden para el cálculo, el cual se aplica en las tres condiciones de carga antes mencionadas.

Se define dónde inician los intervalos de integración, el límite inferior:

$$\text{limite inferior} = \theta_1 - \theta_0$$

Y el límite superior, que es el ángulo donde lw_2 intersecta con la curva. Luego se aplica la Primera regla de Simpson para este intervalo, para determinar el área 'a':

$$A = \frac{1}{3} S \sum f_s y_i$$

Luego calculando el área 'b', donde el límite inferior de esta área, el límite superior del área "b", después se aplica nuevamente la Primera regla de Simpson, hasta obtener que las dos áreas sean iguales. Cumpliendo con el criterio meteorológico:

- Bajo un viento cuya presión es de aproximadamente 504 N/m^2 y olas actuando transversalmente al buque, el área de la curva de brazos de adrizamiento (tras sustraerle el brazo escorante generado por el viento y las olas) a la izquierda del ángulo de equilibrio alcanzado (área A), ha de ser menor o igual que la situada a la derecha (área B).

Determinación del ángulo θ_f

Se sigue el concepto explicado anteriormente, y se toma como abertura una ventana, ubicada a 1.39 m desde la cubierta.

ANEXO C

Resultados de Criterios de Estabilidad y Meteorológico

Condición I:

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: IMO roll back angle	17.4	deg			
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0.040	m	0.406	Pass	+915.00
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0.040	m	0.406	Pass	+915.00
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0.040	m	0.398	Pass	+895.00
SOLAS, II-1/8	8.2.4.a Maximum GZ (intermediate stages)	0.050	m	0.406	Pass	+712.00
SOLAS, II-1/8	8.2.4.b Range of positive stability (intermediate stages)	7.0	deg	55.9	Pass	+698.13
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100.00	%	2.13	Pass	+97.87
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	6.2196	Pass	+97.36
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	10.1298	Pass	+96.44
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	3.9102	Pass	+127.49
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.200	m	0.406	Pass	+103.00
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ	25.0	deg	31.8	Pass	+27.27
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMt	0.150	m	0.836	Pass	+457.33
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16.0	deg	10.2	Pass	+36.17
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80.00	%	40.06	Pass	+49.93
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100.00	%	110.30	Pass	+10.30
3.1 Passenger Ships	3.1.1: Passenger crowding: angle of equilibrium	10.0	deg	0.5	Pass	+94.76
3.1 Passenger Ships	3.1.2: Turn: angle of equilibrium	10.0	deg	0.5	Pass	+94.76

Figura No. 27. Criterios de estabilidad – Condición I.

Fuente: Hydromax – Versión de prueba.

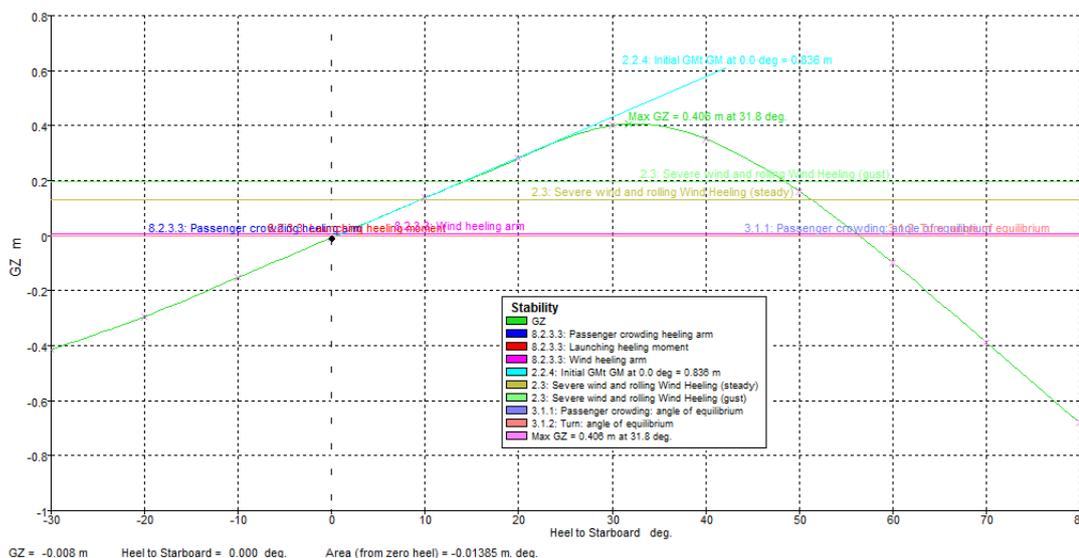


Figura No. 28. Curva de estabilidad a grandes ángulos – Condición I.

Fuente: Hydromax – Versión de prueba.

El ángulo θ_0 , se determina al “tantear”, en la ecuación de la curva Ángulo de escora vs. GZ, hasta que dé el brazo adrizante deseado, por lo que se utiliza la gráfica siguiente, determinando así que $\theta_0 = 8.71^\circ$.

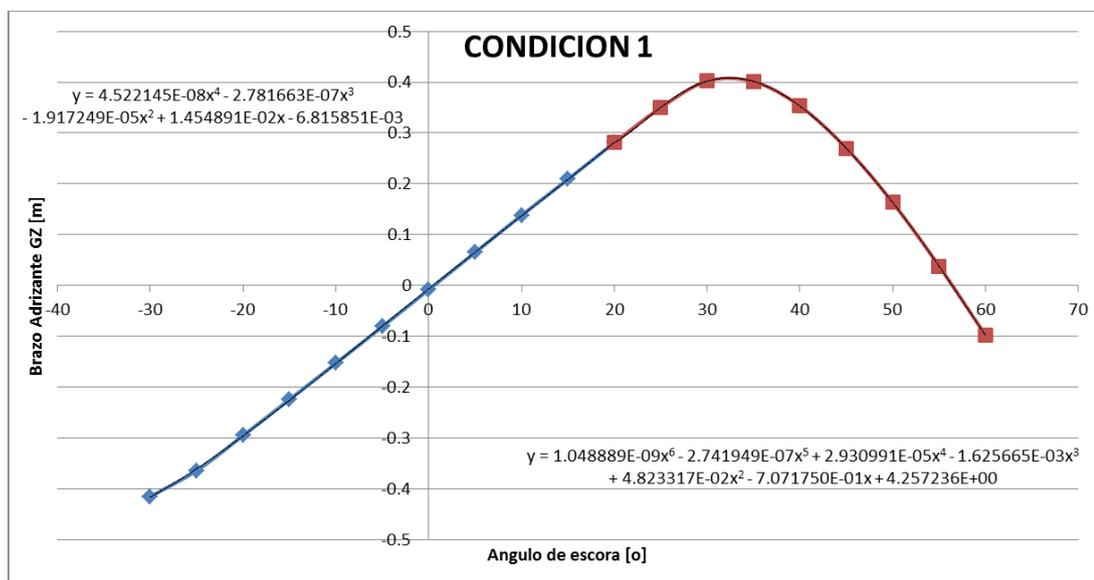


Figura No. 29. Ángulo de escora vs. Brazo adrizante GZ – Condición I.

Fuente: Autor.

Se analiza también el criterio de aglomeración de personas en una banda, siendo para esta condición, los siguientes resultados:

Code	Criteria	Value	Units	Actu	Status	Margin %
3.1 Passenger Ships	3.1.1: Passenger crowding: angle of equilibrium				Pass	
	<i>Pass. crowding arm = nPass M / disp. D cos^n(phi)</i>					
	number of passengers: nPass =	12				
	passenger mass: M =	2.040	tonne			
	distance from centre line: D =	4.000	m			
	cosine power: n =	0				
	shall not be greater than (<=)	10.0	deg	8.4	Pass	+16.15
	<i>Intermediate values</i>					
	Heel arm amplitude		m	0.11		

Figura No. 30. Criterio de aglomeración de personas – Condición I.

Fuente: Hydromax – Versión de prueba.

Condición II:

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: IMO roll back angle	17.2	deg			
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0.040	m	0.398	Pass	+895.00
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0.040	m	0.398	Pass	+895.00
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0.040	m	0.390	Pass	+875.00
SOLAS, II-1/8	8.2.4.a Maximum GZ (intermediate stages)	0.050	m	0.398	Pass	+696.00
SOLAS, II-1/8	8.2.4.b Range of positive stability (intermediate stages)	7.0	deg	55.7	Pass	+695.13
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100.00	%	2.13	Pass	+97.87
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	6.0870	Pass	+93.16
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	9.9382	Pass	+92.73
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	3.8512	Pass	+124.05
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.200	m	0.398	Pass	+99.00
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ	25.0	deg	32.7	Pass	+30.91
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMt	0.150	m	0.828	Pass	+452.00
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16.0	deg	10.1	Pass	+36.78
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80.00	%	38.00	Pass	+52.50
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100.00	%	112.36	Pass	+12.36
3.1 Passenger Ships	3.1.1: Passenger crowding: angle of equilibrium	10.0	deg	0.5	Pass	+94.52
3.1 Passenger Ships	3.1.2: Turn: angle of equilibrium	10.0	deg	0.5	Pass	+94.52

Figura No. 31. Criterios de estabilidad – Condición II.
Fuente: Hydromax – Versión de prueba.

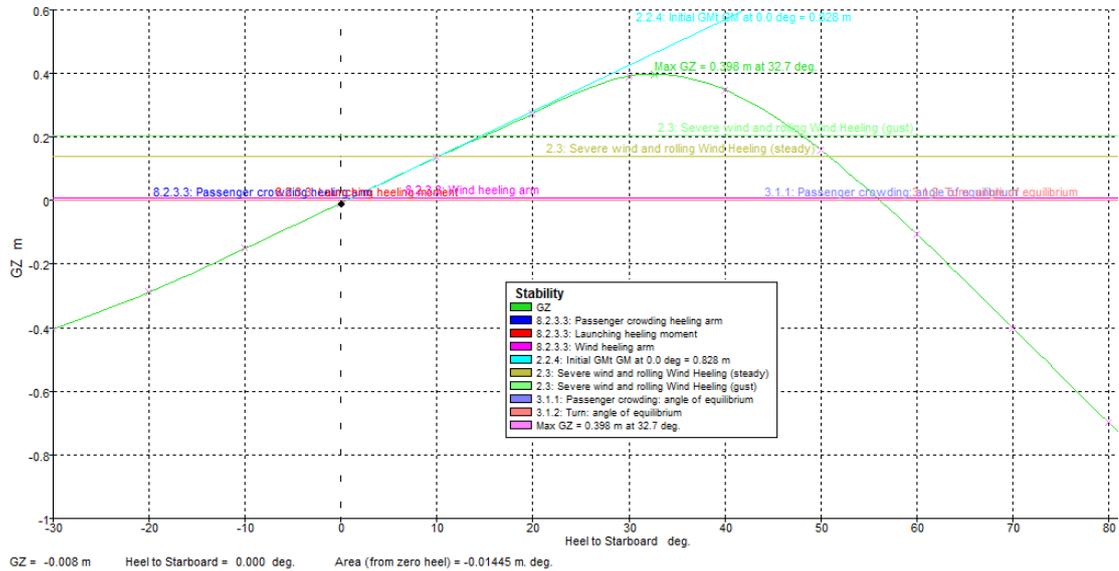


Figura No. 32. Curva de estabilidad a grandes ángulos – Condición II.
Fuente: Hydromax – Versión de prueba.

El ángulo θ_0 , se determina al “tantear”, en la ecuación de la curva Ángulo de escora vs. GZ, hasta que dé el brazo adrizante deseado, por lo que se utiliza la gráfica siguiente, determinando así que $\theta_0 = 9.18^\circ$.

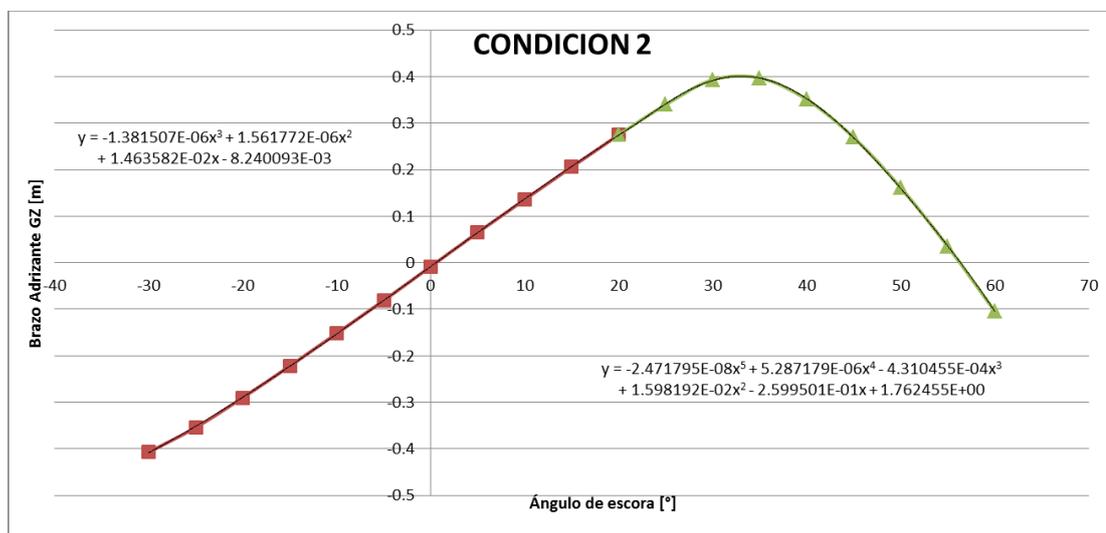


Figura No. 33. Ángulo de escora vs. Brazo adrizante GZ – Condición II.

Fuente: Autor.

Se analiza también el criterio de aglomeración de personas en una banda, siendo para esta condición, los siguientes resultados:

Code	Criteria	Value	Units	Actu	Status	Margin %
3.1 Passenger Ships	3.1.1: Passenger crowding: angle of equilibrium				Pass	
	<i>Pass. crowding arm = $nPass M / disp. D \cos^n(\phi)$</i>					
	number of passengers: nPass =	12				
	passenger mass: M =	2.040	tonne			
	distance from centre line: D =	4.000	m			
	cosine power: n =	0				
	shall not be greater than (<=)	10.0	deg	8.8	Pass	+11.79
	<i>Intermediate values</i>					
	Heel arm amplitude		m	0.12		
	Area2 (under HA), from -9.0 to 11.2 deg.		m.deg	3.10		
	Area2, from -9.0 to 11.2 deg.		m.deg	2.93		

Figura No. 34. Criterio de aglomeración de personas – Condición II.

Fuente: Hydromax – Versión de prueba.

Condición III:

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: IMO roll back angle	17.4	deg			
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0.040	m	0.436	Pass	+990.00
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0.040	m	0.436	Pass	+990.00
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0.040	m	0.427	Pass	+967.50
SOLAS, II-1/8	8.2.4.a Maximum GZ (intermediate stages)	0.050	m	0.436	Pass	+772.00
SOLAS, II-1/8	8.2.4.b Range of positive stability (intermediate stages)	7.0	deg	57.9	Pass	+727.20
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquiAngle ratio)	100.00	%	1.96	Pass	+98.04
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	6.6182	Pass	+110.02
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	10.8720	Pass	+110.84
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	4.2538	Pass	+147.47
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.200	m	0.436	Pass	+118.00
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ	25.0	deg	32.7	Pass	+30.91
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMT	0.150	m	0.898	Pass	+498.67
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16.0	deg	9.3	Pass	+41.66
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80.00	%	34.90	Pass	+56.38
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100.00	%	139.37	Pass	+39.37
3.1 Passenger Ships	3.1.1: Passenger crowding: angle of equilibrium	10.0	deg	0.5	Pass	+94.93
3.1 Passenger Ships	3.1.2: Turn: angle of equilibrium	10.0	deg	0.5	Pass	+94.93

Figura No. 35. Criterios de estabilidad – Condición III.

Fuente: Hydromax – Versión de prueba.

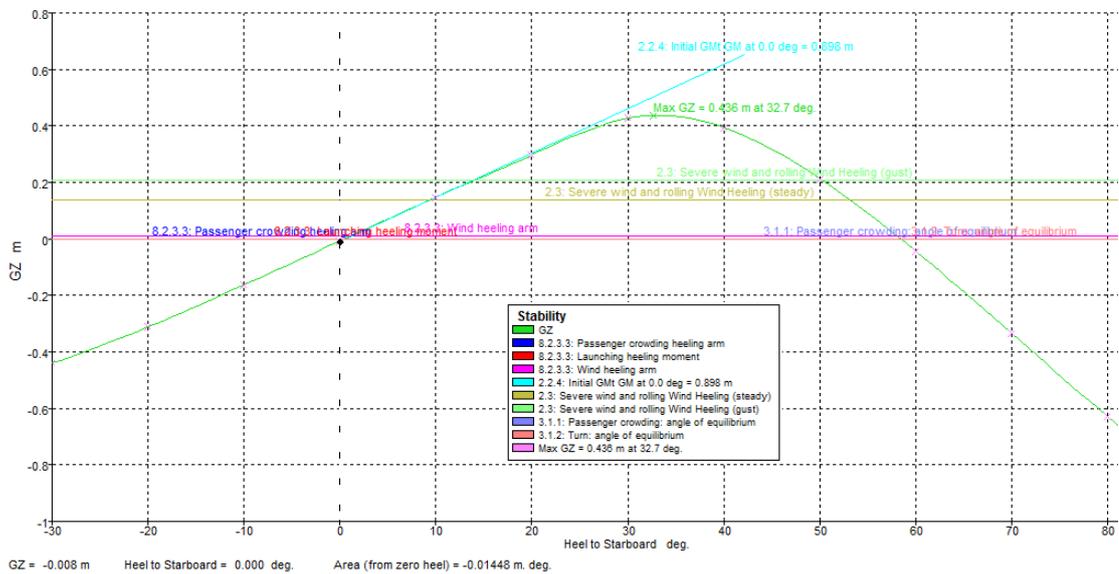


Figura No. 36. Curva de estabilidad a grandes ángulos – Condición III.

Fuente: Hydromax – Versión de prueba.

El ángulo θ_0 , se determina al “tantear”, en la ecuación de la curva Ángulo de escora vs. GZ, hasta que dé el brazo adrizante deseado, por lo que se utiliza la gráfica siguiente, determinando así que $\theta_0 = 8.47^\circ$.

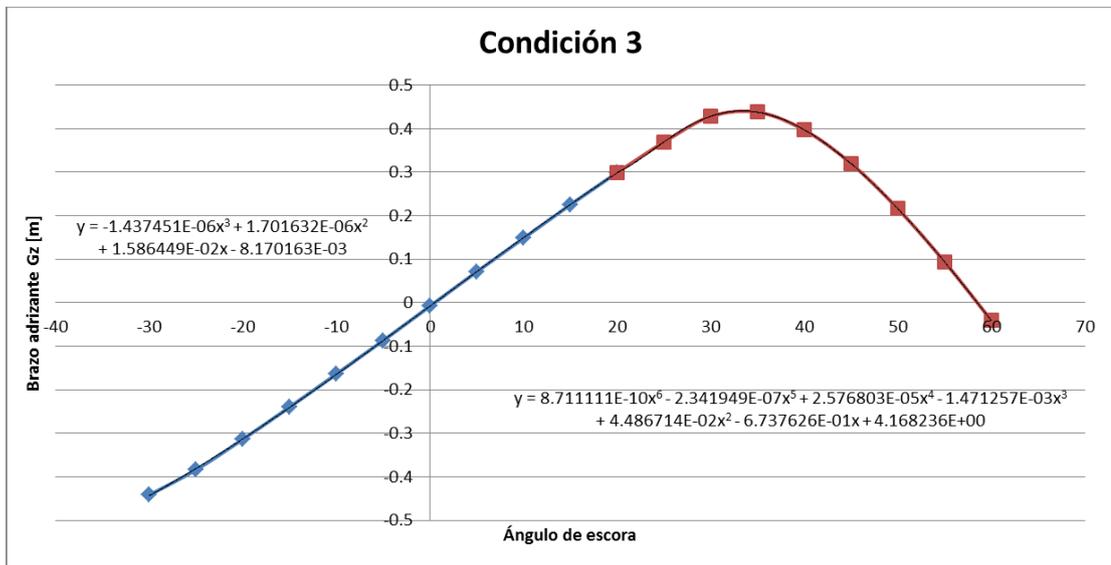


Figura No. 37. Ángulo de escora vs. Brazo adrizante GZ – Condición III.

Fuente: Autor.

Se analiza también el criterio de aglomeración de personas en una banda, siendo para esta condición, los siguientes resultados:

	Code	Criteria	Value	Units	Actu	Status	Margin %
103	3.1 Passenger Ships	3.1.1: Passenger crowding: angle of equilibrium				Pass	
104		<i>Pass. crowding arm = nPass M / disp. D cos^n(phi)</i>					
105		number of passengers: nPass =	12				
106		passenger mass: M =	2.040	tonne			
107		distance from centre line: D =	4.000	m			
108		cosine power: n =	0				
109		shall not be greater than (<=)	10.0	deg	8.1	Pass	+18.58
110		<i>Intermediate values</i>					
111		Heel arm amplitude		m	0.12		

Figura No. 38. Criterio de aglomeración de personas – Condición III.

Fuente: Hydromax – Versión de prueba.

Condición IV:

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: IMO roll back angle	17.4	deg			
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0.040	m	0.425	Pass	+962.50
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0.040	m	0.425	Pass	+962.50
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0.040	m	0.416	Pass	+940.00
SOLAS, II-1/8	8.2.4 a Maximum GZ (intermediate stages)	0.050	m	0.425	Pass	+750.00
SOLAS, II-1/8	8.2.4 b Range of positive stability (intermediate stages)	7.0	deg	57.4	Pass	+720.40
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquiAngle ratio)	100.00	%	1.99	Pass	+98.01
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	6.4509	Pass	+104.71
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	10.5965	Pass	+105.49
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	4.1456	Pass	+141.18
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.200	m	0.425	Pass	+112.50
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ	25.0	deg	33.6	Pass	+34.54
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMT	0.150	m	0.883	Pass	+488.67
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16.0	deg	9.8	Pass	+38.73
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80.00	%	35.78	Pass	+55.28
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100.00	%	123.88	Pass	+23.88
3.1 Passenger Ships	3.1.1: Passenger crowding: angle of equilibrium	10.0	deg	0.5	Pass	+94.72
3.1 Passenger Ships	3.1.2: Turn: angle of equilibrium	10.0	deg	0.5	Pass	+94.72

Figura No. 39. Criterios de estabilidad – Condición IV.

Fuente: Hydromax – Versión de prueba.

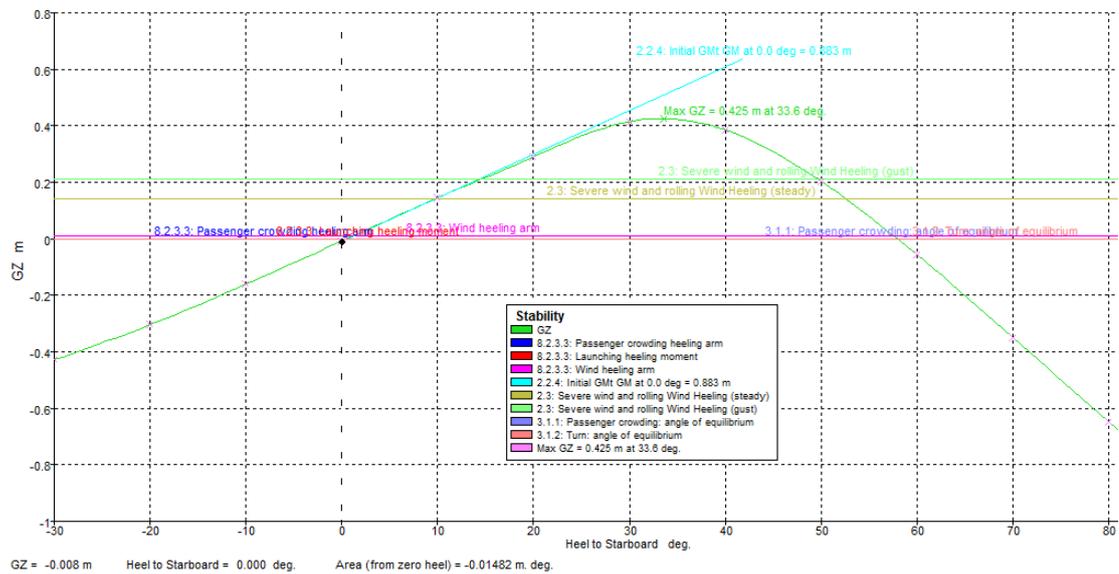


Figura No. 40. Curva de estabilidad a grandes ángulos – Condición IV.

Fuente: Hydromax – Versión de prueba.

Resumen de resultados.

En la Tabla 85 se presenta un resumen de los resultados de las tres condiciones estudiadas.

	CONDICIÓN I	CONDICIÓN II	CONDICIÓN III
DATOS			
Presión viento [Pa]	504	504	504
Área Proyectada [m ²]	309.35	312.8	312.9
Centroide vertical OM- UP1-UP2	6.254	6.215	6.214
Centroid underwater lateral area or approximately to a point at one half the mean draught	1.472	1.434	1.433
Z, [m]	4.782	4.781	4.781
Gravedad [m/s ²]	9.81	9.81	9.81
Desplazamiento [ton]	641.3	614.4	612.9
Manga, B [m]	9.53	9.53	9.53
Calado, D [m]	2.75	2.679	2.677
Cb	0.502	0.496	0.496
KG-Ma*T193^surf	3.938	3.975	3.905
B/D	3.5	3.6	3.6
K	0.8	0.8	0.8
OG[Bajo wl]	1.188	1.296	1.228
RESULTADOS			
l_{w1} [m]	0.119	0.125	0.125
l_{w2} [m]	0.178	0.188	0.188
τ	0.99	1.02	1.01
C	0.432	0.434	0.434
T [seg]	9	9.1	8.7
θ_1 [grados]	17.57	17.36	17.48
θ_c [grados] - Hydromax	49.9	50.3	51.8
θ_c [grados] - Teórico	49.34	48.79	51.22
θ_2 [grados]	36.05	38.27	35.4
θ_f [grados]	46.94	47.51	47.52

Tabla 85. Brazos escorantes, ángulo de balance

Cumpliendo con lo requerido:

El ángulo de escora provocado por un viento constante (θ_0), no deberá exceder a 16° o al 80% del ángulo de inmersión del borde de cubierta.

Se muestra a continuación una tabla en la que se compara lo obtenido con el programa y lo teórico para el ángulo de escora.

CONDICIÓN I				TEÓRICO	ERROR
2.3: IMO roll back angle from equilibrium (with steady heel arm)	16.7 (-8.6)	deg	-8.6	-8.71	1%
CONDICIÓN II					
2.3: IMO roll back angle from equilibrium (with steady heel arm)	16.7 (-9.0)	deg	-9	-9.18	2%
CONDICIÓN III					
2.3: IMO roll back angle from equilibrium (with steady heel arm)	16.7 (-8.8)	deg	-8.8	-8.47	4%

Tabla 86. Comparación de ángulo de escora – tres condiciones.

ANEXO D

Presiones de Diseño

Las ecuaciones para calcular las presiones de diseño, en cada sección de acuerdo con las normas de registro de Lloyd se muestran en la siguiente tabla.

SECCIÓN	PRESIONES DE DISEÑO [kN/m ²]
FONDO	$P_{BS} = P_{SS}$
COSTADO	$P_{SS} = P_h + w_p P_w$
CUBIERTA	$P_{WD} = P_h + w_p P_{wd}$

Tabla 87. Ecuaciones de las presiones de diseño.

Donde:

P_h presión actuando en el forro exterior, [kN/m²], $P_h = 10 (T_x - (z - z_k))$

T_x calado a la línea de flotación de diseño en posición longitudinal, [m]

z Distancia vertical desde la línea de base a la posición o centro o gravedad del ítem considerado, [m]

z_k Distancia vertical de la parte inferior de la quilla por encima de la línea base, [m]

P_w Distribución de la presión hidrodinámica de ola alrededor del casco hasta la línea de flotación de diseño, se considerará como mayor de:

P_m kN/m² (relative motion).

P_p kN/m² (pitching motion).

P_{wd} Presión actuando en la cubierta, [kN/m²]

El diseño fue desarrollado utilizando el software Special Service Craft (SSC). Las presiones de diseño especificadas en cada compartimiento de la sección (fondo, doble fondo, costado y cubierta), son obtenidas con el software SCC.

Frecuencia Natural

Se calculará la frecuencia natural de una plancha, según las Reglas de Lloyd's Register, utilizando la siguiente ecuación:

$$f_n = 5.544 \frac{t}{a * b} \sqrt{\left(\frac{a}{b}\right)^2 + \left(\frac{b}{a}\right)^2 + 0.6045}$$

donde:

f_n Frecuencia natural de la plancha, [Hz]

t Espesor de la plancha, [mm]

a Longitud de la plancha, [m]

b Ancho de la plancha, [m]

Para determinar la frecuencia natural de refuerzos asociados con el panel, se utilizará la siguiente ecuación:

$$f_n = \frac{K_i}{2\pi L_b} \sqrt{\frac{EI}{m \left(1 + \frac{\pi^2 EI}{L_b GA}\right)}}$$

donde:

f_n Frecuencia natural de refuerzos asociados con el panel, [Hz]

EI Rigidez a la flexión en el refuerzo combinado con el panel, [N.m²]

- GA Rigidez de corte del refuerzo asociado con el panel, [N]
- L_b Longitud no soportada del refuerzo, [m]
- m Masa por unidad de longitud del refuerzo asociada con el panel, [kg/m]
- K_i Coeficiente que depende del modo de vibración

Mode	1	2	3	4	5
K_i	22.40	61.70	121.0	200.0	299.0

Tabla 88. Coeficiente K_i para los cinco primeros modos de vibración.

Se considera el efecto de masa añadida con respecto a la frecuencia natural, porque al tiempo que aumenta la masa del sistema, baja la frecuencia natural. La norma recomienda el uso de la ecuación:

$$f_w = \psi * f_n, \quad [Hz]$$

$$\psi = \sqrt{\frac{K_p}{K_p + \frac{\rho_l}{\rho_p}}}$$

$$K_p = \frac{\pi t_p}{1000ab} \sqrt{a^2 + b^2}$$

donde:

- ψ Este valor se utiliza para áreas en contacto con el agua, por ejemplo, el fondo y el costado del barco
- ρ_l Densidad del líquido, [kg/m³]
- ρ_p Densidad de la plancha, [kg/m³]

ANEXO E

Parámetros de prototipos de series VTT

RANGO DE APLICACIÓN:							4,47 - 8,3	3,33 - 8,21	1,72 - 10,21	0,567 - 0,888
PROTOTIPO	L [m]	Lwl [m]	B [m]	Bwl [m]	T [m]	Volumen [m ³]	Cvol	Lwl/B	Bwl/T	Cm
P1	51.31	50.114	8.82	8.071	2.87	528.78	5,891	5.68	2.81	0.679
P2	52.42	51.173	8.82	8.059	2.835	528.78	6,015	5.80	2.84	0.676
P3	53.53	52.233	8.82	8.046	2.801	528.78	6,140	5.92	2.87	0.673
P4	51.31	50.082	9.07	8.283	2.824	528.78	5,886	5.52	2.93	0.675
P5	52.42	51.142	9.07	8.269	2.79	528.78	6,012	5.64	2.96	0.672
P6	53.53	52.201	9.07	8.256	2.757	528.78	6,135	5.76	2.99	0.669
P7	51.31	50.052	9.32	8.493	2.781	528.78	5,883	5.37	3.05	0.671
P8	52.42	51.112	9.32	8.479	2.747	528.78	6,007	5.48	3.09	0.668
P9	53.53	52.171	9.32	8.466	2.725	528.78	6,131	5.60	3.11	0.665
P10	51.31	50.177	8.82	8.1	2.805	528.78	5,887	5.69	2.89	0.688
P11	52.42	51.237	8.82	8.088	2.77	528.78	6,012	5.81	2.92	0.684
P12	53.53	52.297	8.82	8.077	2.737	528.78	6,136	5.93	2.95	0.681
P13	51.31	50.145	9.07	8.314	2.76	528.78	5,883	5.53	3.01	0.683
P14	52.42	51.204	9.07	8.302	2.726	528.78	6,007	5.65	3.05	0.68
P15	53.53	52.264	9.07	8.291	2.693	528.78	6,131	5.76	3.08	0.677

Tabla 89. Parámetros de prototipos – Parte I.

RANGO DE APLICACIÓN:							4,47 - 8,3	3,33 - 8,21	1,72 - 10,21	0,567 - 0,888
PROTOTIPO	L [m]	Lwl [m]	B [m]	Bwl [m]	T [m]	Volumen [m ³]	Cvol	Lwl/B	Bwl/T	Cm
P16	51.31	50.113	9.32	8.528	2.717	528.78	5,879	5.38	3.14	0.679
P17	52.42	51.173	9.32	8.515	2.683	528.78	6,003	5.49	3.17	0.676
P18	53.53	52.232	9.32	8.501	2.651	528.78	6,127	5.60	3.21	0.673
P19	51.31	50.145	8.82	8.085	2.838	528.78	5,884	5.69	2.85	0.683
P20	52.42	51.204	8.82	8.074	2.803	528.78	6,007	5.81	2.88	0.68
P21	53.53	52.262	8.82	8.063	2.769	528.78	6,131	5.93	2.91	0.677
P22	51.31	50.113	9.07	8.299	2.792	528.78	5,879	5.53	2.97	0.679
P23	52.42	51.172	9.07	8.287	2.758	528.78	6,003	5.64	3.00	0.676
P24	53.53	52.232	9.07	8.273	2.725	528.78	6,127	5.76	3.04	0.673
P25	51.31	50.082	9.32	8.511	2.749	528.78	5,875	5.37	3.10	0.675
P26	52.42	51.141	9.32	8.497	2.715	528.78	5,999	5.49	3.13	0.672
P27	53.53	52.201	9.32	8.483	2.683	528.78	6,123	5.60	3.16	0.669

Tabla 90. Parámetros de prototipos – Parte II.

Valores de KN de prototipos

	VALORES KN [grados]								
	0 Grados	5 Grados	10 Grados	15 Grados	20 Grados	25 Grados	30 Grados	35 Grados	40 Grados
P 1	0	0.397	0.793	1.186	1.574	1.953	2.303	2.589	2.815
P 2	0	0.399	0.796	1.189	1.577	1.954	2.306	2.595	2.824
P 3	0	0.4	0.798	1.192	1.581	1.956	2.308	2.601	2.833
P 4	0	0.413	0.823	1.229	1.629	2.015	2.37	2.657	2.883
P 5	0	0.414	0.826	1.233	1.633	2.016	2.372	2.664	2.893
P 6	0	0.416	0.829	1.237	1.636	2.018	2.374	2.67	2.902
P 7	0	0.429	0.854	1.274	1.686	2.077	2.437	2.727	2.952
P 8	0	0.431	0.858	1.279	1.69	2.079	2.44	2.734	2.962
P 9	0	0.433	0.861	1.283	1.694	2.081	2.443	2.74	2.972
P 10	0	0.397	0.793	1.187	1.577	1.957	2.282	2.538	2.739
P 11	0	0.399	0.796	1.19	1.58	1.959	2.288	2.547	2.75
P 12	0	0.4	0.799	1.194	1.583	1.961	2.293	2.556	2.761
P 13	0	0.413	0.824	1.231	1.633	2.02	2.349	2.606	2.806
P 14	0	0.415	0.827	1.235	1.637	2.023	2.356	2.616	2.818
P 15	0	0.417	0.83	1.239	1.641	2.025	2.361	2.625	2.83
P 16	0	0.429	0.856	1.278	1.691	2.085	2.418	2.676	2.875
P 17	0	0.432	0.86	1.282	1.696	2.088	2.425	2.686	2.888
P 18	0	0.434	0.864	1.287	1.7	2.09	2.431	2.696	2.9
P 19	0	0.397	0.793	1.186	1.575	1.955	2.295	2.565	2.779

Tabla 91. Valores de KN de los prototipos – Parte I.

	VALORES KN [grados]								
	0 Grados	5 Grados	10 Grados	15 Grados	20 Grados	25 Grados	30 Grados	35 Grados	40 Grados
P 20	0	0.399	0.796	1.19	1.579	1.957	2.299	2.573	2.789
P 21	0	0.4	0.798	1.193	1.582	1.958	2.303	2.58	2.799
P 22	0	0.413	0.823	1.23	1.631	2.017	2.362	2.634	2.846
P 23	0	0.415	0.826	1.234	1.634	2.019	2.366	2.642	2.857
P 24	0	0.416	0.83	1.238	1.638	2.021	2.37	2.65	2.868
P 25	0	0.429	0.855	1.276	1.688	2.081	2.43	2.703	2.915
P 26	0	0.431	0.859	1.28	1.693	2.083	2.435	2.712	2.927
P 27	0	0.433	0.862	1.285	1.697	2.085	2.439	2.72	2.938

Tabla 92. Valores de KN de los prototipos – Parte II.

ANEXO F

Resultados de Inercia de AutoCAD

----- REGIONES -----	
Área:	0.235
Perímetro:	68.348
Cuadro delimitador:	X: -4.759 -- 4.759
	Y: 0.155 -- 5.000
Centro de gravedad:	X: 0.002
	Y: 2.477
Momentos de inercia:	X: 2.109
	Y: 1.797
Producto de inercia:	XY: 0.002
Radios de giro:	X: 2.995
	Y: 2.764
Momentos principales y direcciones X-Y alrededor del centro de gravedad:	
	I: 0.667 a lo largo de [1.000 0.001]
	J: 1.797 a lo largo de [-0.001 1.000]

Figura No. 41. Análisis del casco sin superestructura.
Fuente: Autor – AutoCAD.

En la siguiente tabla se ha determinado la fuerza cortante a lo largo de la eslora.

Porcentaje de eslora [%]	ESLORA [m]	FACTORS		FUERZA CORTANTE [kN]	
		K1 - POSITIVO	K1 - NEGATIVO	POSITIVO	NEGATIVO
0	0	0	0	0	0
0.2	10	0.73	-0.92	796.8	-999.5
0.25	13	0.73	-0.92	796.8	-999.5
0.3	15	0.73	-0.92	796.8	-999.5
0.4	21	0.7	-0.7	760.5	-760.5
0.45	23	0.7	-0.7	760.5	-760.5
0.5	26	0.7	-0.7	760.5	-760.5
0.55	28	0.7	-0.7	760.5	-760.5
0.6	31	0.7	-0.7	760.5	-760.5
0.7	36	1	-0.80	1086.4	-866.0
0.75	38	1	-0.80	1086.4	-866.0
0.8	41	1	-0.80	1086.4	-866.0
0.85	44	1	-0.80	1086.4	-866.0
1	51	0	0	0	0

Tabla 93. Cálculo de Fuerza Cortante.

ANEXO G

Costo de Construcción y de Mano de Obra

Resultados obtenidos por Matlab:

```
Model tested
  10

Structure weight of prototype analized, [ton]
 250.97

Period of work, [months]
  12

Total cost of G-100, [$]
 1.7785e+06

Total cost of G-200, [$]
 1.2309e+06

Total structure Man-hour, [HH]
  76800

Net Cost of man-hour, [$/HH]
  15.66

Construction Cost per tonne, [$/tonne]
  7086.3

Construction Cost per kilogram, [$/kg]
  7.0863

Total cost of yacht of G-100 y G-200
 3.0094e+06
```

Figura No. 42. Resultado de Costo Total, Hombre-Hora y pesos.

Fuente: Matlab R2014b.

Costos de Grupos Tecnológicos

Se determina el costo de los sistemas del yate por el precio de materiales y precio de mano de obra, teniendo:

ITEM – OUTFITTING	PRECIO UNIT.	MANO DE OBRA	COSTO TOTAL
Sistema de agua dulce	\$ 9,405.64	\$ 3,762.26	\$ 13,167.90
Sistema contra incendios	\$ 7,126.90	\$ 2,850.76	\$ 9,977.66
Sistema de gobierno	\$ 193,172.98	\$ 77,269.19	\$ 270,442.17
Sistema de combustible	\$ 4,136.36	\$ 1,654.55	\$ 5,790.91
Sistema de aguas grises/negras	\$ 12,424.85	\$ 4,969.94	\$ 17,394.79
Sistema de achique	\$ 7,676.18	\$ 3,070.47	\$ 10,746.66
Tubos de venteos	\$ 11,581.43	\$ 4,632.57	\$ 16,214.00
TOTAL PRESUPUESTO			\$ 343,734.09

Tabla 94. Presupuesto de Outfitting.

La generación eléctrica de un yate es importante, por lo que el generador de apoyo será de la misma potencia en caso de que el primer generador se dañe.

ITEM – SISTEMA ELÉCTRICO	CTD.	VALOR	SUBTOTAL
Generador I	1	\$ 32,500.00	\$ 32,500.00
Generador	1	\$ 32,500.00	\$ 32,500.00
Suministro de luminarias	1	\$ 2,650.00	\$ 2,650.00
Suministro de cable eléctricos de uso naval	1	\$ 9,604.00	\$ 9,604.00
Tableros eléctricos de uso naval	1	\$ 18,546.90	\$ 18,546.90
Materiales Misceláneos	1	\$ 2,139.40	\$ 2,139.40
Varios	1	\$ 9,760.53	\$ 9,760.53
Banco de baterías con accesorios	4	\$ 600.00	\$ 2,400.00
Motor eléctrico	2	\$ 500.00	\$ 1,000.00
Mano de obra de instalación sistema eléctrico		---	\$ 11,152.58
TOTAL PRESUPUESTO			\$ 122,253.41

Tabla 95. Presupuesto de Sistema Eléctrico

ANEXO H

Depreciaciones y Amortizaciones

TABLA DEPRECIACIONES DE ACTIVOS						
		2017	2018	2019	2020	2021
1 Casco y superestructura (G100)	\$ 1,778,460.26	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01
2 Sistema de propulsión (G200)	\$ 1,230,898.98	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97
3 Sistemas del yate (Outfitting)	\$ 343,734.09	\$ 17,186.70	\$ 17,186.70	\$ 17,186.70	\$ 17,186.70	\$ 17,186.70
4 Sistema eléctrico - Generación eléctrica	\$ 122,253.41	\$ 6,112.67	\$ 6,112.67	\$ 6,112.67	\$ 6,112.67	\$ 6,112.67
5 Acomodación y habitabilidad	\$ 471,804.06	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16
6 Pintura, arreglos y protección catódica	\$ 81,305.02	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20
7 Equipos electrónicos y de navegación	\$ 48,797.28	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89
8 Equipos de seguridad y salvataje	\$ 72,385.78	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43
9 Sistema de amarre y fondeo	\$ 68,000.00	\$ 4,533.33	\$ 4,533.33	\$ 4,533.33	\$ 4,533.33	\$ 4,533.33
10 Equipos de lujo para pasajeros	\$ 160,000.00	\$ 10,666.67	\$ 10,666.67	\$ 10,666.67	\$ 10,666.67	\$ 10,666.67
TOTAL DEPRECIACION ANUAL						
TOTAL DEP ANUAL		\$ 165,783.04	\$ 165,783.04	\$ 165,783.04	\$ 165,783.04	\$ 165,783.04
DEPRECIACION ACUMULADA		\$ 165,783.04	\$ 331,566.07	\$ 497,349.11	\$ 663,132.14	\$ 828,915.18

Tabla 96. Tabla de depreciaciones de activos – Parte I.

	2022	2023	2024	2025	2026	2026	2027
1	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01
2	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97
3	\$ 17,186.70	\$ 17,186.70	\$ 17,186.70	\$ 17,186.70	\$ 17,186.70	\$ 17,186.70	\$ 17,186.70
4	\$ 6,112.67	\$ 6,112.67	\$ 6,112.67	\$ 6,112.67	\$ 6,112.67	\$ 6,112.67	\$ 6,112.67
5	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16
6	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20
7	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89
8	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43
9	\$ 4,533.33	\$ 4,533.33	\$ 4,533.33	\$ 4,533.33	\$ 4,533.33	\$ 4,533.33	\$ 4,533.33
10	\$ 10,666.67	\$ 10,666.67	\$ 10,666.67	\$ 10,666.67	\$ 10,666.67	\$ 10,666.67	\$ 10,666.67
T. D. A.	\$ 165,783.04						
D. A.	\$ 994,698.21	\$ 1,160,481.25	\$ 1,326,264.28	\$ 1,492,047.32	\$ 1,657,830.35	\$ 1,823,613.39	\$ 1,989,396.42
	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
1	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01
2	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97
3	\$ 17,186.70	\$ 17,186.70	\$ 17,186.70	\$ 17,186.70	\$ 17,186.70	\$ 17,186.70	\$ 17,186.70
4	\$ 6,112.67	\$ 6,112.67	\$ 6,112.67	\$ 6,112.67	\$ 6,112.67	\$ 6,112.67	\$ 6,112.67
5	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16
6	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20
7	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89
8	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43
9	\$ 4,533.33	\$ 4,533.33	\$ 4,533.33				
10	\$ 10,666.67	\$ 10,666.67	\$ 10,666.67				
T. D. A.	\$ 165,783.04	\$ 165,783.04	\$ 165,783.04	\$ 150,583.04	\$ 150,583.04	\$ 150,583.04	\$ 150,583.04
D. A.	\$ 2,155,179.46	\$ 2,320,962.50	\$ 2,486,745.53	\$ 2,637,328.57	\$ 2,787,911.60	\$ 2,938,494.64	\$ 3,089,077.67

Tabla 97. Tabla de depreciaciones de activos – Parte II.

	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041
1	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01
2	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97
3	\$ 17,186.70						
4	\$ 6,112.67						
5	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	\$ 18,872.16	
6	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	\$ 3,252.20	
7	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	\$ 1,951.89	
8	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	\$ 2,895.43	
T. D. A.	\$ 150,583.04	\$ 127,283.66	\$ 127,283.66	\$ 127,283.66	\$ 127,283.66	\$ 127,283.66	\$ 100,311.97
D. A.	\$ 3,239,660.71	\$ 3,366,944.37	\$ 3,494,228.03	\$ 3,621,511.69	\$ 3,748,795.35	\$ 3,876,079.01	\$ 3,976,390.98
	2042	2043	2044	2045	TOTAL		
1	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 59,282.01	\$ 1,778,460.26		
2	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 41,029.97	\$ 1,230,898.98		
3					\$ 343,734.09		
4					\$ 122,253.41		
5					\$ 471,804.06		
6					\$ 81,305.02		
7					\$ 48,797.28		
8					\$ 72,385.78		
9					\$ 68,000.00		
10					\$ 160,000.00		
T. D. A.					\$ 4,377,638.88		
T. D. A.	\$ 100,311.97	\$ 100,311.97	\$ 100,311.97	\$ 100,311.97			
D. A.	\$ 4,076,702.96	\$ 4,177,014.93	\$ 4,277,326.91	\$ 4,377,638.88			

Tabla 98. Tabla de depreciaciones de activos – Parte III.

ANEXO I

Estado de Resultado

ESTADO DE RESULTADO					
	2018	2019	2020	2021	2022
Ventas	\$ 3,723,249.69	\$ 3,833,698.86	\$ 4,284,933.93	\$ 4,415,706.69	\$ 4,724,139.65
(-) Costos Variables	\$ 983,113.63	\$ 1,012,607.03	\$ 1,042,985.25	\$ 1,074,274.80	\$ 1,106,503.05
(=) Utilidad Bruta	\$ 2,740,136.07	\$ 2,821,091.82	\$ 3,241,948.68	\$ 3,341,431.89	\$ 3,617,636.61
(-) Gastos Operacionales					
GASTOS ADMINISTRATIVOS					
Gastos de Servicios Básicos	\$ 25,200.00	\$ 25,694.68	\$ 26,199.06	\$ 26,713.35	\$ 27,237.73
Sueldos y Salarios	\$ 1,058,870.23	\$ 1,059,929.10	\$ 1,060,989.03	\$ 1,062,050.02	\$ 1,063,112.07
Permiso de funcionamiento	\$ 11,897.98	\$ 8,202.01	\$ 8,448.07	\$ 8,701.52	\$ 8,962.56
Depreciación	\$ 165,783.04	\$ 165,783.04	\$ 165,783.04	\$ 165,783.04	\$ 165,783.04
Total Gastos Administrativos	\$ 1,261,751.24	\$ 1,259,608.82	\$ 1,261,419.20	\$ 1,263,247.92	\$ 1,265,095.40
GASTOS DE VENTA					
Gastos de Publicidad	\$ 84,000.00	\$ 85,648.92	\$ 87,330.21	\$ 89,044.50	\$ 90,792.44
(=) Utilidad Operacional	\$ 1,394,384.82	\$ 1,475,834.08	\$ 1,893,199.27	\$ 1,989,139.47	\$ 2,261,748.76
(-) Gastos no Operacionales					
Gastos Financieros	\$ 229,034.58	\$ 215,232.24	\$ 199,705.58	\$ 182,239.18	\$ 162,590.70
(+) Ingresos No Operacionales					
(=) UTILIDAD A PAT E IMP RENTA	\$ 1,165,350.25	\$ 1,260,601.84	\$ 1,693,493.69	\$ 1,806,900.29	\$ 2,099,158.07
15% Participación a trabajadores (PAT)	\$ 174,802.54	\$ 189,090.28	\$ 254,024.05	\$ 271,035.04	\$ 314,873.71
(=) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO	\$ 990,547.71	\$ 1,071,511.56	\$ 1,439,469.64	\$ 1,535,865.25	\$ 1,784,284.36
22% Impuesto a la Renta	\$ 217,920.50	\$ 235,732.54	\$ 316,683.32	\$ 337,890.35	\$ 392,542.56
UTILIDAD NETA	\$ 772,627.21	\$ 835,779.02	\$ 1,122,786.32	\$ 1,197,974.89	\$ 1,391,741.80
Dividendos (accionistas)	\$ 169,977.99	\$ 183,871.38	\$ 247,012.99	\$ 263,554.48	\$ 306,183.20
UTILIDAD NETA RETENIDA	\$ 602,649.23	\$ 651,907.64	\$ 875,773.33	\$ 934,420.42	\$ 1,085,558.60

Tabla 99. Estado de Resultado del Proyecto – Parte I.

ESTADO DE RESULTADO					
	2023	2024	2025	2026	2027
Ventas	\$ 4,868,316.62	\$ 5,208,363.97	\$ 5,367,319.08	\$ 5,742,221.28	\$ 5,917,469.28
(-) Costos Variables	\$ 1,139,698.14	\$ 1,173,889.08	\$ 1,209,105.76	\$ 1,245,378.93	\$ 1,282,740.30
(=) Utilidad Bruta	\$ 3,728,618.49	\$ 4,034,474.89	\$ 4,158,213.32	\$ 4,496,842.35	\$ 4,634,728.99
(-) Gastos Operacionales					
GASTOS ADMINISTRATIVOS					
Gastos de Servicios Básicos	\$ 27,772.41	\$ 28,317.58	\$ 28,873.46	\$ 29,440.24	\$ 30,018.15
Sueldos y Salarios	\$ 1,064,175.18	\$ 1,065,239.35	\$ 1,066,304.59	\$ 1,067,370.90	\$ 1,068,438.27
Permiso de funcionamiento	\$ 9,231.44	\$ 9,508.38	\$ 9,793.63	\$ 10,087.44	\$ 10,390.07
Depreciación	\$ 165,783.04	\$ 165,783.04	\$ 165,783.04	\$ 165,783.04	\$ 165,783.04
Total Gastos Administrativos	\$ 1,266,962.06	\$ 1,268,848.35	\$ 1,270,754.72	\$ 1,272,681.62	\$ 1,274,629.52
GASTOS DE VENTA					
Gastos de Publicidad	\$ 92,574.70	\$ 94,391.94	\$ 96,244.85	\$ 98,134.14	\$ 100,060.51
(=) Utilidad Operacional	\$ 2,369,081.72	\$ 2,671,234.59	\$ 2,791,213.75	\$ 3,126,026.59	\$ 3,260,038.95
(-) Gastos no Operacionales					
Gastos Financieros	\$ 151,112.93	\$ 113,415.83	\$ 85,169.26	\$ 53,393.85	\$ 17,648.74
(+) Ingresos No Operacionales					
(=) UTILIDAD A PAT E IMP RENTA	\$ 2,217,968.80	\$ 2,557,818.76	\$ 2,706,044.49	\$ 3,072,632.74	\$ 3,242,390.21
15% Participación a trabajadores (PAT)	\$ 332,695.32	\$ 383,672.81	\$ 405,906.67	\$ 460,894.91	\$ 486,358.53
(=) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO	\$ 1,885,273.48	\$ 2,174,145.95	\$ 2,300,137.82	\$ 2,611,737.83	\$ 2,756,031.68
22% Impuesto a la Renta	\$ 414,760.16	\$ 478,312.11	\$ 506,030.32	\$ 574,582.32	\$ 606,326.97
UTILIDAD NETA	\$ 1,470,513.31	\$ 1,695,833.84	\$ 1,794,107.50	\$ 2,037,155.51	\$ 2,149,704.71
Dividendos (accionistas)	\$ 323,512.93	\$ 373,083.44	\$ 394,703.65	\$ 448,174.21	\$ 472,935.04
UTILIDAD NETA RETENIDA	\$ 1,147,000.38	\$ 1,322,750.40	\$ 1,399,403.85	\$ 1,588,981.30	\$ 1,676,769.67

Tabla 100. Estado de Resultado del Proyecto – Parte II.

ANEXO J

A continuación se presentan los planos del Yate Shanthal I optimizado:

- **Planos de Líneas de Formas del Yate Shanthal I**
- **Planos de Distribución del Yate Shanthal I**
- **Planos de Distribución Estructural del Yate Shanthal I**
- **Plano de Cuaderna típica del Yate Shanthal I**