



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“DISEÑO Y VALIDACIÓN ESTRUCTURAL DE UN BUQUE DE
DESEMBARCO PARA APOYO LOGÍSTICO”

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del título de

INGENIERO NAVAL

OSCAR WILFRIDO MACÍAS CHIRIGUAYA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Naval F. Johnny Domínguez R. que, con mucha paciencia, y dedicación, durante dos años ha compartido su tiempo y conocimientos con sus alumnos, y ha sido un pilar fundamental en mi formación y el desarrollo de este documento.

A mis profesores de la facultad de Ingeniería Marítima que impartieron sus valiosos conocimientos, y son parte de mi formación. A mis amigos y compañeros de clase y de jornada, por su tiempo y amistad.

DEDICATORIA

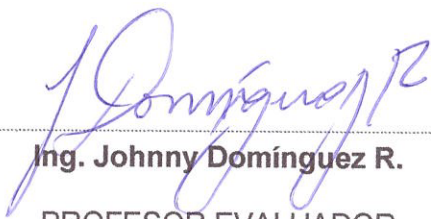
A Dios, Señor y dador de vida; fuerzas en mi debilidad, paz en la adversidad.

A mis padres Wilson y Felícita, y a mi abuelito Tomás, quienes han sacrificado en silencio sus vidas y tiempo para que llegue hasta esta gloriosa meta.

A mi hermana Mafer, alegría en este caminar.

A Emperatriz por su cariño y paciencia.

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



Handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J. Domínguez R.', positioned above a horizontal dotted line.

Ing. Johnny Domínguez R.

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"

.....
Oscar Wilfrido Macías Chiriguaya

RESUMEN

La aplicación de los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Naval, son puestos de manifiesto en el diseño y validación estructural de un buque desembarco, para prestar apoyo logístico a lo largo de la costa ecuatoriana; en este trabajo se desarrollan las diferentes etapas del diseño de un buque; pasando por el diseño conceptual, preliminar y contractual, donde se brinda el soporte técnico necesario para el diseño contractual; aquí se da relevancia a la validación estructural del diseño; en los ámbitos global, y parcial, revisando la respuesta de la resistencia longitudinal del casco; con las reglas de Sociedades de Clasificación; empleando softwares para cálculo estructural de la misma Sociedad de Clasificación; luego un análisis parcial; tomando dos bloques característicos del buque; el bloque de sala de máquinas, que incluye la superestructura; y el bloque de proa; el cual incluye las compuertas y rampas; como sistema de desembarco; empleando los softwares Solidworks , para el modelado de los bloques; y Ansys 15.0, con el módulo Workbench, para el análisis de las deformaciones y esfuerzos; y validando que los valores obtenidos; están dentro de los parámetros de las reglas de las Sociedades de Clasificación. Como parte adicional, se desarrolla el presupuesto para la construcción del diseño del buque.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	xii
INDICE DE TABLAS	xiv
INDICE DE GRAFICOS	xvii
INDICES DE ANEXOS	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
CAPITULO 1.....	4
1. DISEÑO CONCEPTUAL Y PRELIMINAR DE UN BUQUE DE DESEMBARCO PARA SOPORTE LOGISTICO.....	4
1.1. Alcance del proyecto preliminar.....	4
1.2. Diseño conceptual	5
1.2.1. Requerimientos del armador	5
1.2.2. Dimensiones Principales	8
1.2.3. Base de Datos	8
1.2.4. Análisis del Prototipo	14
1.2.5. Análisis Dimensional.....	16
1.2.6. Coeficientes Adimensionales	18
1.2.7. Estimación de Pesos	19

1.3.	Diseño Preliminar.....	28
1.3.1.	Rayado Estructural	28
1.3.2.	Disposición General	31
1.3.3.	Estabilidad.....	33
1.3.4.	Diseño Estructural	41
1.4.	Análisis de los Resultados.....	50
1.4.1.	Análisis del prototipo	50
1.4.2.	Análisis de coeficientes	51
1.4.3.	Distribución General.....	52
1.4.4.	Diseño Estructural	52
	CAPITULO 2.....	54
	2. DISEÑO CONTRACTUAL: OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO PRELIMINAR DEL BUQUE DE DESEMBARCO.....	54
2.1.	Alcance del diseño contractual	54
2.2.	Optimización de formas.....	55
2.2.1.	Formas Propuestas	56
2.2.2.	Matriz de Prototipos	57
2.2.3.	Función Objetivo.....	59
2.2.4.	Variables de Diseño.....	59
2.2.5.	Restricciones	59
2.3.	Desarrollo de algoritmos	62
2.3.1.	Estabilidad.....	62
2.3.2.	Resistencia	63
2.3.3.	Maniobrabilidad	64
2.4.	Optimización Estructural.....	66

2.4.1. Función Objetivo.....	67
2.4.2. Variables del diseño	68
2.4.3. Restricciones	68
2.4.4. Proceso de Optimización	71
2.4.5. Factor de Corrección del Algoritmo.....	72
2.5. Aplicación del Método de Optimización.....	73
2.5.1. Función Objetivo.....	73
2.5.2. Algoritmo Genético.....	76
2.5.3. Proceso de Optimización	76
2.5.4. Resultados de Optimización	77
2.6. Análisis y Comparación de Resultados	78
2.6.1. Líneas de forma	78
2.6.2. Estabilidad.....	80
2.6.3. Estructuras	81
CAPITULO 3.....	85
3. VALIDACIÓN ESTRUCTURAL DEL BUQUE USANDO EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.....	85
3.1. Alcance de la validación estructural	85
3.2. Validación del escantillonado global	86
3.2.1. Resistencia Longitudinal.....	87
3.2.2. Los momentos de flexión debido a las olas	88
3.2.3. Mínimos requerimientos para el esfuerzo longitudinal ..	89
3.2.4. Verificación del máximo momento flector permisible en el casco92	
3.3. Escantillonado Local	94

3.3.1. Bases de Máquinas.....	94
3.3.2. Superestructura	96
3.3.3. Compuertas de Proa.....	98
3.4. Planos de los bloques	99
3.5. Análisis por el Método de Elementos Finitos	99
3.5.1. Metodología.....	99
3.5.2. Bloque de sala de Máquinas	101
3.5.3. Bloque de Proa-Compuertas.....	108
CAPITULO 4.....	114
4. PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN DEL BUQUE DE DESEMBARCO	114
4.1. Alcance del capítulo	114
4.2. Construcción por bloques.....	115
4.2.1. División del buque por bloques.....	115
4.3. Estimación del HOMBRE/HORA	116
4.3.1. Hombre/Hora por trabajos en acero.....	116
4.4. Presupuesto de la construcción.....	117
4.4.1. Grupo 100: Casco	117
4.4.2. Grupo 200-Propulsión	118
4.4.3. Grupo 300-Sistema eléctrico.....	119
4.4.4. Grupo 400-Sistemas de navegación	120
4.4.5. Grupo 500-Amarre y Fondeo.....	121
4.4.6. Grupo 600-Equipamiento	122
4.4.7. Pintura	123
4.4.8. Ingeniería.....	123

4.5. Resumen de costos de construcción.....	124
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
BIBLIOGRAFÍA.....	127
ANEXOS	128

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Espiral de diseño. [3]	4
Figura 1.2.- Buque de Desembarco Prototipo	15
Figura 1.3.- Brazos Escorantes por Viento y Balances Severos [6].	37
Figura 1.4.- Dimensiones de vehículo militar [8].	46
Figura 1.5.- Dimensiones de Cargadora [9].	47
Figura 1.6.- Llanta empleada para vehículo liviano todo terreno [10]	47
Figura 1.7.- Espesor de plancha en la cubierta rodada [11].	48
Figura 1.8.- Escantillón de puntal en sección media [11].	49
Figura 1.9.- Dimensionamiento de doble para puntales [12]	50
Figura 1.10.- Elementos empleados en el cálculo del módulo seccional.	53
Figura 2.1.- Proceso de Optimización de Formas [13]	55
Figura 2.2.- Líneas de Formas Propuestas	56
Figura 2.3.- Curva de Áreas de Formas Propuestas	56
Figura 2.4.- Proceso de Optimización Estructural.	66
Figura 2.5.- División del casco por compartimentos	67
Figura 2.6.- Modelo 3D, compartimento 5 Optimizado.	72
Figura 2.7.- Proceso de Optimización.	77
Figura 2.8.- Formas: a) preliminar y b) final.	78
Figura 2.9.- Comparación de líneas de forma. a) Preliminares y b) Finales	79
Figura 3.1.- Modelado del bloque en Poseidon 16.0	86
Figura 3.2.- Sección Transversal; espesores y refuerzos en Poseidon.	87
Figura 3.3.- Validación de espesores y refuerzos en Poseidon.	87

Figura 3.4.- Sección considerada en el cálculo del módulo seccional.	91
Figura 3.5.- Convención de signos [16].	92
Figura 3.6.- Niveles de la superestructura.	96
Figura 3.7.- Modelo 3D del bloque de proa.	98
Figura 3. 8.- Modelado y mallado del bloque de Sala de Máquinas.	102
Figura 3. 9.- Cargas aplicadas al bloque de sala de máquinas.	103
Figura 3.10.- Deformaciones y Esfuerzos en el bloque de Sala de Máquinas.	104
Figura 3.11.- Modelado y enmallado del bloque de proa.	110
Figura 3.12.- Cargas aplicadas al bloque de proa.	111
Figura 3.13.- Deformaciones y Esfuerzos en Bloque de Proa.	112
Figura 4.1.- División en bloques para la construcción.	116
Figura A.1.- Áreas proyectadas para la condición de carga 5.	137
Figura A. 2.- Tablas para cálculo del criterio meteorológico.	138
Figura A.3.- Resultados de la ejecución del algoritmo de estabilidad.	144
Figura A.4.- Resultados de la ejecución del algoritmo de maniobrabilidad.	146
Figura A.5.- Resultados de la ejecución del algoritmo de resistencia.	147
Figura A.6.- Modelo 3D de Poseidon del compartimento 5. [18]	149
Figura A.7.- Espesores ingresados en Poseidon [18]	150
Figura A.8.- Espesores aprobados por Poseidon.	150
Figura A. 9.- Perfiles longitudinales en sección Media, en Poseidon.	151

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Requerimientos del Armador	7
Tabla 2.- Base de Datos	8
Tabla 3.- Base de Datos (Continuación)	9
Tabla 4.- Dimensiones principales estimadas	13
Tabla 5.- Características generales del prototipo	14
Tabla 6.- Parámetros Principales: Prototipo vs. Regresiones.....	15
Tabla 7.-Dimensiones Principales obtenidas del Análisis Dimensional	17
Tabla 8.- Comparación entre Dos Métodos de Dimensionamiento ..	17
Tabla 9.- Coeficiente de Formas del buque.....	18
Tabla 10.- Coeficientes Adimensionales.	18
Tabla 11.- Coeficientes ‘k’ para diferentes tipos de buques [4].	19
Tabla 12.- Estimación de los Pesos en Rosca	21
Tabla 13.- Tripulación Mínima, según el MTOP [5].	22
Tabla 14.- Resumen de Estimación de Peso Muerto.	24
Tabla 15.- Resumen de Pesos y Centroides del Grupo 100	26
Tabla 16.- Resumen de Pesos y Centroides del Grupo 200	27
Tabla 17.- Asiento en las Diferentes Condiciones de Carga.....	34
Tabla 18.- Criterios de Estabilidad.	36
Tabla 19.- Valores calculados para diferentes condiciones de carga	38
Tabla 20.- Propiedades del material a utilizar	45
Tabla 21.- Espesores de planchaje, requeridos y seleccionados	46
Tabla 22.- Dimensiones principales del prototipo	51
Tabla 23.- Coeficientes del prototipo.....	51
Tabla 24.- Resultados del cálculo del módulo seccional.....	53
Tabla 25.- Rango de las dimensiones.....	57
Tabla 26.- Matriz de Prototipos.....	58
Tabla 27.- Restricciones para las Dimensiones Principales	60

Tabla 28.- Valores de KN para cada uno de los prototipos.....	61
Tabla 29.- Separación Máxima de Refuerzos Primarios [14].	68
Tabla 30.- Frecuencia estructural mínima [15].....	70
Tabla 31.- Frecuencias Críticas por Zonas[15].	70
Tabla 32.- Costo de construcción G100, de cada prototipo.....	74
Tabla 33.- Resultados de la optimización y comparación.....	77
Tabla 34.- Estabilidad criterios por viento. Preliminar y final.....	81
Tabla 35.- Espaciamiento de elementos estructurales. Diseño Preliminar y Final.....	82
Tabla 36.- Escantillonado de Estructuras. Diseño Preliminar y Final.	83
Tabla 37.- Espesores de estructuras. Diseño preliminar y Final.....	84
Tabla 38.- Momentos flectores debido a las olas.	88
Tabla 39.- Mínimo módulo seccional requerido.....	90
Tabla 40.- Módulo de la sección media.....	91
Tabla 41.- Parámetros para el cálculo del esfuerzo longitudinal.	93
Tabla 42.-Esfuerzos calculados para la sección media del buque. .	93
Tabla 43.- Escantillonado de las bases de máquinas.	95
Tabla 44.- Resultado del escantillonado de la Superestructura.....	97
Tabla 45.- Reporte de Resultados de Ansys [17].....	104
Tabla 46.- Reporte de Ansys: frecuencias naturales del modelo [17].	105
Tabla 47.- Deformaciones del modelo vs deformaciones permisibles	107
Tabla 48.- Esfuerzos máximos: Modelo versus Regla.....	108
Tabla 49.- Esfuerzos máximos: Modelo versus Regla.....	112
Tabla 50.- Reacciones en Pines de compuertas	113
Tabla 51.- Cálculo de las Hombre Hora para el GRUPO 100.....	117
Tabla 52.- Costo de construcción, Grupo 100.....	117
Tabla 53.- Costos de la instalación propulsora.	118

Tabla 54.- Costo de Construcción: Grupo 200.....	118
Tabla 55.- Costos del sistema eléctrico.....	119
Tabla 56.- Costos de construcción: Grupo 300	119
Tabla 57.- Costos de sistemas de navegación y monitoreo.	120
Tabla 58.- Costos de Construcción: Grupo 400.....	120
Tabla 59.- Costos de sistemas de amarre y fondeo.....	121
Tabla 60.- Costos de Construcción: Grupo 500.....	121
Tabla 61.- Costos de elementos de equipamiento general.	122
Tabla 62.- Costo de Construcción: Grupo 600.....	122
Tabla 63.- Costos de aplicación de plan de pintura.....	123
Tabla 64.- Costos de ingeniería.....	124
Tabla 65.- Presupuesto general de construcción.	124
Tabla 66.- Desglose de Pesos y Centros de Gravedad.	133
Tabla 67.- Desglose de Tanques y Centros de Gravedad.	134
Tabla 68.- Resultados de los Cálculos de Estabilidad.	136
Tabla 69.- Asientos en diferentes condiciones de carga	141
Tabla 70.- Calados a las diferentes condiciones de carga.....	142
Tabla 71.- Parámetros del método de Holtrop	142
Tabla 72.- Comparación de Resultados de Estabilidad.....	145
Tabla 73.- Comparación de los resultados obtenidos.....	146

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1.1.- Perfil Operacional	6
Gráfico 1.2.- Eslora/Manga vs. Desplazamiento	10
Gráfico 1.3.- Eslora/Calado vs. Desplazamiento	11
Gráfico 1.4.- Desplazamiento ligero versus desplazamiento a full carga	13
Gráfico 1.5.- Longitud de Curva Inundable a diferentes permeabilidades.	30
Gráfico 1.6.- Estabilidad a Grandes Ángulos.	35
Gráfico 1.7.- GZ vs Ángulo de Escora, Condición 3	39
Gráfico 1.8.- GZ vs Ángulo de Escora, Condición 5.	39
Gráfico 1.9.- GZ vs Ángulo de Escora, Condición 6.	40
Gráfico 1.10.- GZ vs Ángulo de Escora, Condición 7	40
Gráfico 1.11.- Curva de pesos y Boyantes a lo largo de la eslora....	42
Gráfico 2.1.- Función Objetivo, para un valor fijo de calado.	75
Gráfico 2.2.- Función Objetivo, para un valor fijo de manga.	76
Gráfico 2.3.- Brazos adrizante vs Angulo de Rolido.....	80
Gráfico 3. 1.- Metodología para la validación estructural.	85
Gráfico 3. 2.- Momentos flectores máximos por olas, Sociedad DNV.	89
Gráfico 3.3.- Reporte de Ansys: frecuencias naturales del modelo [17].	105
Gráfico A.1.- Resistencia del casco, método de Holtrop.	143
Gráfico A.2.- GZ vs Ángulos. Comparación algoritmo y software .	145
Gráfico A.3.- Resultados de Resistencia. Algoritmo y Software.	148

INDICES DE ANEXOS

ANEXO A	129
ANEXO B	132
ANEXO C	135
ANEXO D	137
ANEXO E	140
ANEXO F	144
ANEXO G	149
ANEXO H	152

ABREVIATURAS Y SIGLAS

Abt	Área transversal del bulbo en intersección de línea de agua y proa.	m
Ad	Avance de la embarcación	m
At	Sección inmersa del espejo	m ²
As	Área expuesta al viento	m ²
B	Manga	m
BML	Distancia BM Longitudinal	m
BMT	Distancia BM Transversal	m
Cb	Coefficiente Block	
Cp	Coefficiente Prismático	
CP	Coefficiente de Carga	
D	Puntal	m
Fn	Número de Froude	
Fv	Froude Volumétrico	
GZ	Brazo Adrizante	m
HP	Horse Power	
Ki	Constante del modo de vibración	
KML	Distancia KM longitudinal	m
KMT	Distancia KM Transversal	M
L	Eslora	M
L/B	Relación Eslora-Manga	
L/T	Relación Eslora-Calado	
LCB	Posición Centro de Boyantes Long.	M
LCF	Posición centro de Flotación	M
Lpp	Eslora entre perpendiculares	M
Lwl	Eslora a la línea de agua	M
RPM	Revoluciones por minuto	
Sapp	Área de apéndices	M ²
Δ	Desplazamiento	Tons
V	Velocidad	Nudos

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Los hechos suscitados en los cuatro primeros meses del año 2016, en nuestro país, a causa de los fenómenos naturales de la corriente meteorológica de "El niño" y el terremoto suscitado en las costas de Manabí y Esmeraldas; han constituido una fuente constante de emergencias; que por los daños y necesidades que producen; la ubicación geográfica; y las dificultades en acceso, por vía terrestre o aérea que presentan; generan la necesidad de un medio de transporte marítimo con capacidad de llegar a zonas de difícil acceso para prestar el soporte logístico que estas emergencias generan. La Armada de la hermana república de Colombia actualmente cuenta con dos embarcaciones con estas características, buques de desembarco anfibio, uno de los cuales prestó sus servicios en atención a la emergente situación en las costas ecuatorianas luego del terremoto de 7.8 grados; haciendo uso de sus capacidades, transportó agua potable, hasta las playas de Manabí y Esmeralda, para satisfacer las necesidades de cientos de pobladores afectados por este desastre natural.

En el Ecuador, con estas premisas se vuelve una necesidad y una gran oportunidad incorporar una nave de características "anfibia", que permita asistir a las comunidades costeras del litoral ecuatoriano. En la actualidad la Armada del Ecuador se encuentra dando énfasis a la modernización de sus lanchas patrulleras, con las cuales se permita realizar un control, para preservar la seguridad en la zona económica exclusiva, aguas interiores, así como en todo el mar territorial de nuestro país.

Como respuesta a este proceso de modernización, se plantea el diseño de un buque de desembarco, con la capacidad de movilizar tropas y vehículos, además de prestar servicio logístico en ayuda humanitaria, desplazándose a lo largo de todo el perfil costanero del Ecuador, desde la frontera sur hasta la frontera norte; siendo autónoma en el embarco y desembarco de la carga.

Cabe mencionar también que alrededor del mundo, todas las armadas cuentan con buques de desembarco anfibia, para las labores que desempeñan con tropas y vehículos los cuales, para acceder a una costa, por un medio que no sea el terrestre.

La fase inicial en el diseño de buques comprende básicamente 3 etapas: conceptual; preliminar y contractual. Esta fase corresponde a la espiral de diseño; en el cual, dado los objetivos del diseño, se trabaja en pro de las mejores soluciones, que ajusten en equilibrio los parámetros bajo los cuales se ejecuta el diseño [1]. La etapa conceptual del diseño comprende la determinación de la viabilidad del proyecto, partiendo de datos muy básicos como el peso muerto, capacidad de carga, velocidad, y demás requerimientos que en conjunto son denominados los requerimientos del armador [2]. El diseño preliminar comprende principalmente la elaboración de la oferta económica del constructor; refina y analiza el acuerdo de concepto de diseño; plantea las disposiciones, esquema y objetivos a fin de optimizar el rendimiento del servicio al cual va a estar destinado. En esta etapa del diseño, debe establecerse la disposición de sistemas que deberán estar a satisfacción del armador [1]. En la etapa del diseño contractual se brinda el soporte técnico al contrato; incorpora actividades encaminadas a comprobar que se cumplan los requerimientos impuestos, tanto comerciales como de seguridad, incluyendo una definición más precisa de las características del buque; oferta económica del constructor [2].

Estos son los ejes principales que regirán el proyecto básico de diseño de un buque de desembarco para soporte logístico.

OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar el diseño y verificación estructural de un buque de desembarco, para apoyo logístico en la costa ecuatoriana.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Desarrollar el diseño conceptual, preliminar y contractual de un buque de desembarco para apoyo logístico.
- Verificación de la distribución estructural y escantillonado de las áreas de sala de máquinas, puertas y rampa de proa, empleando el método de elementos finitos.
- Presentar un análisis económico del diseño y construcción del buque de desembarco.

CAPITULO 1

1. DISEÑO CONCEPTUAL Y PRELIMINAR DE UN BUQUE DE DESEMBARCO PARA SOPORTE LOGISTICO.

1.1. Alcance del proyecto preliminar

El proyecto preliminar presenta el desarrollo de los cálculos iniciales, para el diseño del buque partiendo desde el proyecto conceptual; donde se establecen los requerimientos del armador; las necesidades básicas que debe cumplir el buque, y los cálculos regresionales, desarrollados partir de una base de datos, elaborada con la información de buques de similares características.

Esta etapa del diseño incluye la determinación de características del buque como: dimensiones principales, líneas de forma, distribución general. Para el diseño preliminar, partimos de los parámetros establecidos en el diseño conceptual; abarcando dentro de esta etapa del diseño las siguientes áreas: estabilidad del buque en condiciones específicas de carga; disposición general de las estructuras, y escantillonado global de los elementos estructurales; cálculos preliminares de equipamiento a bordo. La metodología a emplear está basada en la espiral de diseño; como hemos visto el proceso de diseño puede dividirse en fases, en función de la precisión y la definición del proyecto.

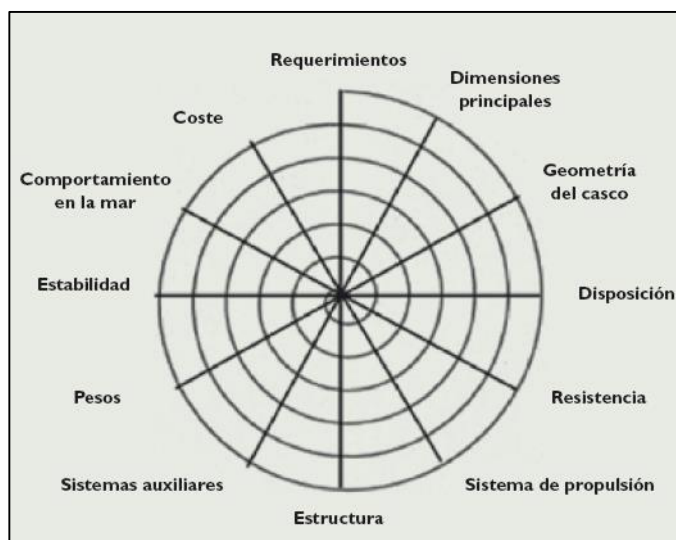


Figura 1.1.- Espiral de diseño. [3]

1.2. Diseño conceptual

El objetivo de esta fase, consiste en la determinación de la viabilidad del proyecto. Tal como se mencionó en la introducción, partimos de información base para el proyecto, en este caso: dimensiones principales, velocidad, perfil operacional, autonomía, profundidad de operación, capacidad de tanques de agua dulce, aguas residuales, espacios de carga y acomodación, capacidad de equipos de desembarco, condiciones meteorológicas y presupuesto referencial. Cada uno de estos parámetros los denominamos: “Requerimientos del armador”

1.2.1. Requerimientos del armador

Los requerimientos del armador, conforman cada una de las necesidades fundamentales que el proyecto del buque debe cumplir, determinados por las especificaciones de cada una de las misiones en las que el buque va a prestar su servicio. La descripción de cada uno de estos requerimientos se detalla a continuación.

Dimensiones Principales

Para la elección de las dimensiones principales, se emplea la información obtenida de buques de similares características; con ello se definen rangos, que establecen límites para la elección de las dimensiones del buque.

Velocidad

La velocidad es un requerimiento del armador, en el cual hay que tener especial cuidado, ya que va relacionado directamente con otros parámetros del diseño. Este requerimiento es especial en el caso de un buque de desembarco, esto debido a su versatilidad, presentada por la capacidad de embarque y desembarco de la playa, en el cual la velocidad juega un papel importante, para mantener al buque operando con normalidad. Se toman las velocidades de buques similares para establecer límites en la elección de este requerimiento.

Perfil Operacional

El perfil operacional es el porcentaje de tiempo, que el buque opera a una potencia específica, en una determinada condición. A seguir se presenta el requerimiento expresado en el gráfico 1.1.

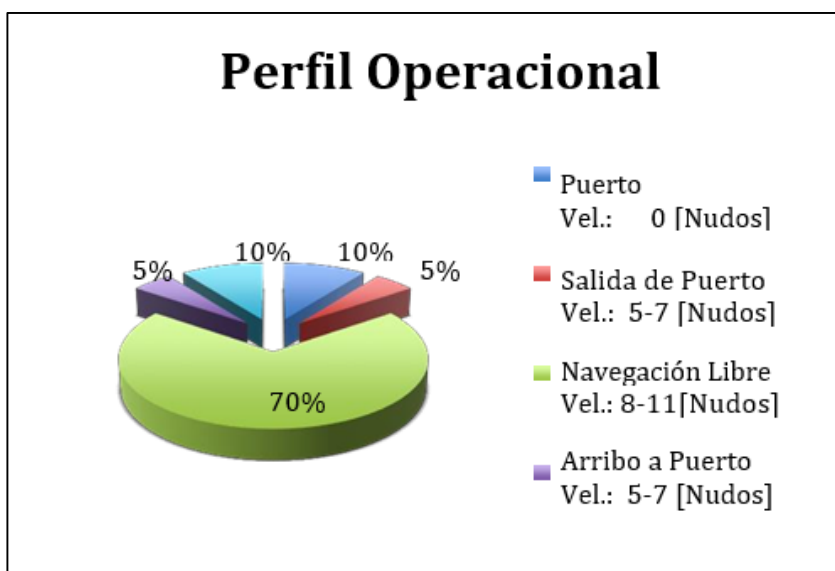


Gráfico 1.1.- Perfil Operacional

Autonomía

La capacidad de una embarcación de mantener una travesía sin medios externos como combustible o alimentos obedece a la autonomía de ésta. Al ser una embarcación multipropósito el tiempo de carga y descarga no se rige a los tiempos de los puertos o muelles que existen en el perfil costero del país, es por eso que se va a medir la autonomía en millas náuticas. La ruta establecida por el armador es el perfil costero del Ecuador.

Capacidad de equipos de desembarco

Este tipo de buques poseen rampas y puertas en proa para el desembarco de carga rodada, tropas, maquinaria pesada, a las costas a las cuales acceda. Las Sociedades de Clasificación establecen los lineamientos para el diseño de estos equipos.

Condiciones Meteorológicas

Las condiciones climáticas de la ruta son importantes en el desarrollo del diseño, ya que influyen en el rendimiento y estabilidad del buque. Se toma como referencia la información que proporciona el INOCAR, en la ruta costera del Ecuador, según la escala Beaufort y Douglas.

Otros requerimientos

Además de los parámetros ya mencionados, tenemos otros que también juegan un rol importante en el diseño conceptual del buque. Estos parámetros, son presentados en la tabla I, junto a los parámetros descritos previamente; mostrando los valores mínimos y máximos de los límites, que fueron establecidos con información de buques de similares características.

	Mínimo	Máximo	Unidades
Eslora	55	65	[m]
Manga	10	12	[m]
Velocidad	5	12	[nudos]
Autonomía	1400	1600	[mn]
Cap. Agua dulce	5000	8000	[Gal]
Cap. Aguas residuales	500	800	[Gal]
Espacios de carga	550	660	[m ²]
Equipos de desembarco	25	70	[Tons]
Vientos	1	22	[nudos]
Altura de ola	2.5	4	[m]
Estado de mar	4	5	
Presupuesto	7 Millones	13 Millones	[USD]

Tabla 1.- Requerimientos del Armador

1.2.2. Dimensiones Principales

La selección de las dimensiones principales se basa en la experiencia de diseños y construcciones previas, para ello se ha elaborado una base de datos, a partir de buques de desembarco diseñados, construidos y probados; con esta base se han elaborado regresiones, las cuales permitirán tener una idea básica de los valores de las dimensiones principales del buque.

1.2.3. Base de Datos

Se realizó una búsqueda de buques con características similares a las requeridas para este diseño; y se procedió a la depuración de datos, excluyendo de aquellos buques cuyas especificaciones generaran coeficientes de transporte poco eficientes, calculados a partir de la ecuación 1.1.

$$T_E = \frac{\Delta * V}{198 * SHP} \quad (1.1)$$

En la tabla II y III se muestra la base de datos, con los buques de los cuales se ha tomado la información de sus características para el análisis regresional

Nombre	Δ [tons]		Eslora [m]	Manga [m]	Calado [m]	L/B	L/T	Cb
	Full Carga	Ligero						
LSM-1	1095	539	62.03	10.52	2.2	5.9	28.2	0.74
LSM[R]-188	1194	770	62.03	10	2.2	6.2	28.2	0.85
LSM[R]-407	1194	770	62.03	10.52	2.2	5.9	28.2	0.81
LSM-329	1095	520	62.07	10.52	2.22	5.9	27.96	0.74
LST Mk-2	3942	1809	99.9	15	3.99	6.66	25.04	0.64
LST-902	4080	1625	99.9	15.24	4	6.56	24.98	0.65
LST-1152	4080	1625	99.97	15.24	4	6.56	24.99	0.65
LST-1169	5800	2590	117.04	16.76	4.77	6.98	24.54	0.6
LST-1170	5800	2590	120.1	16.76	5	7.17	24.02	0.56
LST-1178	7823	3560	135.63	19	5.8	7.14	23.38	0.51
LST-1176	7949	3617	136	19	5.8	7.16	23.45	0.52

Tabla 2.- Base de Datos

Nombre	Velocidad [nudos]	Autonomía [mn]	Potencia [HP]	No. Froude		Coef. Transporte
				Fn	Fv	
LSM-1	13.3	5000	2800	0.28	0.68	5.2
LSM[R]-188	13.2	5000	2800	0.28	0.67	5.63
LSM[R]-407	13	5000	2800	0.27	0.65	5.54
LSM-329	13.2	4900	2800	0.27	0.67	5.16
LST Mk-2	11.6	--	1700	0.19	0.48	26.9
LST-902	11.6	24000	1700	0.19	0.48	27.84
LST-1152	12	24000	1800	0.2	0.49	27.2
LST-1169	14	--	6000	0.21	0.54	13.53
LST-1170	14	--	6000	0.21	0.54	13.53
LST-1178	15	--	6000	0.21	0.55	19.56
LST-1176	15	--	6000	0.21	0.55	19.87

Tabla 3.- Base de Datos (Continuación)

Regresiones

El análisis de regresión es un proceso estadístico para estimar las relaciones entre variables; y es el método que se empleó para observar el comportamiento entre las diferentes variables que se ha obtenido de nuestra base de datos. En el análisis de regresión es importante mantener el valor de correlación (R^2), entre 0.9 y 1. Para el diseño, se ha tomado para el análisis un desplazamiento base de 1000 toneladas.

Para realizar este análisis de regresión lineal se ha empleado la ecuación 1.2, dada en la referencia [4]:

$$L = \sqrt[3]{\frac{DWT * (L/B)^2 * (B/T)}{\rho * C_b * C_{DW}}}, [m] \quad (1.2)$$

Donde:

$$C_{DW} = DWT / \Delta$$

- $\rho = 1.025 \text{ ton}/m^3$
- $C_b = 0.74$.

(debido a la dispersión de valores en la base de datos se tomó como referencia el coeficiente de un buque prototipo). Manipulando la ecuación 1.2, se obtuvo la expresión detallada en la ecuación 1.3, la cual se empleó para la determinación de los parámetros básicos:

$$L = \sqrt[3]{\frac{\Delta * (L/B) * (L/T)}{\rho * C_b}}, [m] \quad (1.3)$$

Se ha utilizado la hoja de cálculo de Minitab 17, se desarrolló el análisis estadístico de regresión; para los valores de la base de datos. Esta herramienta permite verificar en las curvas de regresión, que los valores de la correlación (R^2), se mantengan dentro de los parámetros deseados.

En los gráficos 1.2 y 1.3 se presentan los gráficos correspondientes al análisis regresional.

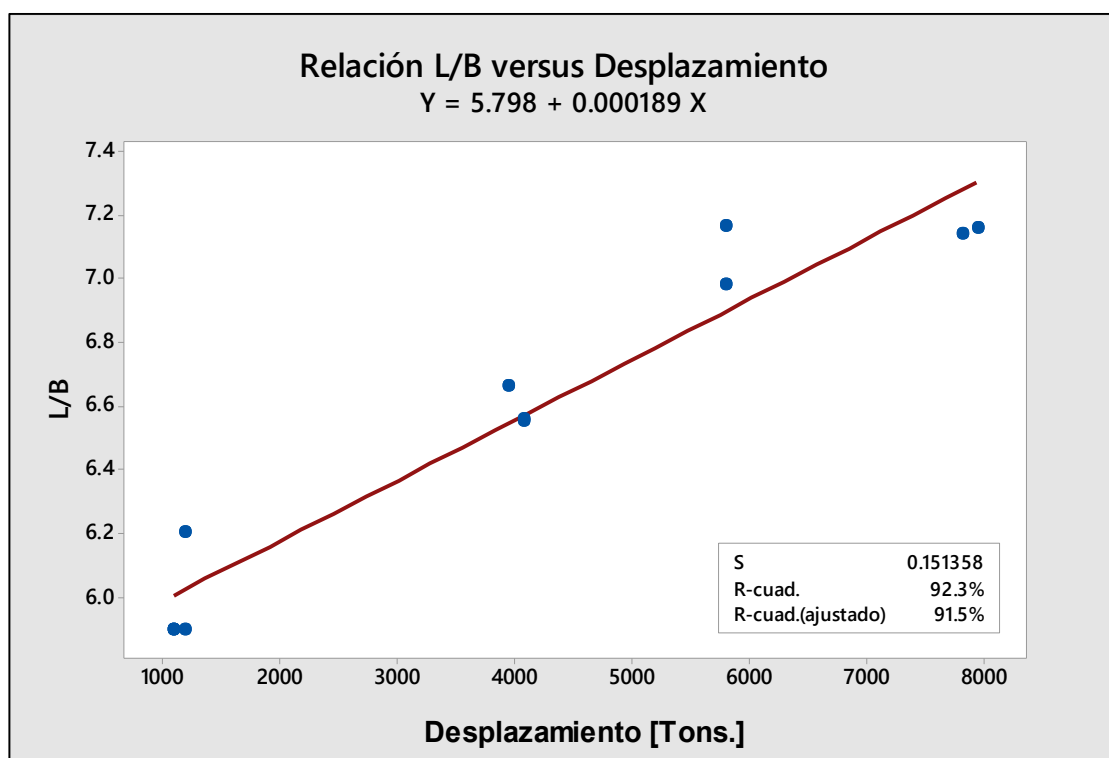


Gráfico 1.2.- Eslora/Manga vs. Desplazamiento

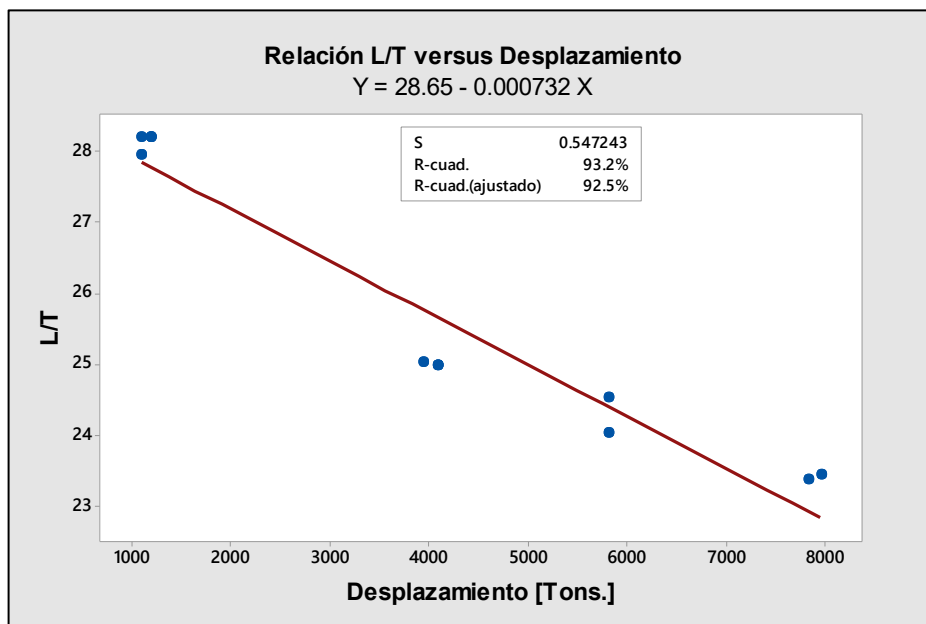


Gráfico 1.3.- Eslora/Calado vs. Desplazamiento

Debido a la falta de datos de puntal de la base de datos, no se calculará el puntal para el diseño mediante este método.

A continuación, se presentan las relaciones obtenidas en base a un desplazamiento de 1000 toneladas.

$$L/B = 5.9980$$

$$L/T = 27.9540$$

Eslora

Una vez obtenidas las dimensiones necesarias se procedió a reemplazarlas en la ecuación 1.3, para determinar el valor de la eslora.

Reemplazando se obtuvo:

$$L = \sqrt[3]{\frac{1000 * (5.9980) * (27.9540)}{1.025 * 0.74}} = 60.55 [m]$$

Recapitulando los requerimientos del armador se observa, que está dentro del rango de valores para la eslora.

Según la definición la eslora entre perpendiculares se puede estimar como el 96% de la eslora total. Según esto obtenemos una eslora entre perpendiculares de 58.12 metros m.

Manga

Una de las dimensiones principales es la manga, esta tendrá importante influencia en la resistencia del casco al avance y en la velocidad y potencia. De acuerdo a las regresiones hechas se procedió a reemplazar los valores y se obtuvo un valor para la manga de:

$$B = \frac{L}{5.998} = 10.09 [m]$$

Calado

Al igual que la manga, el calado tiene influencia especial en nuestro diseño. Se tiene especial interés al ser una embarcación de desembarco anfibio la cual “encalla” en las playas para realizar sus operaciones de carga y descarga.

$$T = \frac{L}{27.954} = 2.17 [m]$$

Desplazamiento ligero

Ya que uno de los datos que se pudo obtener de los diferentes barcos de la base de datos fue el desplazamiento ligero, se realiza una regresión lineal y se obtuvo el desplazamiento ligero para el diseño. Esto se mantiene solo como una referencia para el posterior desglose de pesos. A continuación, se presenta el gráfico 4 y la ecuación obtenida.

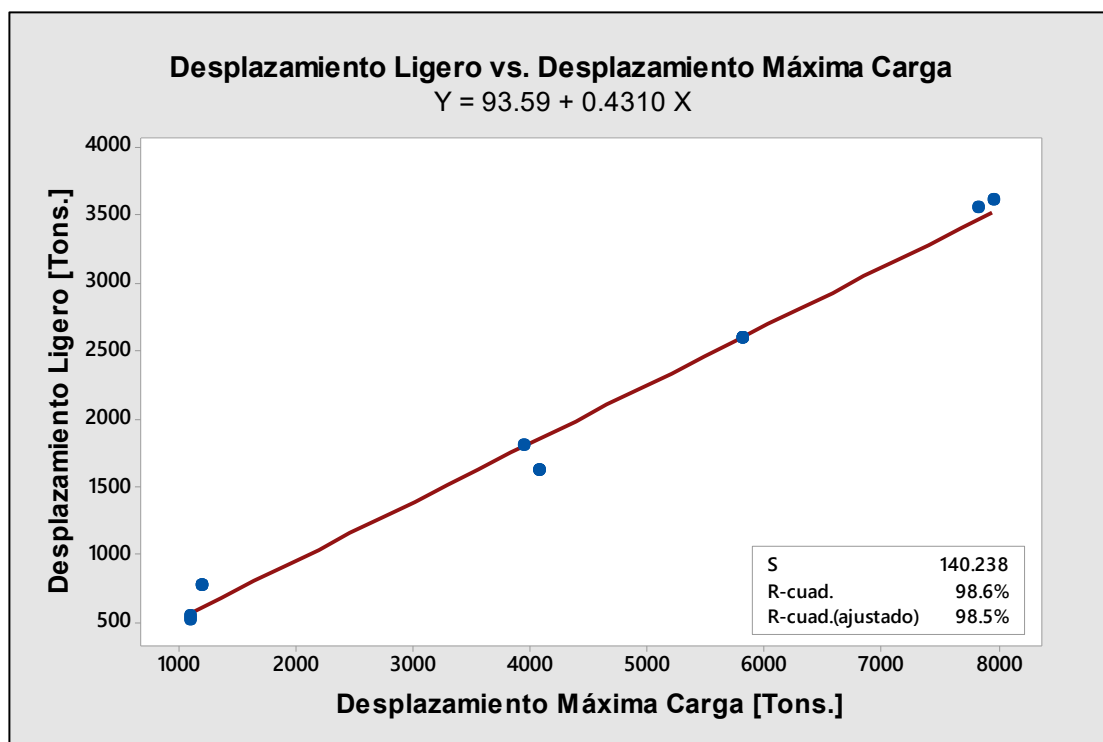


Gráfico 1.4.- Desplazamiento ligero versus desplazamiento a full carga

Utilizando un desplazamiento a full carga de 1000 toneladas, se obtuvo un desplazamiento ligero de 524.6 toneladas.

Resumen de dimensiones principales

Concluido el análisis estadístico, de regresiones, se obtuvo las principales características del diseño. En la tabla IV se resumen las dimensiones principales obtenidas.

Eslora [Loa]	60.55	[m]
Eslora [Lpp]	58.12	[m]
Manga	10.09	[m]
Calado	2.17	[m]
Δ ligero	524.600	[ton]
Cb calculado	0.74	-

Tabla 4.- Dimensiones principales estimadas

1.2.4. Análisis del Prototipo

Las formas de la embarcación pueden ser obtenidas de diferentes maneras. Una de ellas es mediante la derivación de las formas de algún buque modelo de similares características. Se tomó como modelo el Landing Ship Medium (LSM) 354; buque construido durante la segunda guerra mundial. Hay que recordar que para este periodo se construyeron buques en serie, es decir que existen buques de similares características al tomado como prototipo, de los cuales se extrae la información faltante del LSM 354, la información del prototipo es presentada en la tabla V.

Características Generales	
Clase y Tipo	LSM-1 clase desembarco Medio
Desplazamiento	520 ton (vacío) 1095 ton (full carga)
Eslora	62.03 [m]
Manga	10.52 [m]
Calado	Desembarco: 1.07[m] Proa 2.34[m] Popa 1.71[m] MS Máx. Carga: 1.93[m] Proa 2.51[m] Popa 2.22[m] MS
Propulsión	2x Fairbanks-Morse o GM Cleveland motors diésel, 1400 SHP a 720 rpm, de accionamiento directo, 2 hélices
Velocidad máx.	13 [nudos] (a 928 ton)
Autonomía	5000 millas náuticas a 7 nudos
Capacidad	5 x Tanques medianos o 3 x Tanques pesados (150 ton. de carga útil, en desembarco)
Tropas	54 soldados
Complemento	4 oficiales, 54 tripulantes

Tabla 5.- Características generales del prototipo

Características Principales

A continuación, se comparan las características principales del “Landing Ship Medium 354” con los valores obtenidos de las regresiones, esto para mostrar, que efectivamente el modelo seleccionado es el adecuado para el desarrollo del proyecto.

Parámetros	Prototipo	Regresión	Unidades	Variación [%]
Eslora [Loa]	60.55	62.03	[m]	2 %
Manga	10.09	10.52	[m]	4 %
Calado	2.17	2.22	[m]	2 %
Δ ligero	524.600	520	[ton]	1 %
Cb calculado	0.74	0.75	--	1 %
Velocidad	13.24	13	[nudos]	1%

Tabla 6.- Parámetros Principales: Prototipo vs. Regresiones.

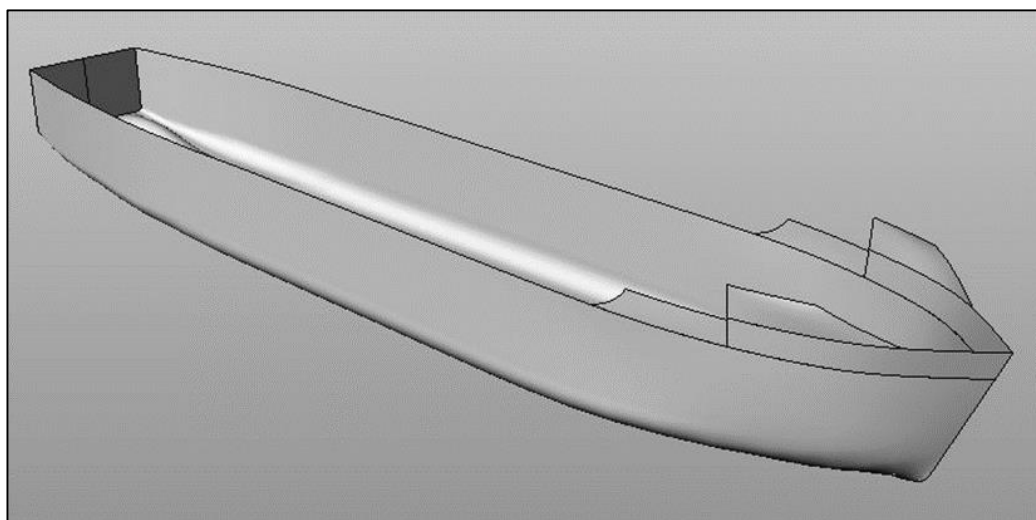


Figura 1.2.- Buque de Desembarco Prototipo

1.2.5. Análisis Dimensional

Para obtener los valores de las dimensiones principales, basados en el prototipo seleccionado, y para obtener las formas de un buque similar, se recurrió al análisis dimensional. Se empleó el desplazamiento que posee el prototipo, versus el desplazamiento que se obtuvo de la estimación de pesos, para determinar el volumen de desplazamiento de prototipo y modelo, y así obtener el factor de escala, de tercer orden

Se emplea la relación del λ^3 , expresada en la ecuación 1.4, la cual se obtiene de relacionar los volúmenes de desplazamiento del prototipo y el modelo, teniendo:

$$Vol_{prot} = 1068.29 [m^3]$$

$$Vol_{modelo} = 975.60 [m^3]$$

$$\lambda^3 = \frac{Vol_{prot}}{Vol_{mod}} \quad (1.4)$$

De donde se obtuvo que el λ^3 , es igual a 1.095, y el correspondiente λ igual a 1.0307. Con estos valores de relaciones adimensionales se procedió a determinar los valores de las dimensiones principales del buque, haciendo uso de las relaciones 1.5, 1.6, 1.7 y 1.8:

$$\frac{L_p}{L_m} = \lambda \quad (1.5)$$

$$\frac{B_p}{B_m} = \lambda \quad (1.6)$$

$$\frac{D_p}{D_m} = \lambda \quad (1.7)$$

$$\frac{T_p}{T_m} = \lambda \quad (1.8)$$

De acuerdo a estos valores, se procedió a calcular cada una de las dimensiones principales del modelo teniendo en cuenta las dimensiones del prototipo; en la

tabla VII, se presenta un cuadro comparativo de las dimensiones del prototipo y del modelo.

Prototipo			Modelo		
Eslora	62.07	[m]	Eslora	61.21	[m]
Manga	10.52	[m]	Manga	10.38	[m]
Puntal	7.33	[m]	Puntal	7.23	[m]
Calado	2.22	[m]	Calado	2.19	[m]
Desplazamiento	1095	[tons]	Desplazamiento	1050	[tons]
Cb	0.7355		Cb	0.7355	

Tabla 7.- Dimensiones Principales obtenidas del Análisis Dimensional

Para tener una idea más clara sobre de la fidelidad de estas dos metodologías de dimensionamiento. se presenta la comparación de los resultados en la tabla VIII.

	Análisis Dimensional		Regresiones	
Eslora	61.21	[m]	60.21	[m]
Manga	10.38	[m]	10.09	[m]
Puntal	3.45	[m]	3.49	[m]
Calado	2.19	[m]	2.26	[m]
Desplazamiento	1050	[tons]	1000	[tons]
Cb	0.74		0.74	

Tabla 8.- Comparación entre Dos Métodos de Dimensionamiento

1.2.6. Coeficientes Adimensionales

Empleando las fórmulas regresionales, y las dimensiones principales de nuestra embarcación, se ha determinado los coeficientes de formas que poseerá, los cuales se resumen en la tabla IX.

Coef. De Formas	
Cb	0.74
Cm	0.98
Cwl	0.82
Cp	0.75

Tabla 9.- Coeficiente de Formas del buque.

Un coeficiente de bloque de 0.74, representa de buena forma, la característica de ser un buque destinado a carga rodada. Los coeficientes adimensionales, nos permiten definir características de diseño de nuestra embarcación tales como el empleo de bulbo, el tipo de buque de desplazamiento o planeador.

Coef. Adimensionales	
Fn	0.252
Fv	0.621
Cp	5
C bulbo	0.13

Tabla 10.- Coeficientes Adimensionales.

El valor del coeficiente de bulbo, menor a 0.135, permite establecer que no emplearemos bulbo en nuestra embarcación. El desarrollo del cálculo y el detalle de las formulas empleadas para la determinación de los coeficientes adimensionales es presentado en el anexo A.

1.2.7. Estimación de Pesos

Estimación de Pesos en Rosca

Se procedió a calcular de forma aproximada el peso y el centro de gravedad de la embarcación. Esta estimación se divide en tres grupos, los cuales son:

- Peso del acero
- Peso de equipos y habitabilidad
- Peso de maquinaria

Peso del acero

El peso del acero se divide entre el peso del casco y el peso de la superestructura. Se ha estimado el peso del casco mediante la ecuación empírica 1.9, dada por d'Almeida, 2009.

$$W_H = k_1 * L_{pp}^{k_2} * B^{k_3} * D^{k_4} \quad (1.9)$$

Donde los coeficientes k son dados en la tabla XI, tomada de la referencia [4], para buques de carga general.

	k1	k2	k3	k4
Tanqueros	0.0361	1.600	1.000	0.220
Graneleros	0.0328	1.600	1.000	0.220
Portacontenedores	0.0293	1.760	0.712	0.374
Carga General	0.0313	1.675	0.850	0.280

Tabla 11.- Coeficientes 'k' para diferentes tipos de buques [4].

$$W_H = 0.0313 * 58.76^{1.675} * 10.38^{0.85} * 2.19^{0.28} = 367.79 [ton]$$

Cabe mencionar, que se trata de una aproximación, estos valores no son reales ya que no existen aproximaciones para una embarcación similar a la del proyecto, pero son una referencia, que permite proseguir con el diseño.

Pesos de equipos y habitabilidad

Debido al diseño preliminar de la embarcación aún no se cuenta con todos los pesos de esta, por esto procedemos a realizar una aproximación con ayuda de la ecuación 1.10:

$$W_{OA} = k_e * L_{pp} * B \quad (1.10)$$

Donde se define a k_e como: $k_e = 0.36 - 0.53 * 10^{-3} * L_{pp} = 0.0519$

$$W_{OA} = 0.0519 * 58.76 * 10.38 = 29.62 \text{ [ton]}$$

Peso de la maquinaria

El peso de la maquinaria depende del tipo de motor, en la investigación realizada en la base de datos, todas las embarcaciones poseían dos motores de 4 tiempos en V.

$$W_M = W_{me} + W_{rem} \quad (1.11)$$

Donde:

$$\begin{aligned} W_{me} &= N_{motores} * 12 * \left(\frac{\text{potencia}}{RPM} \right)^{0.84} = 2 * 12 * \left(\frac{1440}{720} \right)^{0.84} \\ &= 33.58 \text{ [ton]} \end{aligned}$$

$$W_{rem} = c_m * Pot.^{0.7} = 0.19 * 1440^{0.7} = 25.14 \text{ [ton]}$$

$$W_M = 33.58 + 25.14 = 58.72 \text{ [ton]}$$

Resumen de resultados peso en rosca

Se detallan los resultados de los cálculos del peso en rosca para el buque de desembarco:

Grupo	Peso	Unidades
Acero (casco-superestructura)	367.79	[ton]
Equipos y habitabilidad	29.62	[ton]
Maquinaria	58.72	[ton]
Peso en Rosca	456.13	[ton]

Tabla 12.- Estimación de los Pesos en Rosca

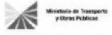
Estimación del peso muerto

El peso muerto comprende los pesos de tripulación, combustible, aceites, agua dulce, víveres, pertrechos y carga. A continuación, se presenta el desglose de estos pesos.

Pesos de tripulación

En primera instancia debemos calcular el número de tripulantes que necesitamos en nuestra embarcación. De acuerdo con el Ministerio de transporte y obras públicas, para un barco de carga general se estima una tripulación de 5 personas sobre cubierta y 6 personas en máquinas, lo cual daría un total de 11 tripulantes a bordo.

APENDICE I-B
B. DOTACION MINIMA DE SEGURIDAD PARA BUQUES DE CARGA GENERAL

 Ministerio de Transportes y Obras Públicas

1. PERSONAL DE CUBIERTA

T.R.B.	CAPITAN DE ALTURA	OFICIAL DE CUBIERTA			PATRON DE ALTURA	PATRON COSTANERO	CONTRA-MAESTRE	MARINERO DE PRIMERA DE PUENTE (Timonel)	MARINERO DE CUBIERTA	TOTAL
		PRIMER	SEGUNDO	TERCER						
50 -200						1		1	2	4
201 -500					1	1		1	2	5
501-1000				1	1	1		2	2	7
1001-1500			1	1	1	1		2	2	8
1501-3000		1	1	1	1		1	2	2	9
3001 en adelante	1	1	1	1			1	3	3	11

2. PERSONAL DE MAQUINAS

POTENCIA EN MAQUINAS BHP	JEFE DE MAQUINAS	OFICIAL DE MAQUINAS			*OFICIAL ELECTROTECNICO	MARINERO DE PRIMERA DE MAQUINAS		MARINERO DE MAQUINAS (Acóltero)	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	1	6
1001-3000		1	1	1	1	2	1	1	8
3001 en adelante	1	1	1	1	1	2	1	1	9

*Hasta que no se titulen suficientes oficiales electrotécnicos esta plaza podrá ser cubierta por un oficial electricista o electricista

Tabla 13.- Tripulación Mínima, según el MTOP [5].

Por lo tanto, el peso de la tripulación total, persona y artículos personales, más la tripulación de tropa, sería:

$$P_{crew} = \frac{125kg}{persona} * 115 tripulantes}{1000} = 14.38 [ton] \quad (1.12)$$

Pesos consumibles

Estos pesos son tomados en especial cuenta ya que durante la travesía decrecen. Los pesos a tomar en cuenta aquí son:

- Combustible motor- motor auxiliar
- Agua Dulce
- Aceites lubricantes
- Víveres

Peso de combustible

Motores principales

De acuerdo a las especificaciones del motor vamos a tomar como referencia el consumo de este. En cuanto a la autonomía tomaremos el mayor valor dado por el armador. Se empleó la ecuación 1.13, para el cálculo:

$$P_{hfo} = \frac{AUT}{V} * BHP * C_{hfo} * 10^{-6} \quad (1.13)$$

Donde:

AUT: será la autonomía en millas náuticas

V: la velocidad en nudos

BHP: la potencia propulsora

C_{hfo} = consumo específico de combustible

$$P_{hfo} = \frac{1600}{12} * (2 * 1440) * (2 * 77.4) * 10^{-6} = 59.44 \text{ [ton]}$$

Generadores

Para el motor auxiliar se usó el consumo específico de un motor auxiliar de la embarcación modelo, se empleó la ecuación 1.14:

$$P_{mdo} = BHP * C_{mdo} * 48 * 10^{-6} \quad (1.14)$$

Donde C_{mdo} es el consumo específico

$$P_{mdo} = 2 * 1440 * 77.4 * 48 * 10^{-6} = 10.70 \text{ [ton]}$$

Peso de aceite

El peso del aceite lubricante se puede estimar entre el 3 a 4% del combustible, pero igual emplearemos un método de aproximación (ecuación 1.15).

$$P_{aceite} = 0.04 * P_{hfo} = 2.38 \text{ [ton]} \quad (1.15)$$

Peso de agua dulce

Según estimaciones una persona promedio usa alrededor de 135 litros de agua al día. Con este dato se estimó el peso del agua dulce de la embarcación, y se usó la ecuación 1.16:

$$P_{agua\ dulce} = Consumo * \frac{AUT}{V * 24} * Crew * 10^{-3} \quad (1.16)$$

$$P_{agua\ dulce} = 135 * \frac{1600}{12 * 24} * 115 * 10^{-3} = 48.29 [ton]$$

Peso de víveres

Una persona consume una cantidad de 4 kilogramos de víveres al día, la ecuación 1.17, es una aproximación rápida del peso de los víveres.

$$P_{viveres} = 4^{kg/dia} * 11\ tripulantes * 6días = 0.26[ton] \quad (1.17)$$

Resumen de resultados peso muerto

En la tabla 14, se resume el resultado de los cálculos del peso muerto:

Grupo	Peso	Unidades
Tripulación	14.38	[ton]
Motor principal	59.44	[ton]
Generador	10.70	[ton]
Aceite	2.38	[ton]
Agua dulce	48.29	[ton]
Viveres	0.26	[ton]
Carga útil	511.46	[ton]
Peso muerto	646.91	[ton]

Tabla 14.- Resumen de Estimación de Peso Muerto.

Estimación de pesos por grupos Tecnológicos

Para realizar, esta estimación se empleó, pesos de los diferentes elementos que encontramos a bordo, tomando como referencia los implementos del buque prototipo, y las recomendaciones dadas, en la tesis de Hekkenberg, [5]; se detalla a continuación, la metodología empleada para determinar el grupo 100 y 200. Se adjuntan en el anexo B, la desagregación de pesos por grupos tecnológicos.

Grupo 100

Para determinar el peso y el centroide del grupo 100, se empleó la maqueta realizada en Rhinoceros, asumiendo un valor promedio para espesores de 7[mm], se estableció el peso de cada uno de los siguientes componentes:

- Casco
- Superestructura
- Rampa
- Puertas de proa.

Para el caso de casco y superestructura, se aumentó un 65% del peso por concepto de los refuerzos, de igual forma en la rampa y las puertas de proa, y con el análisis de centroides de Rhinoceros, determinar la posición de los centroides para cada uno de estos componentes.

La tabla XV, presenta los resultados obtenidos de la estimación de pesos del grupo tecnológico 100:

Peso del acero				
	Peso [ton]	Lcg. [m]	Tcg. [m]	Vcg. [m]
Casco	358.71	30.13	0	3.095
Superestructura	39.46	29.891	0	9.905
Rampa(arriba)	1.142	56.693	0	6.074
Rampa (abajo)	1.14	58.559	0	1.779
Puerta de Proa (P)	0.29	58.311	-2.266	4.477
Puerta de Popa (S)	0.29	57.915	1.113	4.625
Castillo (P)	0.19	53.485	-2.814	7.491
Castillo (S)	0.19	53.485	2.814	7.491
GRUPO 100	400.27	[tons]		

Tabla 15.- Resumen de Pesos y Centroides del Grupo 100

Grupo 200

Para determinar los pesos y centroides del grupo 200, correspondientes a propulsión, se empleó la estimación de potencia realizada previamente para establecer un modelo tentativo de motor, del cual obtendremos los valores de consumos de combustible, para determinar los pesos de motores, líneas de ejes, reductores, entre otros, para ello se emplearon las recomendaciones dadas en la tesis de Hekkenberg [5], para cada uno de estos elementos; a continuación, se detallan estos pesos en la tabla XVI:

Gobierno y Propulsión					
	Cant.	Peso[ton]	Lcg [m]	Tcg [m]	Vcg [m]
Motores	2	10.12	21.46	-1.568	1.474
Reductores	2	3.88	20.082	-1.589	1.01
Ejes	2	4.01	14.143	-1.657	0.82
Hélices	2	0.7	2.54	-1.657	0.82
Timones	2	3.05	1.88	-1.657	0.945
Gobierno	2	0.5	1.805	-1.657	1.826
Grupo 200		33.64			

Tabla 16.- Resumen de Pesos y Centroides del Grupo 200

1.3. Diseño Preliminar

El diseño preliminar refina y analiza el acuerdo del concepto de diseño, llena las disposiciones, estructura y objetivos a fin de optimizar el rendimiento del servicio. En esta etapa, el constructor debe tener información suficiente para licitar [1].

1.3.1. Rayado Estructural

Empleando los valores de separaciones entre refuerzos, ubicamos igualmente espaciados, entre mamparos, los refuerzos y bulárcamas.

Separación entre refuerzos

Para determinar la separación entre refuerzos de nuestro buque, se empleó la fórmula establecida por Lloyd's Register, ecuación 1.18, para buques de carga general, incluida en las reglas para clasificación de buques, parte 4, capítulo 1, sección 4:

$$s = 470 + \frac{L}{0.6} [mm] \quad (1.18)$$

s = Espaciamiento entre refuerzos.

L = Eslora de la regla.

Ya que este es un buque para servicio militar de desembarco en playas, la regla no establece, una consideración, para el espaciamiento entre refuerzos y el escantillón de los mismos, en las zonas de impacto; esta consideración la encontramos en las reglas de clasificación de buques militares de la Lloyd's Register, Volumen 1, parte 4, capítulo 2, sección 8, párrafos 2, y 3. A partir de esta premisa, se ha establecido a partir del mamparo número 3, una separación entre refuerzos de 500 mm, ya que el valor que se estableció previamente fue de 570 mm.

Con estos valores podremos realizar el rayado estructural para el diseño.

Fondo

Para el fondo se mantiene una relación de aspecto 3:1, tomando:

Transversalmente. - Desde el mamparo 3 hasta el mamparo 10, medias cuadernas, separadas 570 mm., ubicando cada 3 claras de cuadernas, una bulárcama.

Adelante del mamparo de colisión, cuadernas y medias cuadernas espaciadas 500 mm, y bulárcamas cada 3 claras de cuadernas.

Longitudinalmente. - De babor a estribor, 4 claras de refuerzos longitudinales una viga, luego, 3 claras de refuerzos longitudinales, alternando sucesivamente.

Cubierta Principal

Para la cubierta se mantiene una relación de aspecto de 3:1, tomando:

Transversalmente. - A partir del mamparo 3, bulárcamas espaciadas 1710 [mm].

A proa del mamparo 3, espaciamiento de 500 [mm].

Longitudinalmente. - De babor a estribor, 4 claras de refuerzos longitudinales una viga, luego, 3 claras de refuerzos longitudinales, alternando sucesivamente.

Cubierta de Superestructura

Para la cubierta de superestructura se mantiene una relación de aspecto de 3:1, tomando:

Transversalmente. - A partir del mamparo 3, bulárcamas espaciadas 1710 [mm].

A proa del mamparo 3, espaciamiento de 500 [mm].

Longitudinalmente. - De babor a estribor, 4 claras de refuerzos longitudinales una viga, luego, 3 claras de refuerzos longitudinales, alternando sucesivamente.

Ubicación y número de mamparos

Las reglas de clasificación de la Lloyd's Register, Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2016, parte 3, capítulo 3, sección 4, establece el número mínimo de mamparos, en función de la eslora del buque y establece el número de mamparos de acuerdo a la posición de la sala de máquinas de la embarcación. En instancias finales, y atendiendo a las recomendaciones dadas en clase, de que es preferible contar con divisiones intermedias, se decidió emplear como base el número de mamparos presente en el buque prototipo, el US Navy, LSM 354, que cuenta con un número total de 10 mamparos, de los cuales fue necesario definir la posición longitudinal de al menos 4 de ellos, como posición base; los mamparos de colisión, peak de popa, y la posición de los mamparos que definirán la sala de máquinas.

Antes de realizar el análisis de la longitud inundable, es necesario también establecer la permeabilidad de los diferentes tipos de compartimentos.

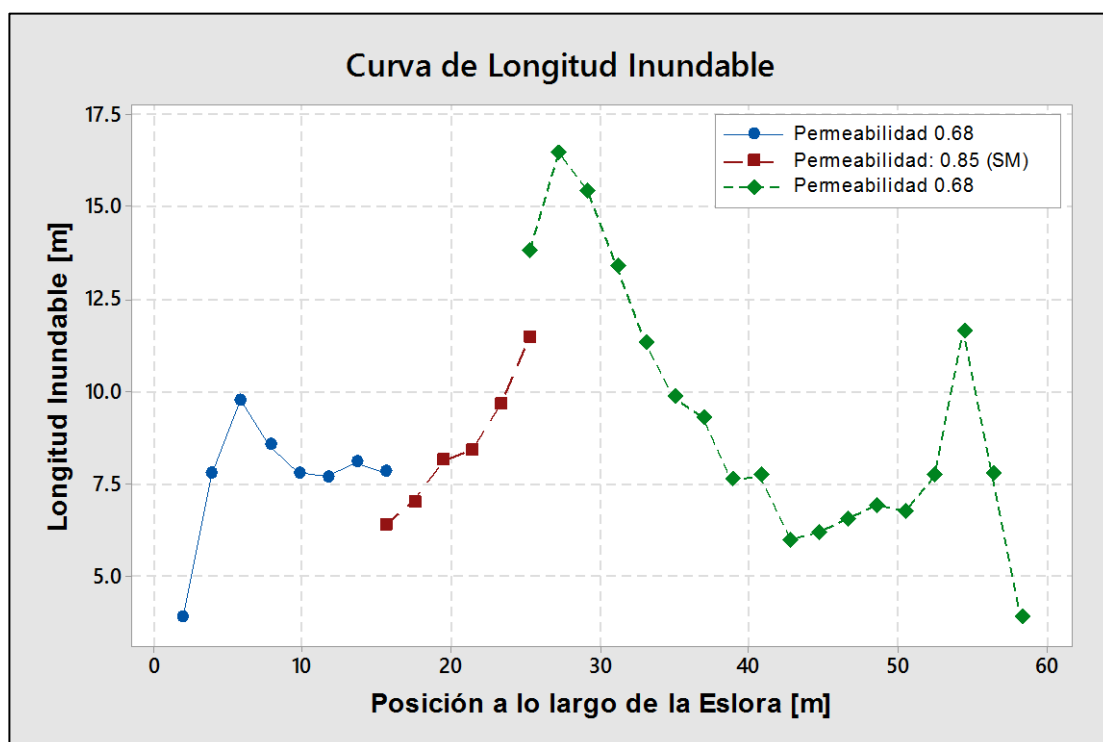


Gráfico 1.5.- Longitud de Curva Inundable a diferentes permeabilidades.

1.3.2. Disposición General

Tanques

Es importante cuidar en la distribución de los tanques a lo largo de la eslora de la embarcación, el recordar ubicarlos en forma alternada, los diferentes fluidos que se llevarán a bordo, siendo, por ejemplo, el ubicar de forma alternada tanques de combustible y de agua dulce, esto nos ayuda a conservar la estabilidad longitudinal de la embarcación; de la misma forma, el ubicar simétricamente los tanques, respecto a línea de crujía, nos ayuda a conservar a la estabilidad transversal.

- Tanques de combustible
- Tanques de aceite
- Tanques de agua dulce
- Tanque de Lodos y Aguas oleosas:

Desglose de tanques y capacidades

El anexo B, presenta el desglose de cada uno de los tanques con sus respectivas coordenadas del centro de gravedad, densidad del líquido a contener, y capacidad en m^3 :

Habilitación

DNV (Det Norske Veritas), provee recomendaciones en cuanto a la acomodación de buques de tipo militar, en las Reglas Embarcaciones de alta velocidad, lanchas ligeras y embarcaciones de superficie militares, 2013, Pt.5 Ch.14 Sec.2 - Página 18. Empleamos como base para establecer la distribución de la embarcación, la distribución presente en el prototipo, el LSM 354.

De acuerdo a esta disposición, el buque dispondrá de 4 zonas, bajo cubierta principal, para la habitabilidad, de las cuales 3 se dispondrán así:

- a) Tropas (1): Ubicado entre los mamparos 4 y 5, dispuesta para albergar a 41 miembros de tropa, en literas de 3 y 4 personas, el espacio cuenta con un área $60,20 m^2$.

- b) Tripulación: El siguiente espacio para habitación, se subdivide el espacio en espacios para la tripulación, oficiales, y capitán. Tenemos un área total de $69.77 m^2$.
- c) Abastos: Dedicado a albergar los congeladores para almacenar carnes y vegetales, el espacio para este fin es de $52.27 m^2$.
- d) Sala de Máquinas: Ubicada entre los mamparos 8 y 7, con un área que alberga dos motores y espacio para maquinaria auxiliar, de $87.08 m^2$.
- e) Tropas (2): El siguiente espacio para tropas albergará a 30 efectivos, dotándolo con un área de $50.08 m^2$.

Cubiertas

Para su haber, diferenciamos entre los espacios habitables bajo cubierta, y la distribución sobre la cubierta principal, además de la disposición generado sobre el primer nivel de los espacios de superestructuras.

Áreas bajo cubierta principal

El área bajo cubierta se dispone para la habitabilidad, dotando de 3 áreas para uso de las tropas, tripulación y oficiales, atendiendo a la distribución del buque prototipo, y una cuarta área dispuesta para los abastos. La comunicación con la cubierta principal se da por medio de escaleras, disponiéndolas en cada espacio de habitación y dos en el espacio de máquinas

Área Cubierta Principal

Esta es el área dispuesta para carga, equipos, cocina, comedores, y pasarelas, contando con un área de carga de $280.8 m^2$

1.3.3. Estabilidad

Para el desarrollo de los cálculos de estabilidad, fue necesario el desglose de cada uno de los pesos a que el buque lleva a bordo, en diferentes condiciones de carga. Se tuvo presente las regresiones y estimaciones que se realizaron en la etapa del diseño conceptual.

En el anexo B, se presenta el desglose general de pesos tomado en cuenta para los cálculos.

Condiciones de Carga

Para el diseño, se analizó 7 condiciones de carga diferentes, teniendo en cuenta en algunas de ellas, el uso de la rampa, y su influencia en la estabilidad de la embarcación.

Las condiciones de carga a analizadas son:

- Desplazamiento en rosca
- Condiciones intermedias
 - ◆ Peso en rosca + 10% DO+100% Agua Dulce + DWT
 - ◆ Peso en rosca +100%DO + 10% Agua Dulce +DWT
- Salida de puerto
 - ◆ Peso en rosca+ 100% de tanques (Rampa arriba/abajo)-Listo para cargar
 - ◆ Peso en rosca+ 100% de tanques-Salida de puerto
- Arribo a lugar de desembarco
 - ◆ Peso en rosca+10% de tanques (Rampa arriba/abajo)-Retorno sin carga.
 - ◆ Peso en rosca+10% de tanques + DWT (Rampa arriba/abajo)-Desembarco.

Desplazamiento en Rosca

En este desplazamiento se ha considerado todos los pesos fijos del barco, es decir el desplazamiento ligero, incluyendo el lastre de la embarcación. Es la condición con menor calado, esto permite verificar el calado para la hélice.

Salida de Puerto

Se ha realizado el cálculo con el 95% de llenado de los tanques, tomando consideración el caso en que el buque está sin carga, con la rampa arriba y abajo, momentos antes de cargar y en el momento de iniciar el proceso de carga. Se incluyó también la salida a full de la embarcación.

Arribo a lugar de desembarco

Se ha considerado la reducción de pesos, por el uso de los consumibles durante la travesía, y en estas condiciones la llegada al lugar de desembarco. Se detallan los resultados obtenidos en las diferentes condiciones de carga, en el anexo C. En la tabla XVII, se presentan los diferentes asientos para las diferentes condiciones de carga:

Condiciones de carga	Asiento(+Popa)
1.-Desplazamiento Ligero (DL)	-0.545
2.1.- DL+10 Tanques-Rampa Arriba	-0.531
2.1.- DL+10 Tanques -Rampa Abajo	-0.532
3.1.- DL+10 Tanques -Rampa Arriba	-0.345
3.2.- DL+10 Tanques -Rampa Abajo	-0.346
4.1.- DL+100 Tanques -Rampa Arriba	-0.574
4.2.- DL+100 Tanques -Rampa Abajo	-0.575
5.- DL+100 Tanques -Carga	-0.305
6- DL+10 DO+ 100 Agua Dulce-Carga	-0.129
7.- DL+100 DO+ 10 Agua Dulce-Carga	-0.519

Tabla 17.- Asiento en las Diferentes Condiciones de Carga.

Se observa que el valor del asiento, en las diferentes condiciones de carga, está dentro de los límites permitidos, el cual comprende valores menores al 1% de la eslora.

Estabilidad a grandes ángulos

Analizaremos la condición de full carga, para analizar la estabilidad de acuerdo al requerimiento IMO MSC.267(85).

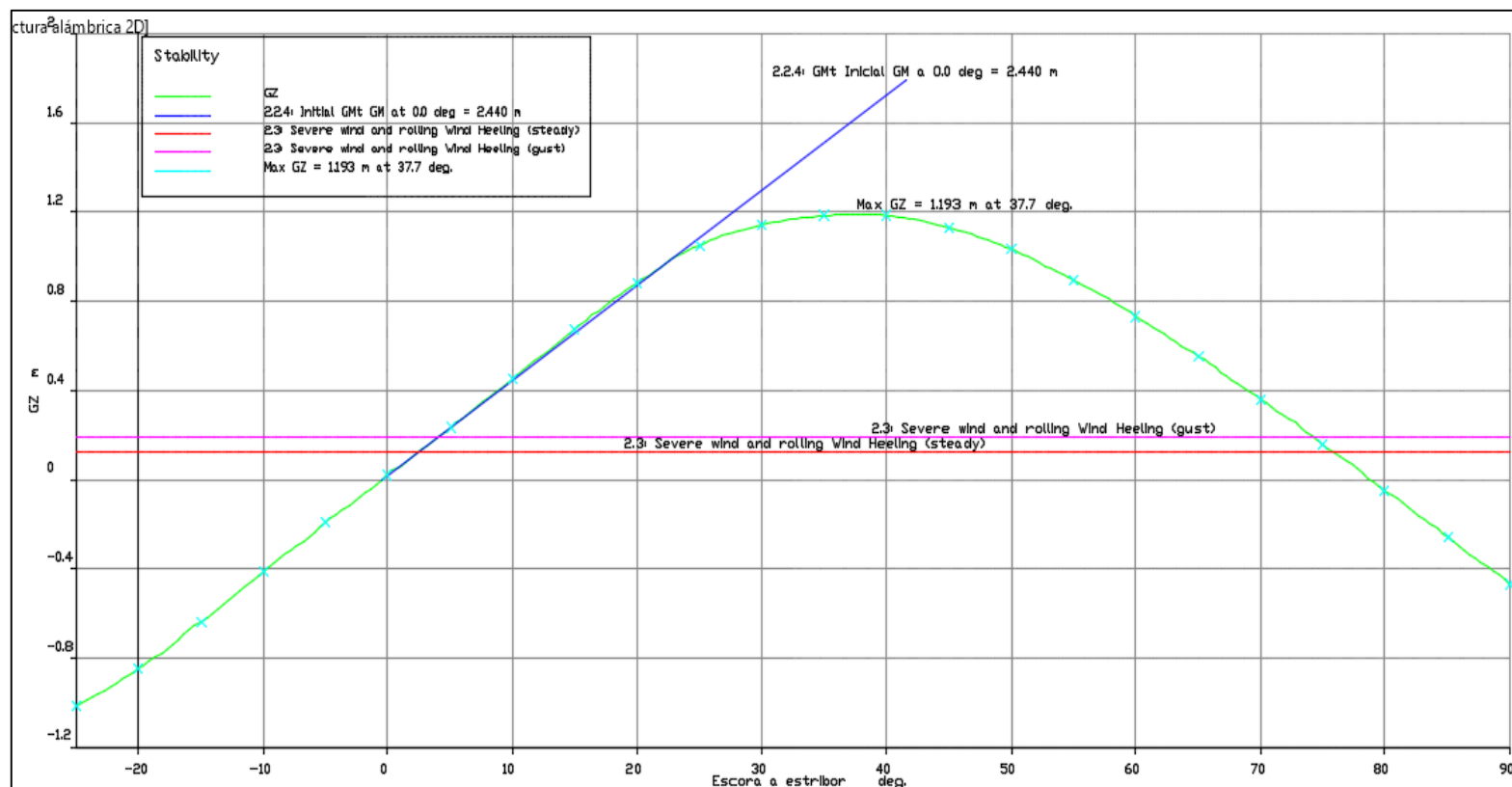


Gráfico 1.6.- Estabilidad a Grandes Ángulos.

Se obtuvo los resultados presentados en la tabla XVIII, cumpliendo las regulaciones IMO:

Criterio	Valor	Unid	Actual	Estado	Margen %
2.3: IMO Angulo de Rolido	27.2	(°)			
2.2.1: Área 0 to 30	3.15	m.(°)	18.47	Pass	+486.13
2.2.1: Área 0 to 40	5.15	m.(°)	29.63	Pass	+474.63
2.2.1: Área 30 to 40	1.72	m.(°)	11.16	Pass	+549.31
2.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.20	m	1.12	Pass	+463.50
2.2.3: Angulo of máximo GZ	25.0	(°)	36.4	Pass	+45.46
2.2.4: Inicial GMt	0.15	m	2.29	Pass	+1430.00
2.3: Vientos y Rolido				Pass	
Angulo de escora no mayor a (<=)	16.0	(°)	2.7	Pass	+83.25
Ángulo de escora / cubierta ángulo de inmersión del canto constante no será mayor que (<=)	80.00	%	17.99	Pass	+77.51
Area1 / Area2 no debe ser menor que (> =)	100.00	%	183.86	Pass	+83.86

Tabla 18.- Criterios de Estabilidad.

Criterio Meteorológico

De acuerdo a SOLAS uno de los criterios a cumplir es la Estabilidad Intacta. A continuación; se calcularon los criterios meteorológicos por balance por viento y ráfaga de viento para tres condiciones de carga; y además para la condición más crítica de 10% de la capacidad de los tanques y el 100% de la carga:

- Condición 3.- LS+10Tks+Carga
- Condición 5.- LS+100Tks+Carga
- Condición 6.- LS+10 Diésel Oil+100 Agua Dulce + Carga
- Condición 7.- LS+100 Diésel Oil+10 Agua Dulce + Carga

El proceso seguido para demostrar la capacidad del buque para resistir los efectos combinados de balance y viento, se detalla a continuación:

El buque será sometido a una presión de viento constante que actúa perpendicularmente sobre el plano de crujía, que dará un brazo escorante correspondiente a 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_1 . Este ángulo de escora provocado por el viento constante, θ_0 , no deberá ser superior a 16° .

El buque se someterá a una ráfaga de viento continuo que dará como resultado un brazo escorante l_{w2} .

Se deberá verificar que el ángulo θ_2 sea menor a 50° y menor al ángulo θ_c .

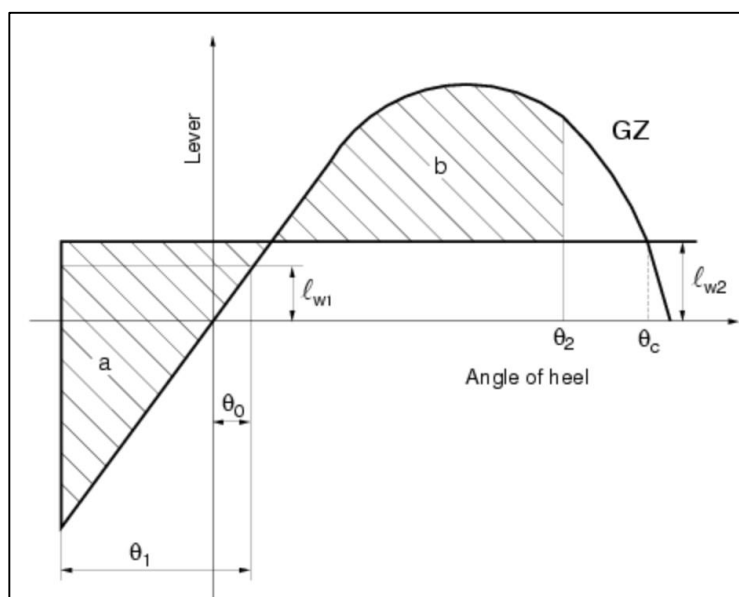


Figura 1.3.- Brazos Escorantes por Viento y Balances Severos [6].

Para hallar estos términos y verificar que cumplan cada una de las condiciones requeridas se realizaron los cálculos respectivos, para las diferentes condiciones de carga.; los cuales se presentan en el anexo D.

Cálculos realizados

Los ángulos de balance y brazos escorantes se muestran en la tabla XIX:

	COND. 5	COND. 6	COND. 7
C	0.4580	0.4673	0.4638
T	5.9918	6.1834	5.8717
B/d	4.8208	5.2249	5.0745
Ak*100/L*B	0.0000	0.0000	0.0000
x1	0.8000	0.8000	0.8000
x2	0.9713	0.9624	0.9652
k	1.0000	1.0000	1.0000
s	0.1000	0.0996	0.1000
τ	1.1724	1.4205	1.2671
θ_1	28.9988	31.5709	29.9602
l w1	0.0727	0.0802	0.0763
l w2[m]	0.1091	0.1203	0.1145
θ_o [deg]	1.2890	1.5410	1.1060
θ_f [deg]	39.0000	39.0000	39.0000
θ_{dr} [deg]	23.0000	23.0000	23.0000
θ_c [deg]	76.2380	64.3000	73.6000
θ_2 [deg]	32.7570	37.7000	33.7000

Tabla 19.- Valores calculados para diferentes condiciones de carga

A continuación, se presentan las gráficas de brazos adrizantes versus ángulos de escora, para cada una de las condiciones de carga calculadas anteriormente.

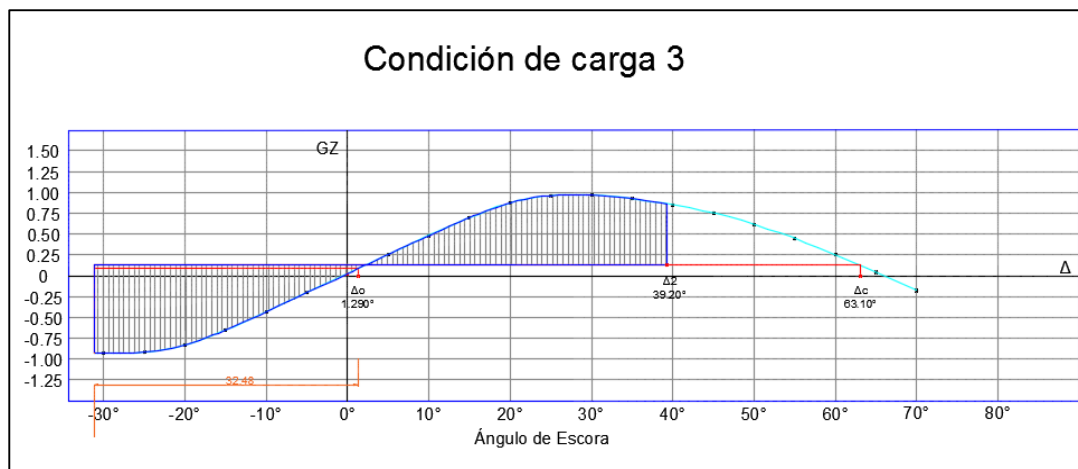


Gráfico 1.7.- GZ vs Ángulo de Escora, Condición 3

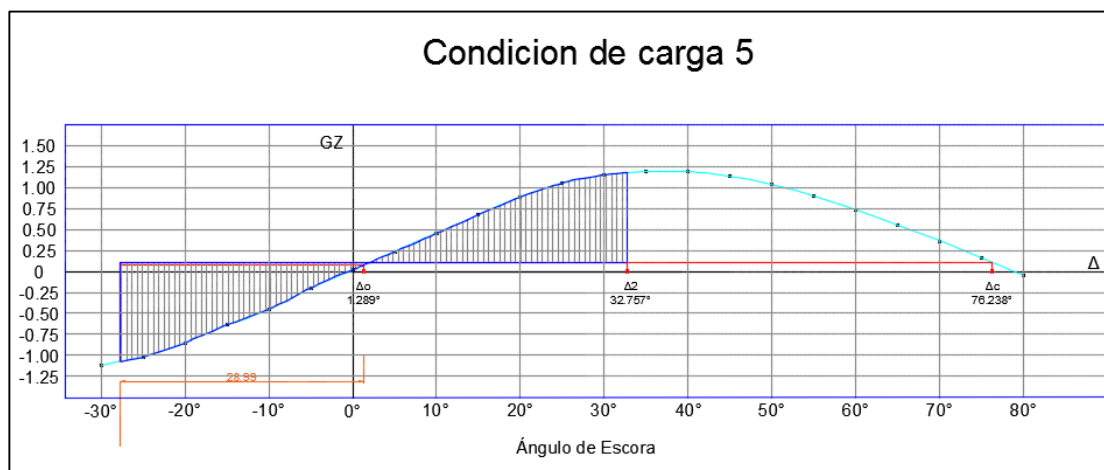


Gráfico 1.8.- GZ vs Ángulo de Escora, Condición 5.

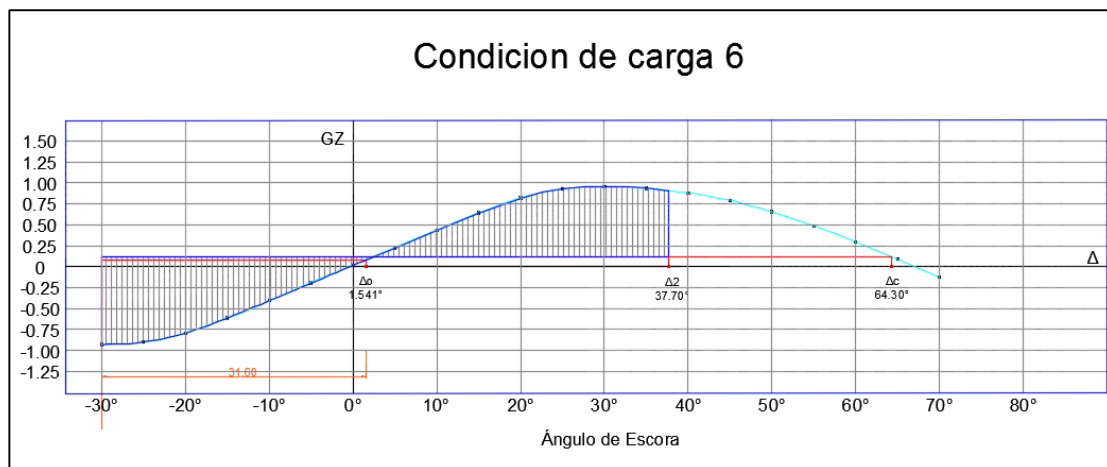


Gráfico 1.9.- GZ vs Ángulo de Escora, Condición 6.

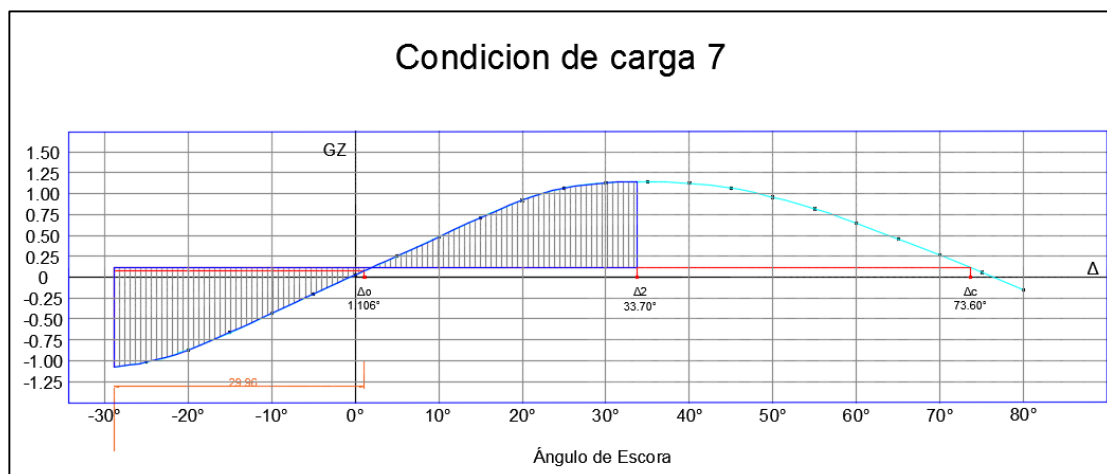


Gráfico 1.10.- GZ vs Ángulo de Escora, Condición 7

1.3.4. Diseño Estructural

Curva de pesos y boyantes

Para el cálculo de resistencia longitudinal, la embarcación se modelo como una “viga buque” de sección transversal no uniforme con carga distribuida a lo largo de ella. Para establecer los pesos que existen a lo largo de la viga buque se clasifican mediante grupos tecnológicos de la siguiente forma:

- Grupo 100- Casco
- Grupo 200- Propulsión
- Grupo 300- Sistemas de poder
- Grupo 500- Sistemas auxiliares
- Grupo 600- Equipamiento
- Grupo 700- Armamento
- Grupo 800- Carga

En el gráfico 11, se presenta la curva de pesos calculada para el buque, en una etapa preliminar del diseño. Por medio del Software se hace la integración de Boyantes y se obtiene un resultado de 886 [ton] de desplazamiento de acuerdo a los pesos ingresados. Con el cual se tiene una diferencia del 10% con respecto al valor esperado de desplazamiento para máxima carga.

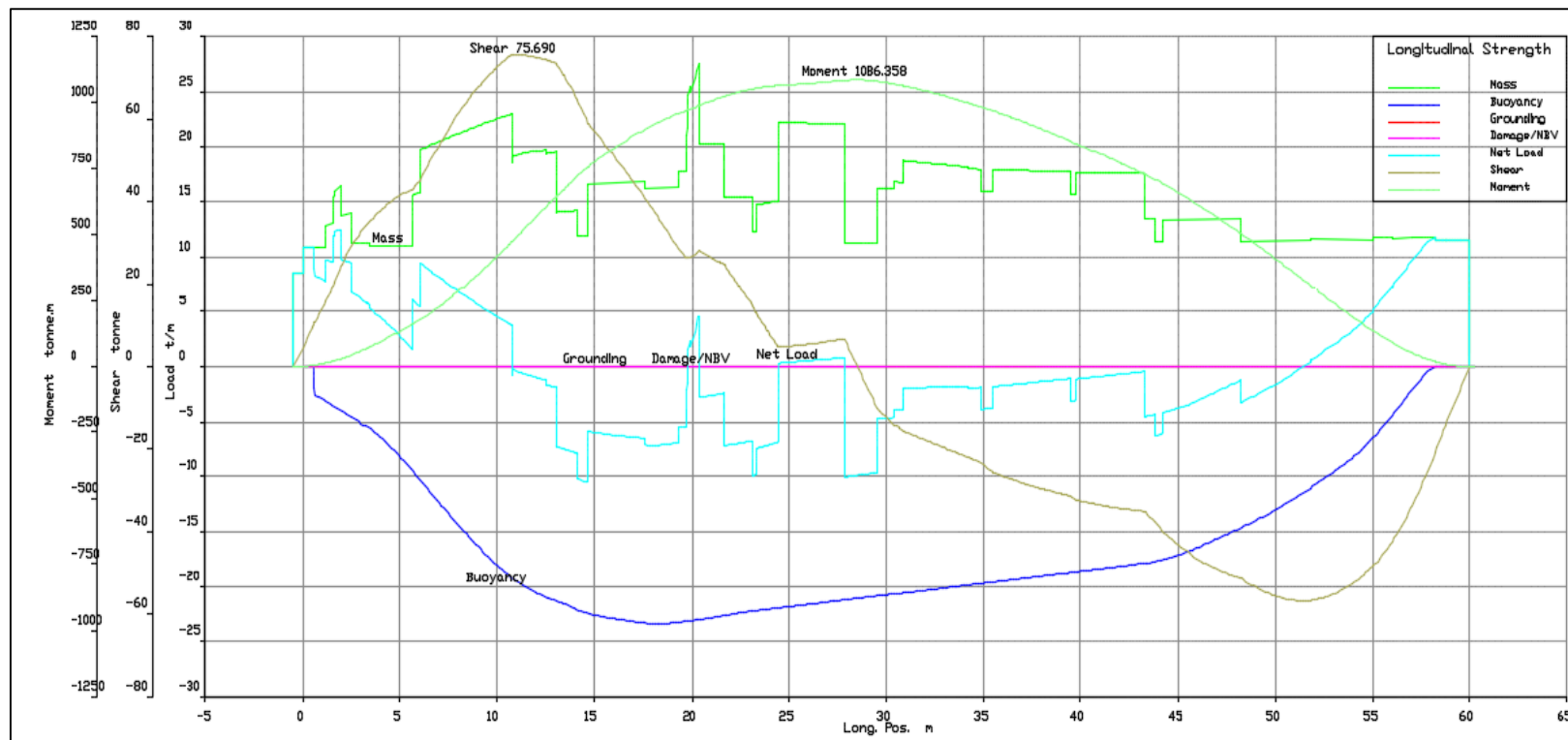


Gráfico 1.11.- Curva de pesos y Boyantes a lo largo de la eslora

Estimación de Fuerza Cortante y Momento Flector

Con ayuda de la casa clasificadora DNV se obtuvo los valores sugeridos para la Fuerza cortante y el Momento flector de nuestro diseño.

Momento flector dado por DNV

La regla dice que, para condición de Aguas Tranquilas, el momento flector no tiene que tomarse menor que lo dado por la ecuación 1.19:

$$M_{SO} = 0.0052L^3B(C_b + 0.7) \quad [\text{kNm}] \quad (1.19)$$

$$M_{SO} = 0.0052(60.22)^3(10.20)(0.73 + 0.7)$$

$$M_{SO} = 16563.87 \quad [\text{kNm}]$$

Para el buque en olas, en las condiciones de arrufo y quebranto, la Sociedad de Clasificación, establece las ecuaciones 1.20 y 1.21:

$$M_{WO} = 0.11C_WL^2B(C_b + 0.7) \quad [\text{kNm}], \text{ para Arrufo} \quad (1.20)$$

$$M_{WO} = 0.19C_WL^2BC_b \quad [\text{kNm}], \text{ para Quebranto} \quad (1.21)$$

donde $C_W = 0.0792L$

$$M_{WO} = 0.11(4.77)(60.22)^2(10.20)(0.73 + 0.7) = 27754.20 \quad [\text{kNm}],$$

para Arrufo

$$M_{WO} = 0.19(4.77)(60.22)^2(10.20)(0.73) = 24472.39 \quad [\text{kNm}],$$

para Quebranto

Fuerza Cortante dada por DNV

Para la estimación de la Fuerza Cortante de diseño se recomienda que no sea mayor a lo establecido por la ecuación 1.22:

$$Q = 5 * \frac{M_{SO}}{L} \quad [\text{kN}] \quad (1.22)$$

Tomando el valor más alto que obtenido, del cálculo del momento flector, en la sección anterior:

$$Q = 5 * \frac{16568.87}{60.22} [kN]$$

$$Q = 1375.69 [kN]$$

Cargas de diseño

A continuación, se procedió al cálculo de las presiones de diseño en varias zonas del buque, este cálculo se hizo en base a las reglas de la Sociedad de Clasificación DNV.

Estructuras del fondo

Se utilizó la ecuación 1.23, para la presión del fondo en el exterior del casco:

$$p = 10T + 0.12L \quad (1.23)$$

$$p = 10(2.20) + 0.12(60.2 * 0.96)$$

$$p = 28.94 \text{ kN/m}^2$$

Estructuras del doble fondo

Se usó la ecuación 1.24, para calcular la presión dentro del doble fondo por líquidos.

$$p = 10T \quad (1.24)$$

$$p = 10 * (2.20)$$

$$p = 22.0 \text{ kN/m}^2$$

Estructuras del interior

La ecuación 1.24, es utilizada para las estructuras interiores de la embarcación:

$$p = 10 * (2.20)$$

$$p = 22.0 \text{ kN/m}^2$$

Escantillado-Software SSC

Previo a realizar el cálculo de escantillón de cada una de las estructuras del buque se procede a realizar un rayado estructural de la ubicación de los elementos principales que conforman el buque. Como separación base, entre los refuerzos, se tomó como referencia la ecuación 1.18, dada por Lloyd's Register para la separación mínima:

$$S = 470 + \frac{L}{0.6} [mm]$$

$$S = 470 + \frac{60.22}{0.6} [mm]$$

$$S = 570.37 [mm]$$

Usando el rayado estructural podemos definir que miembro soporta a quien y procedemos a calcular el escantillón dependiendo del lugar donde se sitúa el elemento. Para realizar esto utilizamos el programa de Lloyd's Register SSC.

Materiales

Los materiales seleccionados para la construcción fueron el acero naval, para el casco y superestructura. A continuación, presentamos una tabla con las propiedades del acero utilizado.

Propiedad	Unidades	Valores
Factor del acero, ks		1.00
Módulo de elasticidad	[N/mm ²]	200E+3
Esfuerzo de fluencia	[N/mm ²]	235
Resistencia a la tracción	[N/mm ²]	400
Razón de Poisson		0.3
Densidad	[kg/m ³]	7850

Tabla 20.- Propiedades del material a utilizar

Espesor de planchas

Se analizó la bulárcama 15 del diseño del LSM, esta cuaderna se encuentra ubicada a 33.00 [m] de la perpendicular de popa, es decir en la sección media de la estructura donde se encuentra el cuerpo medio paralelo. A continuación, se presentan los espesores calculados para las planchas de costado, fondo, doble fondo y cubierta vehicular.

Ubicación	Requerido [mm]	Seleccionado [mm]
Fondo	7.66	8
Doble fondo	7.61	8
Costado	7.84	8

Tabla 21.- Espesores de planchaje, requeridos y seleccionados

Forro de cubierta para carga rodada

En el software elegido para dimensionar el planchaje existe la opción para carga vehicular, la cual depende del tipo de vehículos. A continuación, se presenta el esquema de los vehículos utilizados.

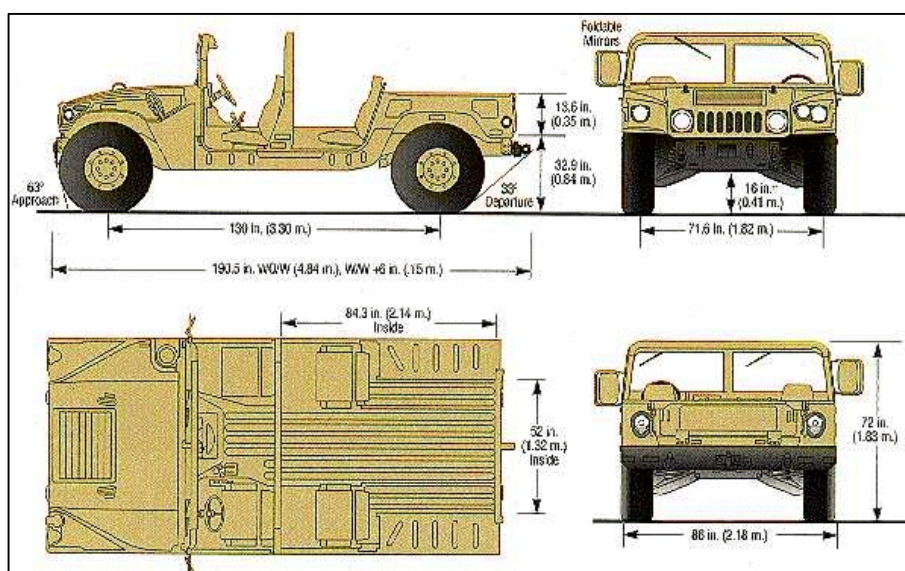


Figura 1.4.- Dimensiones de vehículo militar [8].

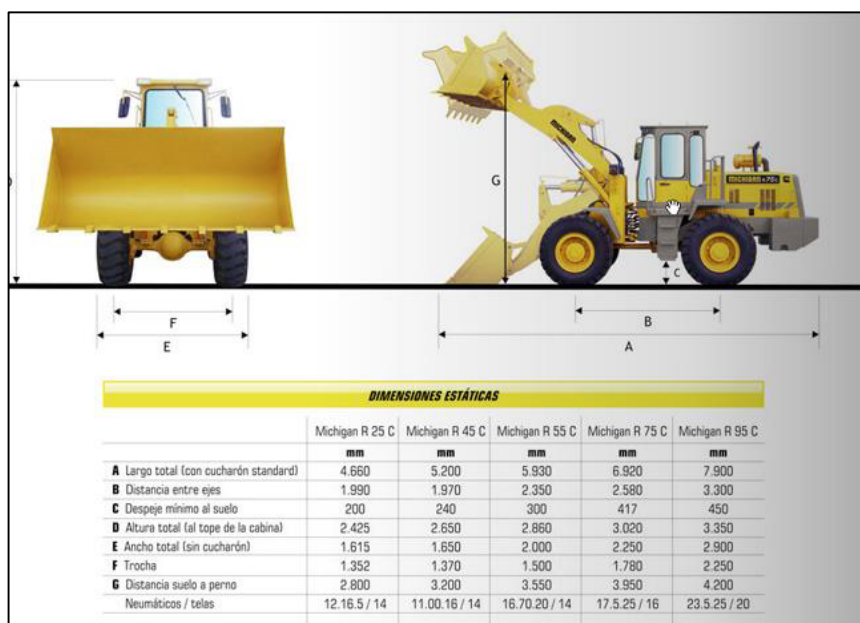


Figura 1.5.- Dimensiones de Cargadora [9].

La huella de las llantas de los vehículos se realizó en línea, con ayuda de una opción de la marca de llantas Bridgestone, para estas dos clases de vehículos. A continuación, se presenta uno de los cálculos realizados en SSC para una llanta radial para el vehículo liviano con las siguientes medidas de llanta: LT255/ 70R16.



Medida	Ancho de banda (mm)	Perfil	Diámetro de rin	Índices carga velocidad	Rin recomendado	Rines aprobados	Ancho de sección (mm.)	Diámetro externo (mm)	Carga máxima	Presión máxima inflada (psi)
LT235/75R15	235	75	15	104Q	6.5	6.0 - 8.0	236	734	900	80
LT255/70R16	255	70	16	108P	7.5	6.5 - 8.0	259	770	1000	36
31X10.50R15	31	10.5	15	109Q	8.5	7.0 - 9.0	268	775	1030	51

Figura 1.6.- Llanta empleada para vehículo liviano todo terreno [10]

	Property	Units	Entered	Required
1	Steel		Steel	
2	Tyre Print Width	mm	500.000	
3	Tyre Print Length	mm	400.000	
4	Stiffener Spacing	mm	570.000	
5	Panel Length	mm	1,710.000	
6	Number of Wheels		1	
7	Tyre Print Load	tonnes	11.000	
8	Thickness	mm	10.000	9.990
9	Tyre Type		Pneumatic	

Figura 1.7.- Espesor de plancha en la cubierta rodada [11].

Se puede ver que el espesor de plancha es de 10 [mm], este es mayor que el resto del buque, esto se debe a la carga ejercida en la huella de la llanta.

Perfiles empleados

Como siguiente presentamos los perfiles utilizados para el escantillón de una de las cuadernas de la sección media de nuestro diseño.

- Refuerzos longitudinales de costado
Perfil tipo en L de dimensiones 100 x 75 x 8 [mm]
- Refuerzos longitudinales de fondo
Perfil tipo en L de dimensiones 100 x 75 x 8 [mm]
- Refuerzos longitudinales de doble fondo
Perfil tipo L de dimensiones 100 x 75 x 8 [mm]
- Refuerzos longitudinales de cubierta
Perfil tipo en flat bar de dimensiones 100x75x8 [mm]
- Bulárcamas de costado y bao
Perfil tipo L de dimensiones 250 x100 x 8 [mm]
- Vigas longitudinales de cubierta y fondo
Perfil tipo T de dimensiones 250x150x 8 [mm]

Escantillón de Puntales

Los puntales forman parte de la estructura primaria del buque. Para el cálculo de puntales primero se encontró la ubicación indicada para estos, ya que tenemos un buque prototipo que también cuenta con puntales en su estructura, nos basamos en su disposición para ajustarla a la nuestra. A continuación, se muestra el cálculo realizado con el software para un puntal de sección circular ubicada en la zona de sección media, específicamente en habitabilidad.

	Property	Units	Entered	Required
1	Steel		Steel	
2	Outer Diameter	in	5.000	
3	Cross-sectional Area	cm ²	29.908	28.913
4	Thickness	mm	8.000	7.620
5	Radius of Gyration	cm	4.217	3.109
6	Effective Span	m	3.420	
7	Location		Vehicle Deck	
8	End Fixity		Partial	
9	Deck Girder Design Pressure	kN/m ²	25.000	
10	Load from Pillar Above	kN	0.000	
11	Girder Spacing	m	1.710	
12	Dist. between Adjacent Spans	m	5.700	
13	Design Load	kN	243.675	

Figura 1.8.- Escantillón de puntal en sección media [11].

Este puntal tiene 127 [mm] de diámetro y cedula 80, con un espesor de 8 [mm]. Se tomó como referencia para el espesor del puntal que:

$$h > D/25 \quad (1.25)$$

Donde h es el espesor y D el diámetro externo del puntal de sección circular. Como sugerencia del tutor se calcularon los puntales como simplemente soportados en los extremos. El método de fijación en los extremos del puntal es mediante una planchuela cuyas dimensiones fueron tomadas de la siguiente recomendación:

$$T_2 = 1.25 T_1 \quad (1.26)$$

$$W = 3 T_1 \quad (1.27)$$

Donde:

T_1 corresponde al diámetro exterior del puntal calculado

T_2 es el espesor de la planchuela a utilizar

W es el ancho de la planchuela, medido desde el fijo del puntal hacia el exterior.

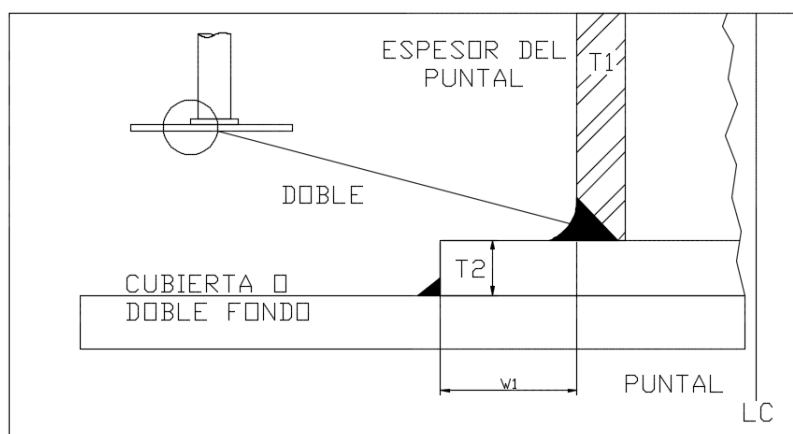


Figura 1.9.- Dimensionamiento de doble para puntales [12]

1.4. Análisis de los Resultados

Concluida la etapa del diseño preliminar, es necesario realizar un análisis a los resultados obtenidos durante las etapas conceptual y preliminar; a continuación, se presentan las conclusiones a las que se llegan.

1.4.1. Análisis del prototipo

Se presentan las dimensiones principales del buque, tomado como prototipo para este proyecto, con lo cual evidenciamos que el prototipo seleccionado se acopla a las necesidades establecidas por los requerimientos del armador, y está dentro de los parámetros establecidos en el cálculo regresional.

Dimensiones principales	
Eslora	62.03 [m]
Manga	10.52 [m]
Puntal	5.60 [m]
Calado medio	2.22 [m]
Desplazamiento máximo	1095 [ton]
Velocidad	13 nudos

Tabla 22.- Dimensiones principales del prototipo

1.4.2. Análisis de coeficientes

A continuación, se presentan los coeficientes adimensionales del prototipo, y que se relacionan estrechamente con el modelo y definen características básicas del buque.

Coefficientes del prototipo	
Coefficiente block	0.7374
Coefficiente de sección media	0.9861
Coefficiente de área de flotación	0.8251
Coefficiente prismático	0.7478
Coefficiente de carga	5.1000
Coefficiente de bulbo	0.1250
Numero de Froude	0.2709
Froude Volumétrico	0.6700

Tabla 23.- Coeficientes del prototipo.

El coeficiente de carga indica que el prototipo está en los límites para considerarse un buque de desplazamiento, no fue considerado como un buque de semi-desplazamiento ya que no cumple con los otros parámetros para ser considerado así.

El coeficiente de bulbo indica la necesidad de tener o no un bulbo para mejorar la navegación del buque. Debido a la compuerta frontal que posee para realizar su actividad principal de embarque y desembarque es razonable que no posea bulbo, pero realizar el cálculo solo nos ayuda a confirmar esta información que salta a la vista. El valor del coeficiente de bulbo tiene que ser mayor a 0.135 para que sea aconsejable la aplicación de este apéndice al buque.

El número de Froude ayuda a confirmar que no se requiere un bulbo, ya que el coeficiente de bulbo se encuentra fuera del rango entre 0.35 y 0.65.

El Froude Volumétrico es una confirmación de que el prototipo es un buque de desplazamiento ya que el número calculado es menor a 1.66 que es cuando se inicia el planeo.

1.4.3. Distribución General

Siguiendo las recomendaciones de la Sociedad de Clasificación DNV; y usando como base la distribución general presente en el prototipo, se realizaron los planos de distribución general del buque; los cuales cumplen con las necesidades requeridas en el diseño y descritas en detalle en este capítulo.

1.4.4. Diseño Estructural

Una vez obtenido el escantillonado general del buque, se procedió a revisar el cumplimiento del módulo seccional en la sección media del buque; como respuesta a las exigencias de las Sociedades de Clasificación.

Se presenta los resultados de esta verificación a continuación:

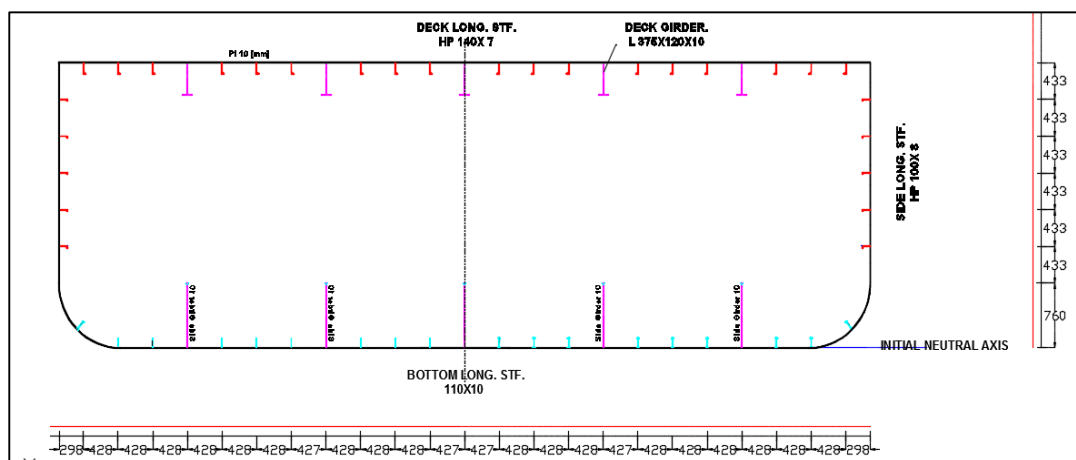


Figura 1.10.- Elementos empleados en el cálculo del módulo seccional.

Resultados módulo seccional		
Área de la sección media	3.70E+05	[mm ²]
Eje neutro	1755.37	[mm]
Mto. De Inercia de la sección sobre el eje neutro	8.32E+11	[mm ⁴]
Modulo seccional de la sección media	5.19e+08	[mm ³]
	5.19E+05	[cm ³]

Tabla 24.- Resultados del cálculo del módulo seccional.

Si comparamos el módulo de sección obtenida por nuestra sección media de 5.19×10^5 [cm³], en comparación con el módulo de sección mínima requerida por la regla de 3.05×10^5 [cm³], comprobamos que este valor es mayor que el mínimo requerido, por lo que los resultados deben responder a la solicitud de las reglas de clasificación de buques de menos de 90 metros de longitud DNV.

CAPITULO 2

2. DISEÑO CONTRACTUAL: OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO PRELIMINAR DEL BUQUE DE DESEMBARCO

2.1. Alcance del diseño contractual

En este capítulo, se desarrolla el diseño final, en donde se revisa y se mejora el diseño preliminar, con el fin de optimizar aspectos del diseño del buque, como lo son las formas, y el diseño estructural.

El proceso general de optimización consiste en definir las variables de diseño, las restricciones, y la función objetivo, en el centro de este proceso tenemos la minimización de los costos de construcción, lo cual está directamente relacionado con la distribución estructural del buque; para el cual previamente debe realizarse la optimización de las formas.

Para hacer este trabajo de optimización, se implementan códigos en el programa Matlab de las siguientes áreas: la estabilidad, resistencia, estructuras., que comandan las restricciones generales del proceso. Estas subrutinas se integran en un programa principal, donde el usuario puede calcular para cada prototipo, la estabilidad, distribución y peso estructural, resistencia.

Se crea una biblioteca de veintisiete prototipos y se implementa un código adicional en Matlab, con un método específico de optimización, para generar las dimensiones principales óptimas, las cuales serán las variables de diseño, que generen el menor costo de construcción y cumplan con las restricciones establecidas. Los algoritmos desarrollados en Matlab, son validados previamente, para dar confiabilidad en el resultado final que se obtenga del proceso de optimización; la verificación se realiza versus programas de cálculos navales que se encuentran en el medio. Además, se presenta una comparación entre el diseño preliminar y el diseño final.

El desarrollo de esta fase obedece a la necesidad de ofrecer soporte técnico al contrato de construcción del buque. En el capítulo tres, se presenta un análisis de elementos finitos a sectores específicos del buque, para ofrecer un soporte técnico, adicional a este diseño contractual.

2.2. Optimización de formas

El proceso a seguir para la optimización de formas, seguirá el siguiente esquema.

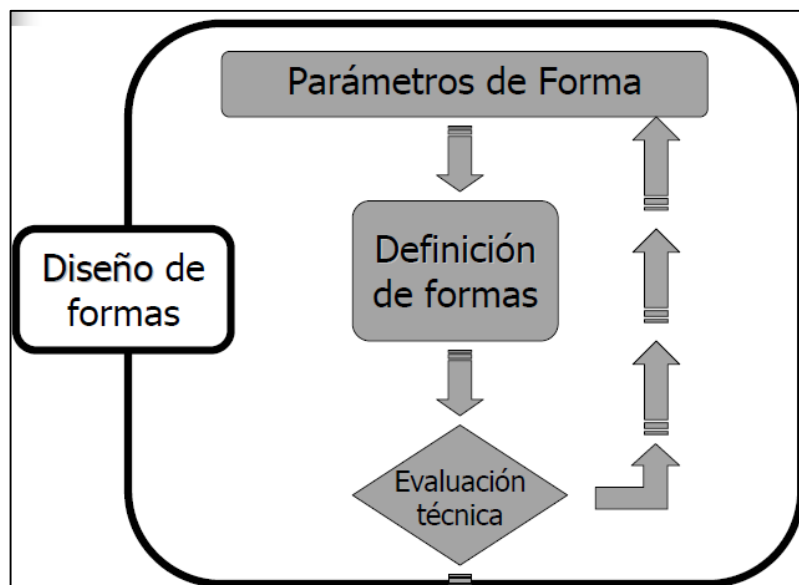


Figura 2.1.- Proceso de Optimización de Formas [13]

Dentro de la evaluación técnica se tiene: la verificación del cálculo de la resistencia, determinación de las curvas KN, cálculos de estabilidad, si estas restricciones son cumplidas, aceptamos las formas como válidas.

Lo usual es partir del uso de series sistemáticas para la elección de formas de buques tipos, en el caso del diseño del buque de desembarco, las series que se ajustan a los parámetros del diseño son las CRTS, pero en cuanto a las necesidades de puertas de proa y rampa para el desembarco, estas formas son muy finas en zona de proa, además de presentar un ángulo de astilla muerta considerable, el cuál no resulta beneficioso para la maniobra de varada en la playa. Por tal motivo se plantean formas propias, las cuales deberán pasar por la evaluación técnica respectiva.

2.2.1. Formas Propuestas

Dado que las formas previstas por la serie CRTS, no se ajustan a las necesidades del diseño, se presenta como una alternativa las siguientes formas, es necesario validar estas formas, ya que no tienen el apoyo que proporciona la serie sistemática, ya que los estudios realizados en las series, dan confiabilidad, facilidad y precisión en la optimización de la forma. A continuación, se presentan las formas buque de desembarco, mejoradas:

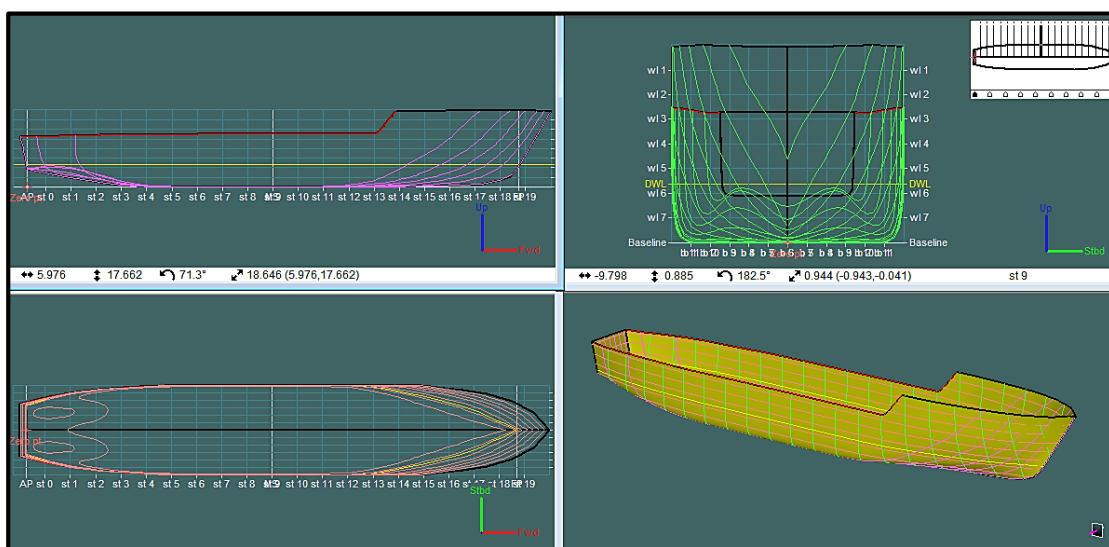


Figura 2.2.- Líneas de Formas Propuestas

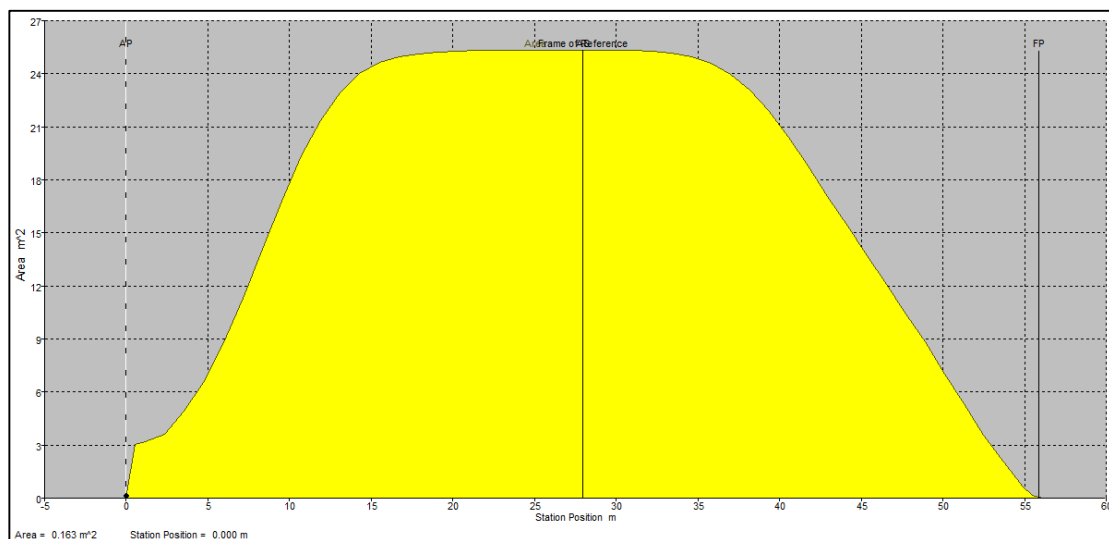


Figura 2.3.- Curva de Áreas de Formas Propuestas

La validación de las formas; se concentrará en justificar y validar los siguientes aspectos:

- Estabilidad
- Verificación del método de Holtrop
- Calado

El desarrollo de la verificación en presentado en el anexo E. Una vez verificadas las formas, se procede a la generación de la matriz de prototipos, en la cual se realizará la búsqueda y validación de modelos que sirvan para el proceso de optimización.

2.2.2. Matriz de Prototipos

Emplearemos las regresiones desarrolladas en el diseño conceptual para determinar los rangos en los cuales manejaremos las dimensiones del diseño, para la elección de las dimensiones de los prototipos de la matriz.

En la tabla XXIII, se presentan los límites de los parámetros usados en la elaboración de la matriz de prototipos:

	Intermedio	Rangos	
		Mín.	Máy.
Δ	950.00	985.00	985.00
Eslora	61.71	56.19	64.96
Manga	10.31	9.33	10.61
Calado	2.56	2.29	2.87
Δ Ligero	503.04	225.97	664.83

Tabla 25.- Rango de las dimensiones.

En función de los intervalos definidos anteriormente, se genera la matriz de prototipos, presentada en la tabla XXIV:

	L	B	T	D
1	56.19	9.33	2.29	5.28
2	60.28	9.33	2.29	5.28
3	64.96	9.33	2.29	5.28
4	56.19	10.00	2.29	5.28
5	60.28	10.00	2.29	5.28
6	64.96	10.00	2.29	5.28
7	56.19	10.61	2.29	5.28
8	60.28	10.61	2.29	5.28
9	64.96	10.61	2.29	5.28
10	56.19	9.33	2.56	5.90
11	60.28	9.33	2.56	5.90
12	64.96	9.33	2.56	5.90
13	56.19	10.00	2.56	5.90
14	60.28	10.00	2.56	5.90
15	64.96	10.00	2.56	5.90
16	56.19	10.61	2.56	5.90
17	60.28	10.61	2.56	5.90
18	64.96	10.61	2.56	5.90
19	56.19	9.33	2.87	6.61
20	60.28	9.33	2.87	6.61
21	64.96	9.33	2.87	6.61
22	56.19	10.00	2.87	6.61
23	60.28	10.00	2.87	6.61
24	64.96	10.00	2.87	6.61
25	56.19	10.61	2.87	6.61
26	60.28	10.61	2.87	6.61
27	64.96	10.61	2.87	6.61

Tabla 26.- Matriz de Prototipos.

2.2.3. Función Objetivo

Como se mencionó al principio del capítulo, para el proceso de optimización matemática, se tienen en cuenta las leyes que rigen los diversos fenómenos físicos en los que está sujeto el diseño y el funcionamiento de la nave. Las principales leyes a tener en cuenta en este proceso son:

- Principio de Arquímedes
- Estabilidad
- Hidrodinámica
- Resistencia
- Maniobrabilidad

2.2.4. Variables de Diseño

Se tiene una gran cantidad de principios para elegir las variables de diseño en un problema de optimización. La variable tiene que ser una influencia directa en la función y las limitaciones objetivas. El número de variables de diseño tiene que ser lo más pequeño posible. Además, las variables de diseño, deben ser lo más independiente posible.

Entre nuestras variables de diseño que se puede enumerar:

- Eslora
- Manga
- Calado

2.2.5. Restricciones

Se puede clasificar las restricciones en 2 grupos:

- Las limitaciones específicas
 - Velocidad
 - Calado
- Requisitos de desempeño
 - Estabilidad
 - Francobordo
 - Pesos

Las restricciones para las dimensiones son descritas en la tabla 27:

	Intermedio	Mín.	Máx.
Eslora	60.28	56.19	64.96
Manga	10.00	9.33	10.61
Calado	2.56	2.29	2.87

Tabla 27.- Restricciones para las Dimensiones Principales

Otras restricciones para el desplazamiento son: el peso muerto, que depende directamente de la autonomía de la nave, y el peso ligero, que depende de la optimización previa de los otros grupos

La estabilidad se tiene que calcular de acuerdo con las declaraciones del código naval, la OMI también puede ser útil para esto, ya que precisa valores de estabilidad. Los criterios para una adecuada estabilidad en condiciones de viento y mar adversas, se basan en una comparación del brazo adrizante de la nave y el brazo escorante debido a la acción del viento.

Otros requisitos para la estabilidad son:

- Área $A_1 \geq 140\%A_2$
- $GZ_C \leq 60\% GZ_{max}$
- Área de la curva GZ tiene que ser de $30^\circ \geq \frac{0.009}{c} m - rad$
- Área de la curva GZ tiene que ser de $40^\circ \geq \frac{0.016}{c} m - rad$
- Área de GZ entre 30° y 40° tiene que ser $\geq \frac{0.006}{c} m - rad$
- $GZ \text{ to } 30^\circ \geq \frac{0.033}{c} m$
- $\theta_{max} \geq 30^\circ$
- $GZ_{max} \geq \frac{0.042}{c} m$
- $GMT \geq 0.15m$

Es necesario definir los valores de KN para los diferentes modelos de la matriz de prototipos, ya que ellos ayudarán en la determinación de la estabilidad de cada prototipo en el proceso de optimización. A continuación, se detallan los resultados de los valores de KN, determinados para cada uno de los prototipos

	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN
	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0
	deg.	deg.	deg.	deg.	deg.	deg.	deg.	deg.	deg.
1	0.73	1.474	2.244	2.852	3.219	3.423	3.472	3.382	3.171
2	0.743	1.501	2.285	2.902	3.265	3.466	3.51	3.408	3.184
3	0.761	1.536	2.328	2.95	3.313	3.515	3.555	3.444	3.209
4	0.815	1.646	2.493	3.091	3.433	3.601	3.605	3.461	3.195
5	0.836	1.687	2.54	3.14	3.478	3.645	3.642	3.487	3.208
6	0.861	1.736	2.586	3.184	3.516	3.68	3.668	3.503	3.212
7	0.906	1.827	2.729	3.303	3.617	3.748	3.706	3.514	3.197
8	0.933	1.881	2.777	3.354	3.665	3.795	3.745	3.54	3.21
9	0.966	1.942	2.823	3.399	3.705	3.831	3.771	3.556	3.214
10	0.729	1.472	2.245	2.952	3.393	3.665	3.779	3.732	3.548
11	0.742	1.498	2.281	2.981	3.421	3.691	3.804	3.751	3.559
12	0.759	1.532	2.321	3.003	3.445	3.713	3.826	3.769	3.571
13	0.813	1.641	2.488	3.183	3.594	3.829	3.894	3.791	3.55
14	0.833	1.681	2.531	3.214	3.624	3.858	3.92	3.811	3.562
15	0.857	1.728	2.577	3.239	3.651	3.883	3.942	3.828	3.573
16	0.902	1.819	2.722	3.396	3.779	3.981	3.998	3.845	3.552
17	0.928	1.87	2.767	3.429	3.813	4.011	4.024	3.865	3.563
18	0.96	1.929	2.813	3.456	3.842	4.037	4.047	3.882	3.575
19	0.729	1.471	2.243	2.975	3.459	3.774	3.957	3.969	3.829
20	0.741	1.496	2.276	2.995	3.478	3.786	3.968	3.976	3.834
21	0.757	1.528	2.314	3.01	3.494	3.799	3.983	3.993	3.851
22	0.811	1.637	2.481	3.206	3.66	3.94	4.074	4.029	3.832
23	0.83	1.675	2.523	3.228	3.681	3.955	4.086	4.037	3.836
24	0.853	1.719	2.568	3.246	3.7	3.97	4.101	4.053	3.853
25	0.898	1.811	2.713	3.419	3.847	4.096	4.181	4.084	3.835
26	0.924	1.86	2.757	3.443	3.87	4.11	4.192	4.091	3.838
27	0.955	1.915	2.803	3.464	3.892	4.127	4.208	4.108	3.855

Tabla 28.- Valores de KN para cada uno de los prototipos.

2.3. Desarrollo de algoritmos

En esta sección, se detalla el desarrollo de los algoritmos en Matlab, para la verificación de las restricciones, dentro del proceso de optimización. Tenemos un algoritmo central; que es responsable de la lectura y el almacenamiento de cada uno de los valores de las variables y los datos necesarios para el cálculo. Estos datos son compartidos entre diferentes subrutinas o funciones desarrolladas por cada ley; Estas funciones son:

- Estabilidad
- Resistencia
- Maniobrabilidad

Para cada uno, los algoritmos se desarrollan en Matlab, a continuación, se presenta una breve descripción de cada uno:

2.3.1. Estabilidad

Los requisitos básicos de la estabilidad y requisitos Convenio en cuanto a la estabilidad del viento se implementan en este algoritmo. La lectura de los datos de entrada que está hecho a partir de una matriz de datos, que contiene:

- Eslora
- Manga
- Calado
- Desplazamiento
- coeficiente de bloque
- GM- altura metacéntrica
- zona de la quilla
- La distancia entre el centro de gravedad y la línea de flotación
- La presión del viento P
- Área proyectada del buque por encima de la línea de flotación
- distancia vertical desde el centro del área proyectada del centro de agua lateral por debajo de la línea de flotación
- gravedad
- Diámetro táctico

La función comienza con el cálculo de GZ en diferentes ángulos, utilizando los valores de Kg y KN, calculado anteriormente; diferentes condiciones de carga y luego determina los parámetros de estabilidad SOLAS.

Finalmente, la subrutina vuelve a los principales parámetros que determinan la estabilidad de la nave.

2.3.2. Resistencia

Se implementa método Holtrop de 82-84, para el cálculo de la resistencia específica de la embarcación de acuerdo con este método. La función lee de la base de datos la siguiente información:

- Eslora a la línea de flotación
- Eslora entre perpendiculares
- Manga
- Calado en Proa
- Calado en Popa
- Volumen de desplazamiento
- LCB
- Área de sección transversal del bulbo
- Altura del centro del bulbo
- Coef. De Sección media
- Coef. De Plano de agua
- Área sumergida del espejo
- Área mojada de apéndices
- Parámetro de forma de popa
- Velocidad de la nave
- Suma de k_2 sobre apéndices según Holtrop y Mennen

A continuación, detalla cada uno de los componentes en la división de la resistencia; que son calculados para obtener la resistencia total según el método de Holtrop:

- Friccional
- Apéndices
- Olas
- Bulbo de Proa
- Espejo
- Correlación

Por último, la función, realiza la suma de cada una de las resistencias que regresan resultado final la resistencia total de acuerdo con el método de Holtrop. Y Mennen.

2.3.3. Maniobrabilidad

En este algoritmo, los criterios ABS implementados para evaluar la capacidad de maniobra de un buque. Los datos se leen a partir de una matriz de datos central. Las variables que se leen son:

- Eslora
- Manga
- Calado
- Calado en proa
- Calado en popa
- Desplazamiento
- Velocidad

A continuación, la subrutina empieza determinando el área del timón; y continúa con el cálculo de diferente capacidad de maniobra:

- Capacidad de giro
 - Diámetro de giro
 - Diámetro táctico
- Capacidad de giro INICIAL
 - El primer ángulo de rebasamiento de la 10/10 Zig-zag
 - Segundo ángulo de rebasamiento en el 20/20
- Capacidad de parada

Como tercer criterio se tiene capacidad de maniobra, no se posee una formulación para el cálculo, y el parámetro para calificar es a partir de pruebas en el mar, por tanto, se supone a este valor con una calificación igual a 2 en el algoritmo.

La subrutina devuelve el resultado final de la evaluación de cada uno de los criterios, la clasificación de acuerdo con ABS.

Cada uno de los algoritmos que fueron desarrollados en Matlab, para cada subrutina, fueron probados y comparados con programas de cálculo naval, con las condiciones establecidas en cada caso a analizar. Esto nos ayuda a tener certeza de los cálculos realizados y de los cuales se depende en el proceso de optimización. La prueba de validación de cada algoritmo es presentada en el Anexo F

2.4. Optimización Estructural

Uno de los factores que afecta principalmente al costo de construcción es el peso estructural; y el principal objetivo de la optimización de estructural; es disminuir el peso de la misma, manteniendo la capacidad del buque de resistir a las fuerzas que actúan sobre el casco y toda la estructura general del buque. El proceso de optimización estructural que se sigue para esta etapa del diseño, es descrito en el diagrama de flujo que se presenta a continuación:

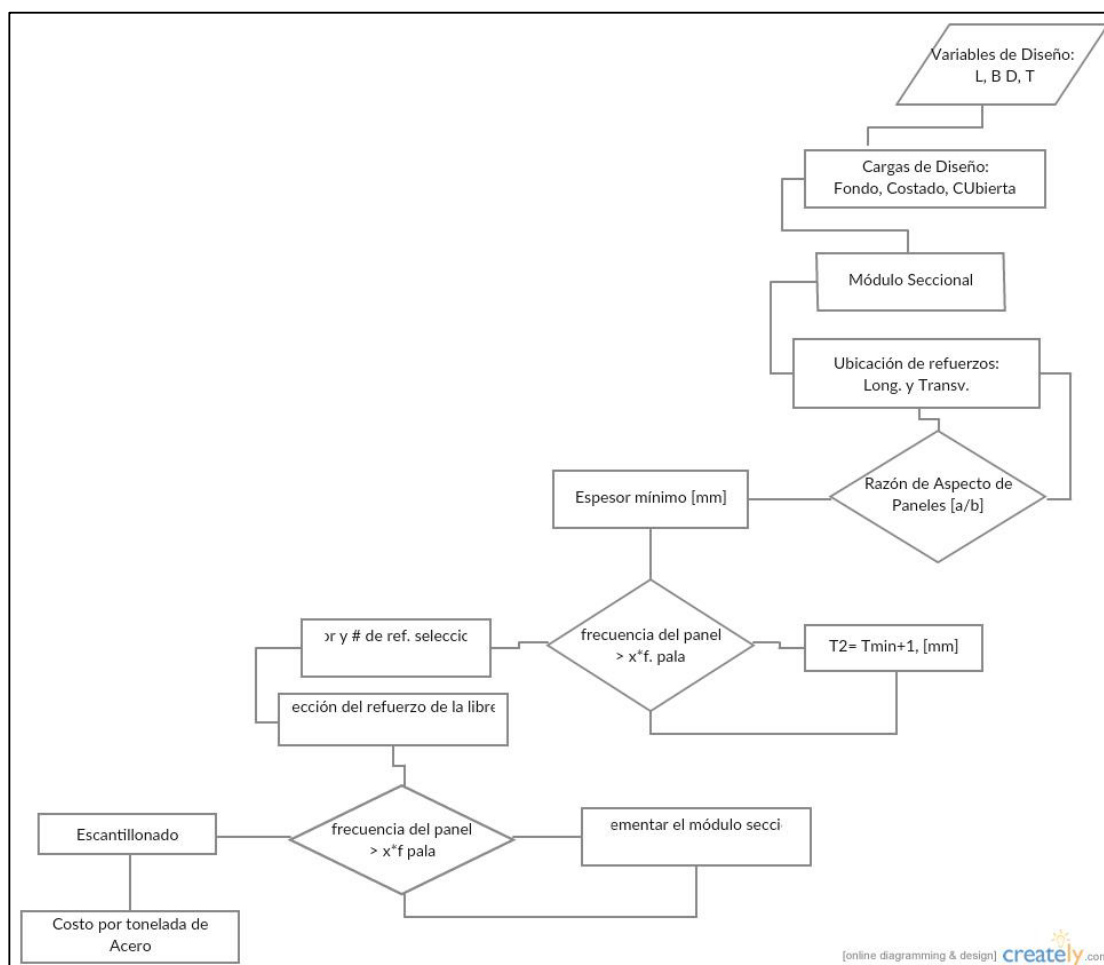


Figura 2.4.- Proceso de Optimización Estructural.

El objetivo principal es reducir el costo final de la construcción; el costo de la estructura del grupo se la divide en dos componentes: costo de los materiales y el costo hombre hora.

En la primera etapa de este problema de optimización, nos centramos en el costo del material; y para ello, se emplea la siguiente estrategia:

"Dividir y reducir"; Dividir en compartimentos y reducir de peso de cada uno de estos compartimentos.

Para ello, desarrollamos un algoritmo en Matlab, para calcular el peso del buque por compartimentos; previamente la realización de un análisis estructural de cada compartimento; teniendo como estrategia para la reducción de las estructuras; la variación de la distancia entre los refuerzos.

Se define el peso de la nave en compartimentos divididos por los mamparos. A continuación, definimos estas secciones:

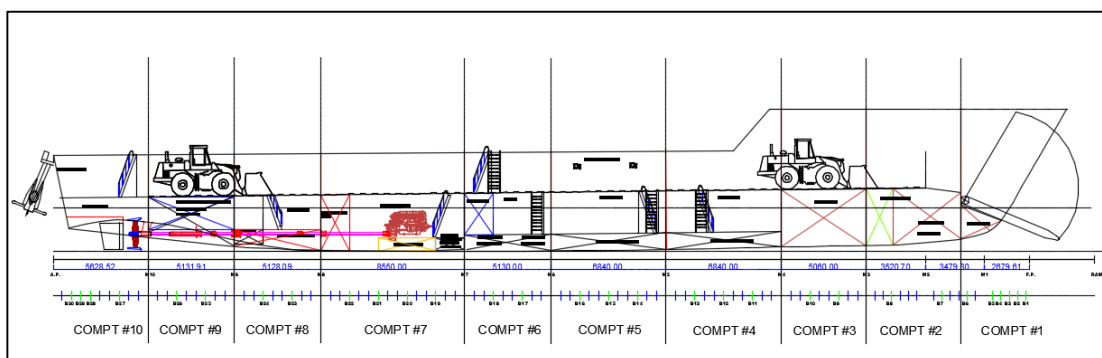


Figura 2.5.- División del casco por compartimentos

2.4.1. Función Objetivo

Para las estructuras, el casco y superestructuras, definimos la función objetivo por el coste de producción, en la ecuación 2.1:

$$\text{Min } F(x) = \text{Costo } (\$)$$

$$\text{Costo } (\$) = \text{Costo}_{\text{Material}} (\$) + \text{Costo}_{\text{hombre hora}} (\$) \quad (2.1)$$

De donde se obtiene el coste del material, dado por la ecuación 2.2:

$$\text{Costo}_{\text{Material}} (\$) = \left(\frac{\$}{\text{ton}} \right) * \text{Peso} \quad (2.2)$$

2.4.2. Variables del diseño

Para hacer la optimización del peso que tenemos las siguientes variables de diseño:

- Ubicación de los mamparos.
- Separación de bulárcamas
- Separación de refuerzos de fondo
- Separación de refuerzos de costado
- Separación de refuerzos de cubierta

El escantillonado de un barco depende de la separación entre los refuerzos. El valor de esta separación, tiene influencia especial en la dimensión y la ubicación de los refuerzos. Así que la primera alternativa para minimizar el costo de construcción es cambiar las dimensiones de los refuerzos y de las placas, esto gracias a la variación de la separación entre refuerzos

2.4.3. Restricciones

Las restricciones para el diseño estructural son definidas por los estándares de las Sociedades de Clasificación; Lloyd's Register, nos proporciona algunas limitaciones para el diseño.

Refuerzos primarios, separación máxima

En la tabla XXVII, los valores máximos de separación entre refuerzos primarios son detallados:

Estructura	Espaciamento [m]
Vagras	3.5
Varengas	3.0
Bulárcamas (Proa)	1.4
Bulárcamas (SM-Popa)	2.6
Esloras	2.6

Tabla 29.- Separación Máxima de Refuerzos Primarios [14].

Espesores mínimos de planchas

Para las zonas de impacto, en la maniobra de desembarco, el espesor de las placas tiene que ser aumento en un 20% y no sea menor que 7 [mm].

Refuerzos de fondo

Según la normativa de la Sociedad de Clasificación, el módulo de sección tiene que ser un aumento de 20%, para las zonas de impacto en el desembarco. Este valor no tenga más de 500 [m]. También en esta zona el constructor tiene que aplicar una soldadura continua en las zonas de impacto.

Puntales

La carga que se lleva sobre cubierta, así como las cargas que generan las demás estructuras sobre la cubierta principal pueden ser soportadas por pilares. La carga admisible un pilar puede realizar es determinada por la ecuación 2.3:

$$W_a = \left(k - \frac{nl}{r} \right) A \quad (2.3)$$

Donde:

k: 12.09

n: 0.0444

Frecuencia mínima estructural

La frecuencia de las palas de la hélice (Blade Frequency) tiene una influencia importante en la estructura de la nave, puede perturbar el escantillado del buque en zonas cercanas al sistema propulsor. La fórmula 2.4 es empleada para el cálculo de la frecuencia de la pala. En la tabla XXVIII, se detallan los rangos para la frecuencia.

$$f_{pala} = \frac{N \cdot z}{60 \cdot r} \quad (2.4)$$

$$f_{pala} = \frac{1800 \cdot 4}{60 \cdot 5.55}$$

$$f_{pala} = 21.62 \text{ [Hz.]}$$

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

Tabla 30.- Frecuencia estructural mínima [15].

Como se mencionó, estas restricciones pueden ser utilizados en áreas circundantes al sistema propulsor, como la sala de máquina y el sector de popa; para el resto del buque se emplean las restricciones de la tabla XXIX:

Zona	Frecuencia Crítica
Fondo	$4.4^* f_{pala}$
Costados y Mamparos	$2.2^* f_{pala}$
Cubiertas y Superestructuras	$1.1^* f_{pala}$

Tabla 31.- Frecuencias Críticas por Zonas[15].

Restricciones geométricas

Algunas restricciones según algunas reglas de construcciones y recomendaciones generales:

- Altura mínima del doble fondo (760 mm).
- Separación mínima entre refuerzos (300 mm).

2.4.4. Proceso de Optimización

Para ayudar en el proceso de optimización, se desarrolló algoritmos en Matlab; que han sido elaborados para los cálculos de cada una de las leyes, las variables y restricciones; necesaria para optimizar y comparar.

Se tiene un algoritmo central; que es responsable de la lectura y el almacenamiento de cada uno de los valores de las variables y los datos necesarios para el cálculo. Estos datos son compartidos entre diferentes subrutinas o funciones desarrolladas por cada ley; Estas funciones son:

- Posición de los elementos estructurales por zonas (fondo, paredes, cubiertas)
- Longitud de los elementos estructurales por zonas (fondo, paredes, cubiertas)
- Escantillonado
- Verificación de frecuencias
- Comprobación de pandeo
- Cálculo Peso

Obtenemos como resultado un nuevo escantillonamiento, manteniendo la integridad estructural del buque; y reduciendo el peso del casco. La validación de los algoritmos de esta sección, se presenta en el anexo G

La siguiente fase, es referente al Hombre-Hora; para ello tendremos en consideración:

- Tipo de estructura
- Período de Construcción
- Pagos al personal (Productivo y administrativo)
- Beneficios sociales
- Utilidad

De esta fase obtendremos como resultados:

- Número de Hombre-Hora, necesarios por compartimento
- Costo Hombre-Hora
- Costo de Construcción Grupo 100

El algoritmo para este cálculo está apoyado con una hoja de cálculo de Excel, desarrollada previamente, usando la referencia [14]; la cual ofrece una base para la determinación de los costos y Hombre-Hora por toneladas, en la reparación naval; tomaremos un 15% menos de los valores que nos proporciona, para el caso de construcción.

2.4.5. Factor de Corrección del Algoritmo.

El resultado del algoritmo elaborado en Matlab, es el peso del casco, pero es necesario hacer una corrección del resultado obtenido a partir de este algoritmo; la curvatura de las diferentes zonas del buque, son interpoladas, y es primordial corregir el resultado para sacar el máximo provecho a los resultados obtenidos con el algoritmo. Para determinarlo se empleó el plug-in Orca3D del software Rhinoceros, para determinar el peso del modelo analizado en el algoritmo y luego comparar con el resultado obtenido del algoritmo de Matlab y establecer la diferencia que generan el programa debido a la interpolación que este realiza. El factor de corrección se obtiene a partir de la ecuación 2.4.

- Peso Inicial(Orca3D): 148.67 [tons]
- 15% adicional(por soldadura) 170.97 [tons]
- Peso Matlab: 127.37[tons]

$$\gamma = \frac{\text{Peso Inicial}}{\text{Peso Matlab}} \quad (2.5)$$

$$\gamma = 1.16$$

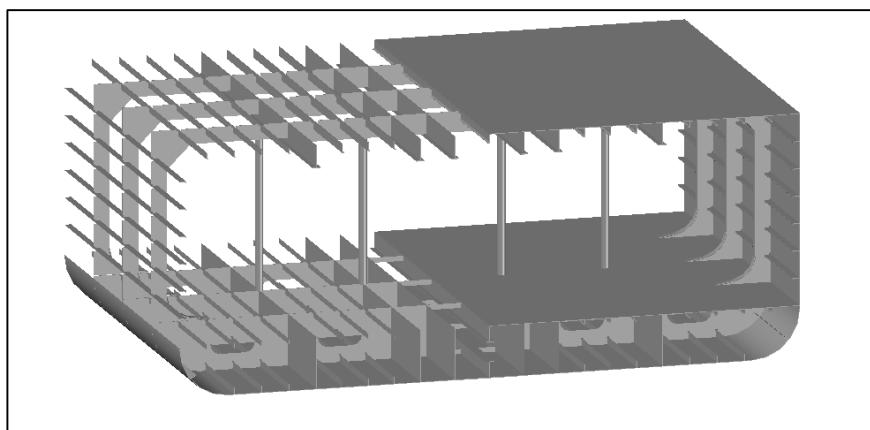


Figura 2.6.- Modelo 3D, compartimento 5 Optimizado.

2.5. Aplicación del Método de Optimización

Esta etapa es la fase de integración de los procesos realizados previamente en este capítulo, como lo son la optimización de formas, desarrollo de algoritmos, y optimización estructural. Se han integrado en un algoritmo central los algoritmos desarrollados y se ha elaborado una función o subrutina con un método de optimización específico, para que, dada la función objetivo de costos, proceda a través del método implementado, obtener las dimensiones óptimas para el diseño, que generen el menor costo de construcción con el menor peso, y cumpla con todos los requerimientos del armador y reglamentaciones establecidas. Con estos resultados, se procedió a realizar los cálculos para las nuevas dimensiones del buque; tanto de estabilidad, escantillado; resistencia, etc., empleando una de las opciones del algoritmo central, que utiliza los algoritmos desarrollados previamente, para el cálculo específico de cada uno de estos ítems.

2.5.1. Función Objetivo

La función objetivo es la función de costos, definida por el costo de construcción del buque; en función de las dimensiones principales. Con el algoritmo de optimización estructural se consiguió el costo de construcción del casco; ahora se ha implementado este algoritmo en el programa central desarrollado en Matlab; y se calculó el costo de construcción para cada uno de los prototipos de la matriz definida en la sección 2.2.2., tabla XXIV.

Los resultados del cálculo del costo de construcción de cada modelo, empleando el algoritmo de Matlab, son detallados en la tabla XXX.

No modelo	Eslora [m]	Manga [m]	Puntal [m]	Costo [g100]
1	56.19	9.33	2.85	\$ 2 '154 634.69
2	60.28	9.33	2.85	\$ 1 '953 447.07
3	64.96	9.33	2.85	\$ 1 '979 964.95
4	56.19	10.00	2.85	\$ 1 '866 849.60
5	60.28	10.00	2.85	\$ 1 '916 806.74
6	64.96	10.00	2.85	\$ 1 '964 966.29
7	56.19	10.61	2.85	\$ 1 '928 439.14
8	60.28	10.61	2.85	\$ 1 '961 914.61
9	64.96	10.61	2.85	\$ 2 '016 787.24
10	56.19	9.33	3.48	\$ 1 '857 536.74
11	60.28	9.33	3.48	\$ 1 '920 061.15
12	64.96	9.33	3.48	\$ 1 '928 895.99
13	56.19	10.00	3.48	\$ 1 '908 306.35
14	60.21	10.00	3.48	\$ 1 '988 902.62
15	64.96	10.00	3.48	\$ 2 '007 094.83
16	56.19	10.61	3.48	\$ 1 '969 895.88
17	60.28	10.61	3.48	\$ 2 '002 384.63
18	64.96	10.61	3.48	\$ 2 '058 915.77
19	56.19	9.33	4.20	\$ 1 '908 403.69
20	60.28	9.33	4.20	\$ 1 '954 574.29
21	64.96	9.33	4.20	\$ 1 '992 370.26
22	56.19	10.00	4.20	\$ 1 '959 173.30
23	60.28	10.00	4.20	\$ 2 '016 355.61
24	64.96	10.00	4.20	\$ 2 '060 873.15
25	56.19	10.61	4.20	\$ 1 '984 791.86
26	60.28	10.61	4.20	\$ 2 '061 368.02
27	64.96	10.61	4.20	\$ 2 '112 694.10

Tabla 32.- Costo de construcción G100, de cada prototipo.

Se empleó el método estadístico de la regresión polinómica multivariable; para determinar una función de costos, dependiente de las 3 variables de diseño que regirán el proceso de optimización, las dimensiones principales del buque, eslora, manga y en nuestro caso el calado. Utilizando los valores presentados en la tabla 26; obtenemos la función objetivo, descrita en la ecuación 2.5:

$$\begin{aligned}
 MC(L, B, D) = & 52790.61 * B^2 + 59884.23 * D^2 - 1815482.15 * D - \\
 & 1923160.86 * B + 92618.557 * B * D - 117682.33 * L + 8172.00 * L * D + \\
 & 9660.60 * L * B + 17823326.36
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

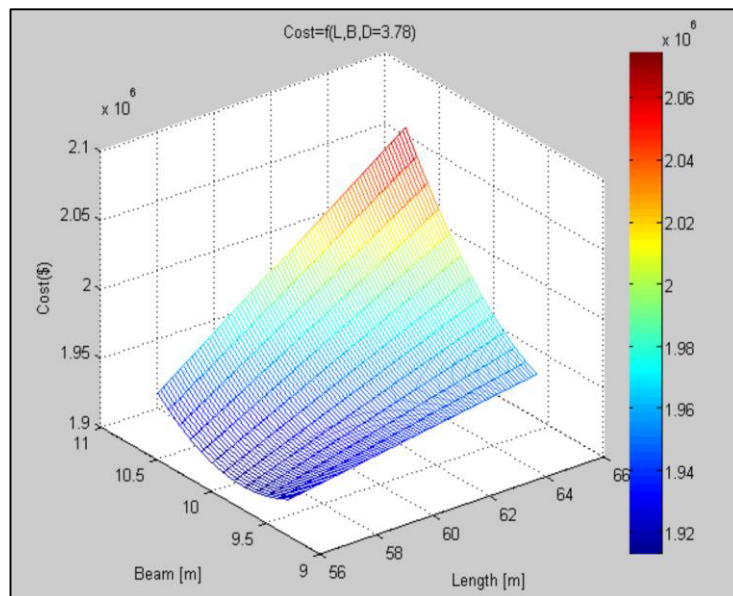


Gráfico 2.1.- Función Objetivo, para un valor fijo de calado.

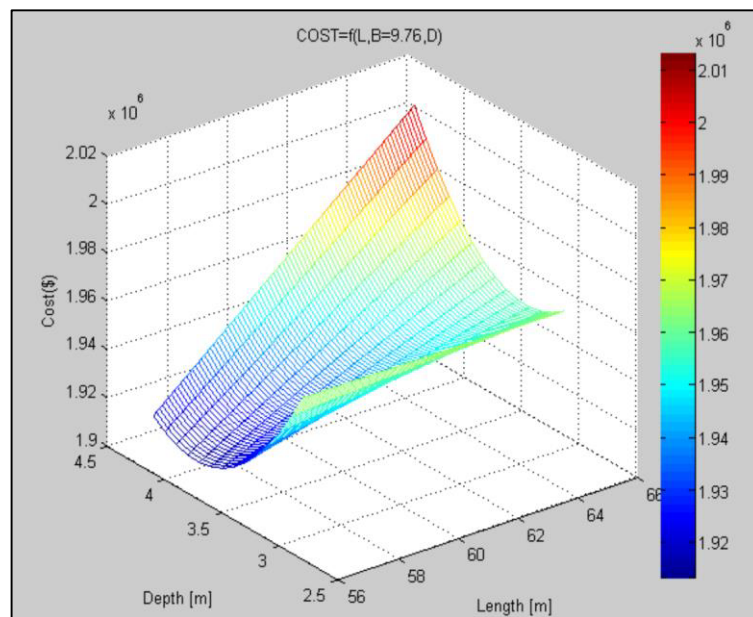


Gráfico 2.2.- Función Objetivo, para un valor fijo de manga.

2.5.2. Algoritmo Genético

Un algoritmo genético (GA) es un método para resolver ambos problemas de optimización: con restricciones y sin restricciones, sobre la base de un proceso de selección natural que imita la evolución biológica. El algoritmo modifica repetidamente una población de soluciones individuales. En cada paso, el algoritmo genético selecciona al azar a los individuos de la población actual y los utiliza como padres para producir los niños para la próxima generación. En generaciones sucesivas, la población "evoluciona" hacia una solución óptima.

2.5.3. Proceso de Optimización

Se integra en el programa central, el algoritmo con el método de optimización del GA; para determinar el mínimo de la función objetivo definida por el proceso de regresión; a continuación, se muestra el diagrama de flujo (DFD), para la opción de optimización del programa central:

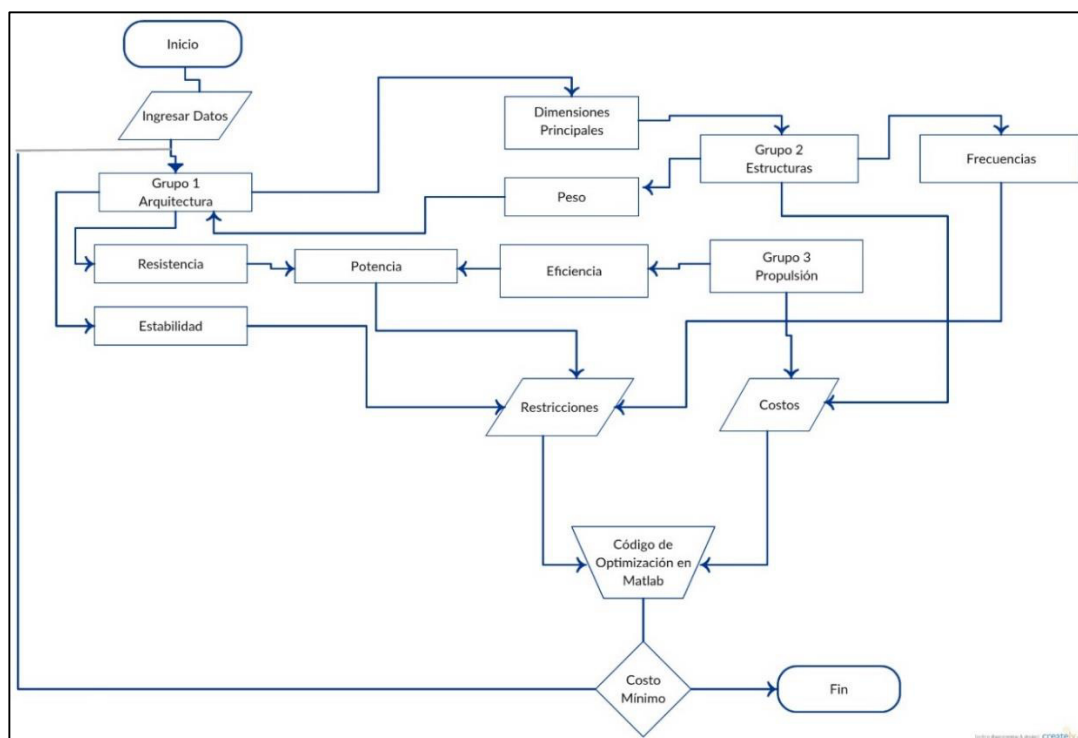


Figura 2.7.- Proceso de Optimización.

2.5.4. Resultados de Optimización

Como resultado del proceso de optimización se ha obtenido los valores de las dimensiones principales, eslora, manga y calado; que generan el mínimo costo de producción, del grupo tecnológico 100; a seguir se detallan los valores obtenidos de la optimización y se los compara con los valores obtenidos en la etapa del diseño preliminar:

	Preliminar	Definitivo	Diferencia
Eslora	61.21	56.19	8%
Manga	10.38	9.76	6%
Puntal	3.45	3.78	10%
Calado	2.19	2.56	17%
Desplazamiento	1048.99	901.60	14%
Coef. Block	0.74	0.67	8%

Tabla 33.- Resultados de la optimización y comparación.

El proyecto de buque es un proceso cíclico; como hemos visto, el proceso de diseño puede dividirse en fases, en función de la precisión de la definición del proyecto. Para conseguir los objetivos de cada una de esas fases, es necesario desarrollar los diferentes aspectos que componen el proyecto de un buque. En algunos casos, el proceso iterativo puede sustituirse por un análisis de diferentes alternativas. Este tipo de actuación se lleva a cabo en múltiples ocasiones, cuando la complejidad del diseño imposibilita un desarrollo iterativo. Las conclusiones de este análisis llevarán a elegir la opción óptima de entre las consideradas [1]. Ahora con la opción, óptima se procede a desarrollar los cálculos básicos del buque para establecer el diseño definitivo.

2.6. Análisis y Comparación de Resultados

Se presentan los resultados del diseño definitivo, desarrollado a partir de los valores obtenidos en el proceso de optimización; y se lo compara con los resultados obtenidos previamente en el diseño preliminar:

2.6.1. Líneas de forma

Las líneas de formas es uno de los rasgos más notables en cambio en el proceso de optimización, partimos de las formas de un prototipo de la segunda guerra mundial; y luego para la optimización se plantearon formas propias y fueron validadas para su uso.

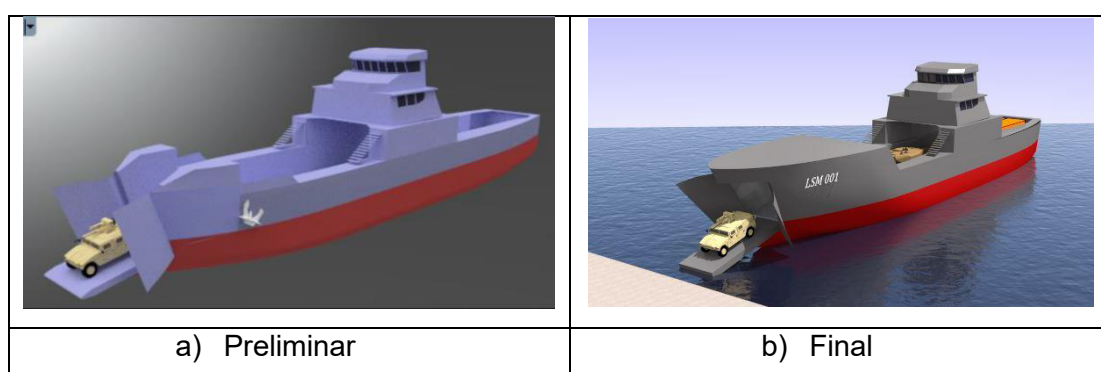
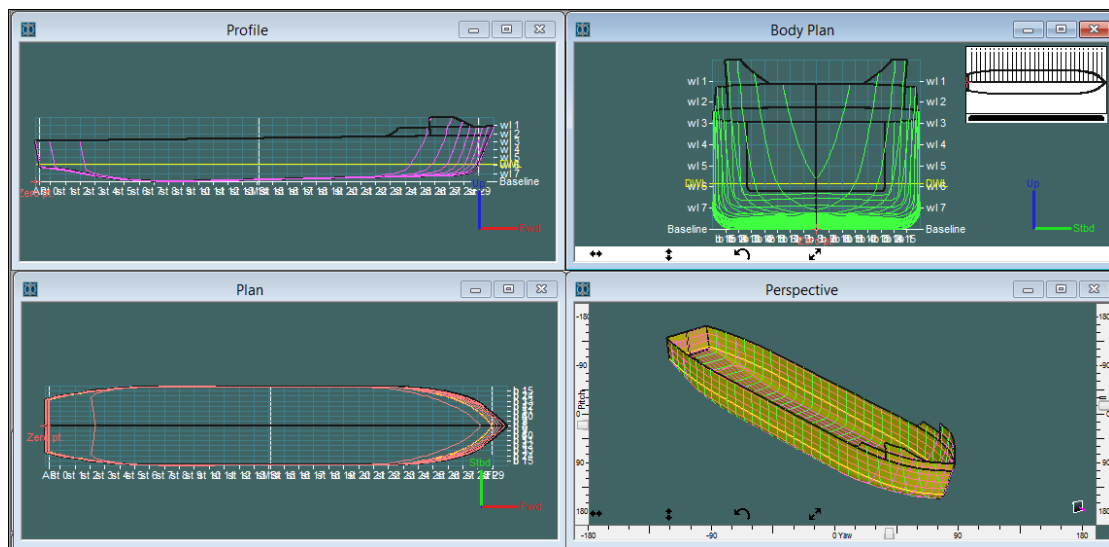
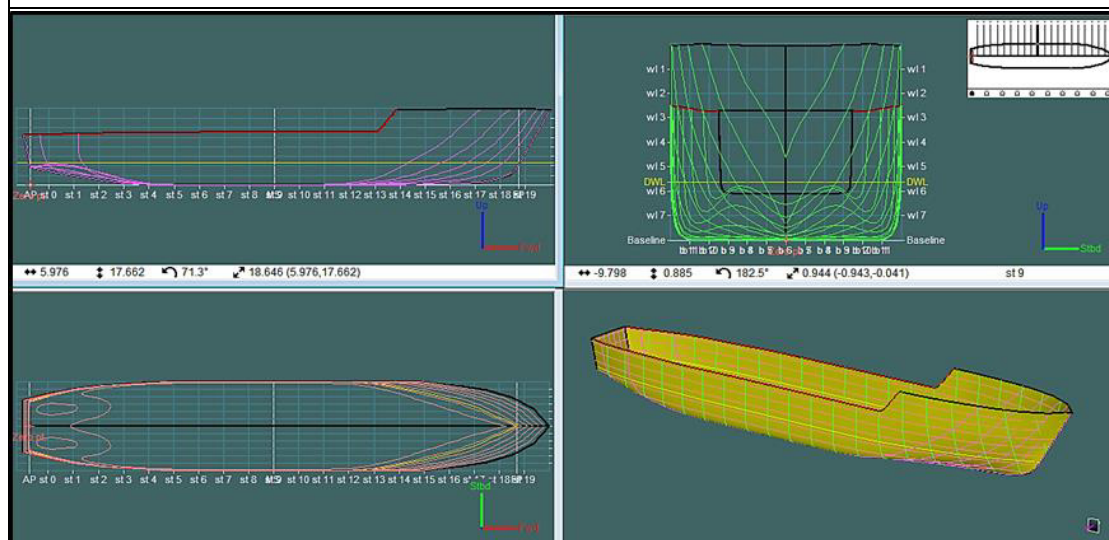


Figura 2.8.- Formas: a) preliminar y b) final.



a) Líneas de forma preliminares.



b) Líneas de forma finales

Figura 2.9.- Comparación de líneas de forma. a) Preliminares y b) Finales

2.6.2. Estabilidad

Con el desarrollo de algoritmos de Matlab para la estabilidad se han obtenido los siguientes resultados para el diseño definitivo:

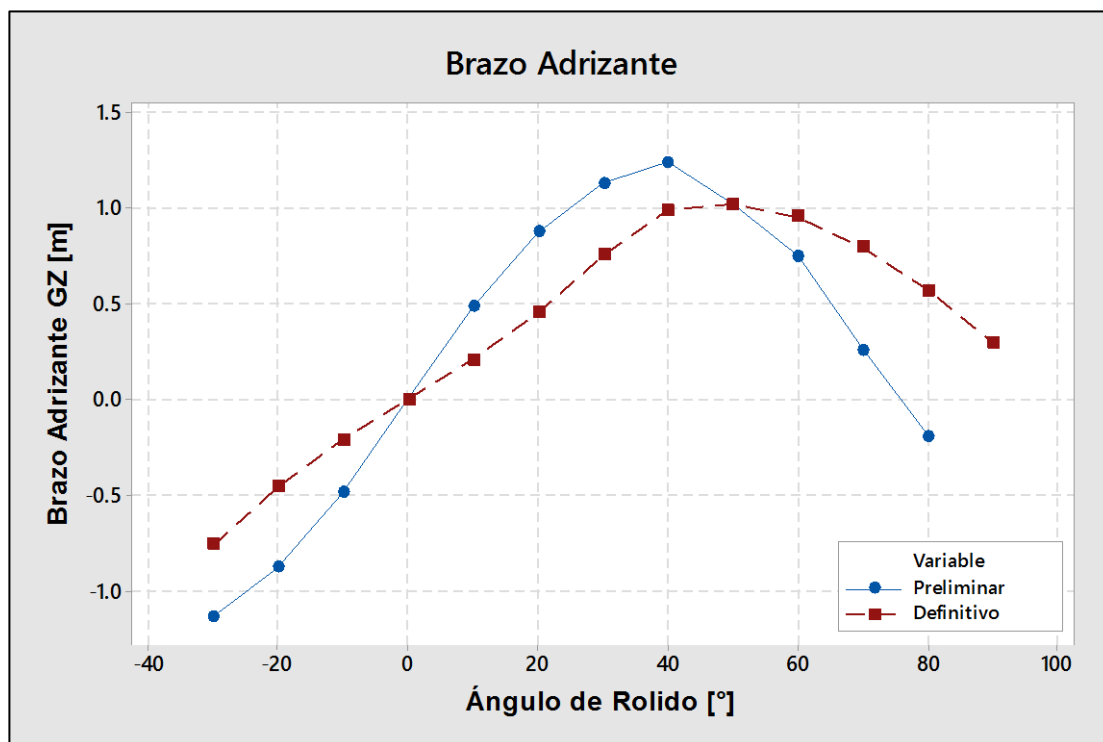


Gráfico 2.3.- Brazos adrizante vs Angulo de Rolido

Se observa que el modelo final cumple con todos los requisitos de estabilidad (OMI). En la figura anterior, se presenta el brazo adrizante del diseño preliminar (línea azul) y el diseño final (línea roja).

También se presenta la aceleración que actúa sobre un miembro de la tripulación debido a la variación en el movimiento de la nave, y el período de equilibrio. En la tabla XXXII se comparan los resultados, dados por la subrutina de Matlab: Estabilidad, del diseño preliminar y final del buque de desembarco.

Ítem	Preliminar	Definitivo
Período de Roldo [seg]	1.172	4.87
Lw1-GZ por acción del viento [m]	0.072	0.059
Lw2- GZ por acción continua del viento [m]	0.109	0.088
Θ 1- Angulo de balance por olas [deg]	1.289	0.049
Θ 2- Angulo de escora [deg]	32.757	25.325

Tabla 34.- Estabilidad criterios por viento. Preliminar y final.

2.6.3. Estructuras

Después de la optimización del buque, con los algoritmos desarrollados previamente en Matlab; los siguientes resultados se obtienen para los espaciamentos, refuerzos y espesores, que se comparan con el diseño preliminar del buque; Estos resultados se detallan en las siguientes tablas XXXIII, XXXIV y XXXV.

	Espaciamiento entre elementos estructurales							
	<u>Diseño preliminar</u>				<u>Diseño final</u>			
Fondo[mm]	0.3L(Pr)	0.4L(Md)	0.3L(Pp)	N° Ref.	0.3L(Pr)	0.4L(Md)	0.3L(Pp)	N° Ref.
Longitudinal Girder	1500	1710	1710		1435	1596	1596	
Longitudinal Stiffeners	500	570	570	2	358	398	398	3
Floors	1500	1710	1710		1435	1596	1596	
Transversal Stiffener	-	570	570	2	-	-	398	3
Costado [mm]								
Longitudinal Stiffeners	500	570	570	4	425	425	425	6
Web Frames	1500	1710	1710		1435	1596	1596	
Transversal Stiffener	-	-	570	2	-	-	398	3
Cubierta [mm]								
Longitudinal Girder	1000	1710	1710		1435	1596	1596	
Longitudinal Stiffeners	500	570	570	2	358	398	398	3
Beams	1000	1710	1710		1435	1596	1596	
Transversal Stiffener	-	-	570	2	-	-	398	3

Tabla 35.- Espaciamiento de elementos estructurales. Diseño Preliminar y Final.

Escantillonado de Estructuras						
	Diseño Preliminar			Diseño Final		
Fondo [mm]	0.3L(Pr)	0.4L(Md.)	0.3L(Pp)	0.3L(Pr)	0.4L(Md)	0.3L(Pp)
Vagras	10[mm]	10[mm]	10[mm]	9[mm]	9[mm]	9[mm]
Refuerzos Long.	L 100x75x8	L 100x75x8	L 100x75x8	FB 110x10	FB 110x10	FB 110x10
Varengas	9[mm]	9[mm]	9[mm]	9[mm]	9[mm]	9[mm]
Refuerzos Transv.	-	L 100x75x8	L 100x75x8	-	FB 90x10	FB 90x10
Doble fondo [mm]						
Refuerzos Long.	-	L 100x75x8	-	-	HP 80x6	-
Costado [mm]						
Refuerzos Long.	L 100x75x8	L 100x75x8	L 100x75x8	HP 60x6	HP 80x6	HP 80x6
Bulárcamas	L 200x100x8	L 200x100x8	L 200x100x8	L 200x100x10	L 200x100x10	L 200x100x10
Refuerzos Transv.	-	-	L 100x75x8	-	-	FB 90x10
Cubierta [mm]						
Esloras	T 350x100x8	T 350x100x8	T 350x100x8	L 350x10.5x120x16	L 350x10.5x120x16	L 350x10.5x120x16
Refuerzos Long.	L 100x75x8	L 100x75x8	L 100x75x8	HP 140x7	HP 140x7	HP 140x7
Baos	L 200x100x9	L 200x100x9	L 200x100x9	L 250x10x100x14	L 250x10x100x14	L 250x10x100x14
Refuerzos Transv.	-	-	L 100x75x8	-	-	FB 110x10
Puntales [mm]	127x8	127x8	127x8	127x4	127x4	127x4

Tabla 36.- Escantillonado de Estructuras. Diseño Preliminar y Final.

	Espesores de estructuras [mm]					
	Diseño Preliminar			Diseño Final		
Fondo [mm]	0.3L(Pr.)	0.4L(Md.)	0.3L(Pp.)	0.3L(Pr.)	0.4L(Md.)	0.3L(Pp.)
Quilla	12	12	12	11	11	11
Fondo	9	9	9	9	9	9
Pantoque	-	9	9	-	9	9
Doble-fondo [mm]						
Tapa del doble-fondo	-	8	-	-	8	-
Costado [mm]						
Costados	8	8	8	8	8	8
Cubierta [mm]						
Cubierta(Carga Rodada)	10	10	10	9	9	9

Tabla 37.- Espesores de estructuras. Diseño preliminar y Final.

Como se puede evidenciar, existe un cambio notorio en el escantillonado general del buque final con respecto al diseño preliminar.

CAPITULO 3

3. VALIDACIÓN ESTRUCTURAL DEL BUQUE USANDO EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

3.1. Alcance de la validación estructural

Realizada la optimización del diseño; y la respectiva comparación de los resultados con el diseño preliminar; se procede a la validación estructural de la distribución y los escantillones obtenidos. La validación estructural se lleva a cabo verificando como primera parte, el módulo seccional de la cuaderna maestra para el diseño optimizado y luego el análisis por el método de elementos finitos para el bloque de sala de máquinas del buque, que incluye la superestructura; y el bloque de proa, que incluye las compuertas y rampa, para las labores de desembarco. La metodología a emplear para el cálculo por elementos finitos, se presenta en el gráfico 15:

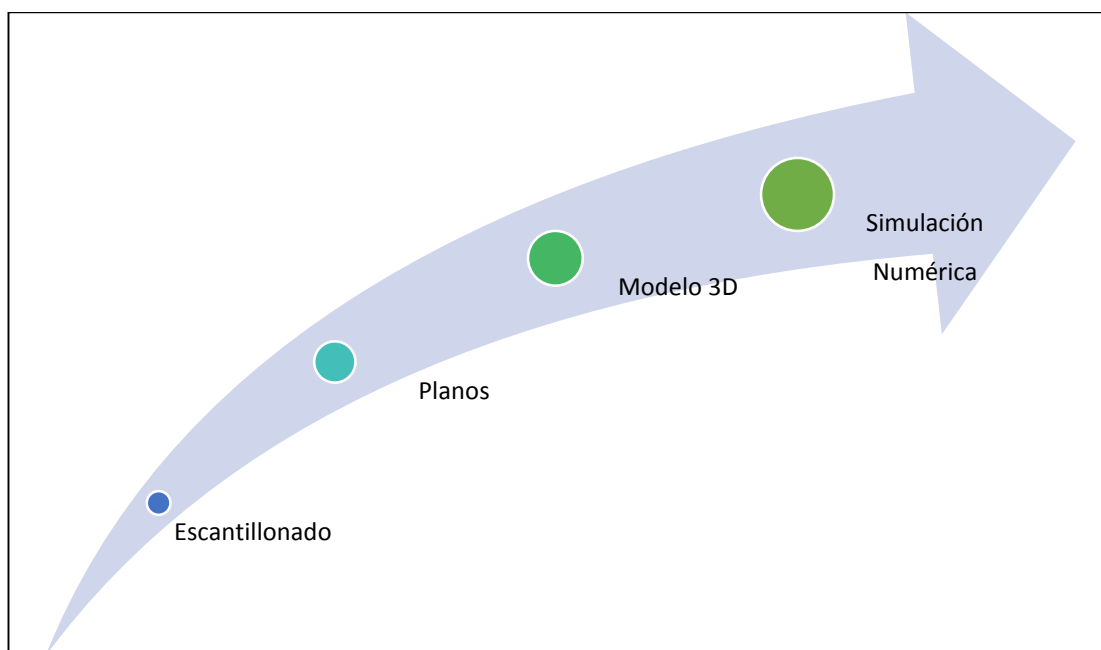


Gráfico 3. 1.- Metodología para la validación estructural.

A partir del escantillonado obtenido del proceso de optimización; para la primera parte de la verificación estructural; analizando el módulo seccional de la cuaderna maestra; que cumpla lo requerido por la regla; empleando el cálculo en hoja de Excel y el programa Poseidon 16.0 DNV-GL. Luego de verificar el módulo seccional; y el correspondiente escantillonado; se realizará el cálculo local de los escantillones de la sala de máquina; y el sector de proa, dentro del $0.3L$, para posteriormente emplear el método de elementos finitos para analizar las deformaciones y la frecuencia natural de los bloques. Para ello se realizarán los planos del bloque de la sala de máquinas con los niveles de superestructura incluidos, y el bloque de proa; posteriormente, se realiza el modelado del bloque en 3 dimensiones, en el programa CAD, Solidworks. para la posterior simulación, en Ansys-Workbench.

3.2. Validación del escantillonado global

Para validar los resultados obtenidos, se usó el programa de cálculo estructural de buques Poseidon 16.0, de la Sociedad de Clasificación DNV-GL. Ingresando los resultados obtenidos en el proceso de optimización; para el bloque número 5 de habitabilidad.

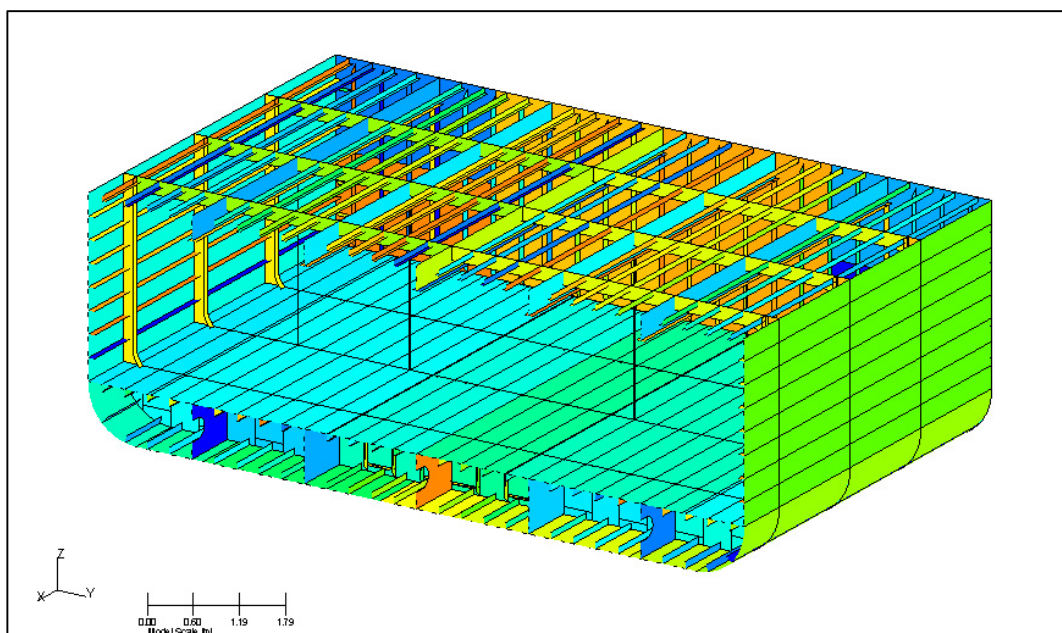


Figura 3.1.- Modelado del bloque en Poseidon 16.0

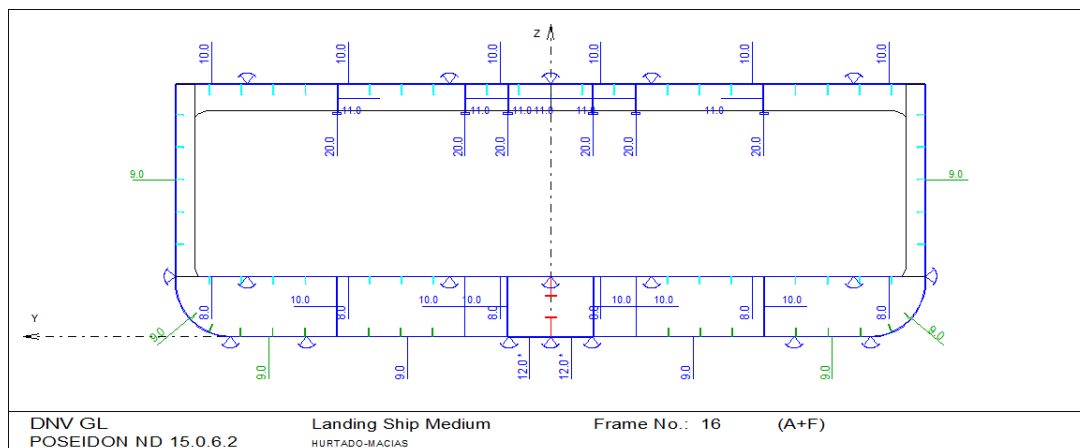


Figura 3.2.- Sección Transversal; espesores y refuerzos en Poseidon.

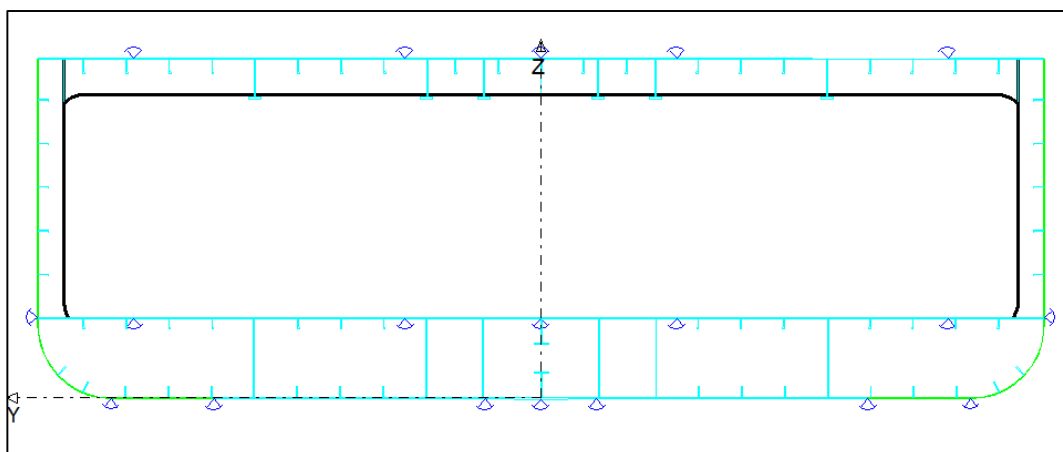


Figura 3.3.- Validación de espesores y refuerzos en Poseidon.

3.2.1. Resistencia Longitudinal

Las fuerzas a las que está sometido el buque; son principalmente el producto las cargas que va a transportar; la distribución de su propio peso, la acción de las olas y el viento; y las fuerzas inerciales que aparecen debido a los movimientos del buque en el mar. Los efectos de estas fuerzas en la estructura son analizados desde dos puntos de vista:

- Global, la viga como buque, el cual debe resistir los esfuerzos verticales y horizontales; y los momentos flectores y de torsión.
- Local, enfocado en las cargas locales las cuales deben ser resistidos por los elementos.

El nivel local se determinó con los escantillones de cada uno de los elementos en el diseño preliminar y la posterior optimización. Ahora bien, en esta sección, se comprobará los requisitos mínimos de resistencia longitudinal (alcance global). Verificación de que el nuevo escantillonado y el nuevo centro del barco determinados por el algoritmo de optimización a través de Matlab, cumplen con estos requisitos.

3.2.2. Los momentos de flexión debido a las olas

Las reglas de la Sociedad de Clasificación DNV, para buques con eslora inferior a 100 metros, establece en las ecuaciones 3.1 y 3.2, para la distribución de los momentos de flexión debido a las olas (Pt.3 Ch.2 Sec.4 Resistencia longitudinal.):

$$M_{W_{\text{Arrufo}}} = 0.11 C_W L^2 B (C_B + 0.7) \text{ [kNm]} \quad (3.1)$$

$$M_{W_{\text{Quebranto}}} = 0.19 C_W L^2 B C_B \text{ [kNm]} \quad (3.2)$$

Donde:

$$C_W = 0,0792 * L$$

Por lo tanto:

Momentos Flectores debido a las olas		
Parámetros	Valor	Unidad
L	52.34	[m]
B	9.76	[m]
C_w	4.14	-
C_B	0.68	-
M_{W_{Arrufo}}	16821.83	[kN.m]
M_{W_{Quebranto}}	14317.39	[kN.m]

Tabla 38.- Momentos flectores debido a las olas.

Ahora la curva para el máximo momento flector debido a las olas es presentada en el gráfico 16:

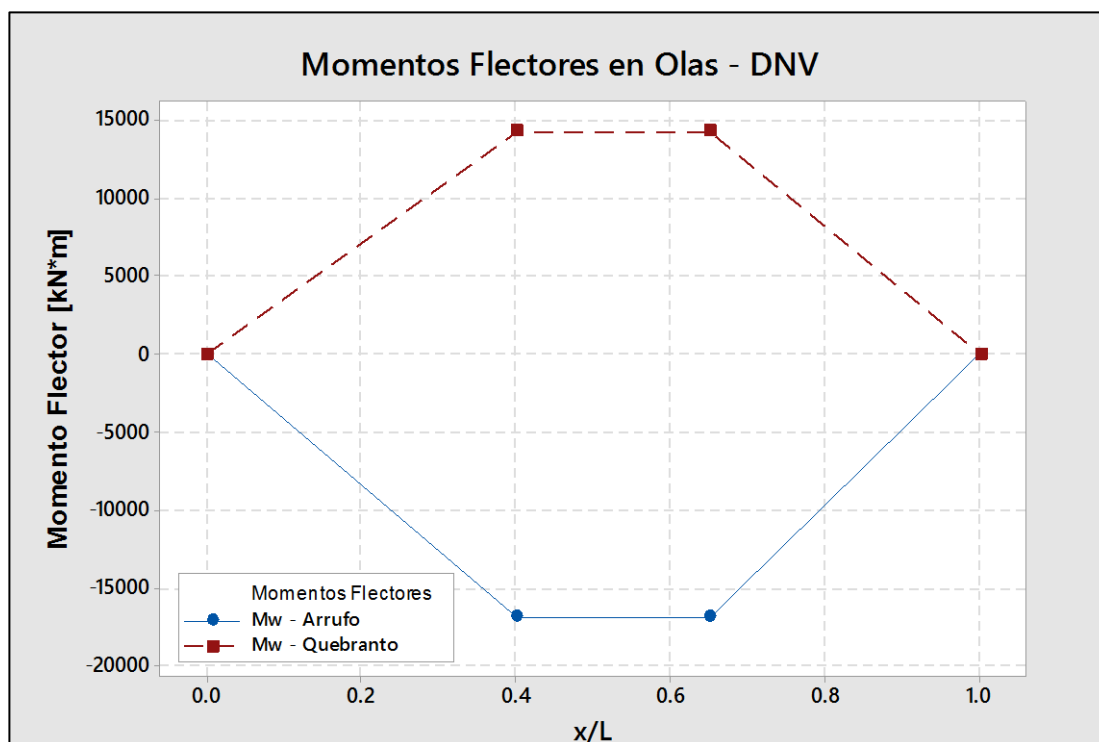


Gráfico 3. 2.- Momentos flectores máximos por olas, Sociedad DNV.

3.2.3. Mínimos requerimientos para el esfuerzo longitudinal

El módulo seccional requerido entre el 0.4L alrededor de la sección media, sobre el eje neutro transversal, basado en la condición de carga y lastre dada por las reglas es definido en la Pt.3 Ch.2 Sec.4-C101 y expresado en la ecuación 3.3

$$Z = \frac{M_S + M_W}{175} 10^3 \quad (\text{cm}^3) \quad (3.3)$$

Este es el módulo seccional requerido, y M_S y M_W son los momentos flectores en aguas tranquilas y olas respectivamente. El momento flector en aguas tranquilas es definido en las Pt.3 Ch.2 Sec.4-B101 de las reglas de DNV. Y el mínimo valor del módulo sobre el eje neutro transversal, no debe ser menor a lo establecido por la ecuación 3.4:

$$Z_o = (5.7 + 0.22L)L^2 B (C_B + 0.7) \quad [\text{cm}^3] \quad (3.4)$$

Estos parámetros se definen en la tabla XXXVII:

Mínimo Módulo Seccional		
Parámetros	Valor	Unidad
L	52.34	[m]
B	9.76	[m]
C _B	0.68	-
M _s	10040.58	[kN.m]
Z _{min}	153499.48	[cm ³]
Z ₀	139188.415	[cm ³]

Tabla 39.- Mínimo módulo seccional requerido.

Revisando los requerimientos de la sección media

Para determinar el valor del módulo de la sección media; se determinó para cada elemento longitudinal continuo dentro de $0.4 L$, su área, y su momento de inercia; con respecto al eje neutral inicial asumido, tomado horizontal y pasando a través de la parte más alta de la quilla.

En los cálculos se consideró los siguientes tópicos:

- Área seccional transversal de cada elemento estructural: A_i .
- Distancia del centro de gravedad del elemento al eje neutral: y_i .
- Los productos: $A_i y_i$; $A_i y_i^2$
- Los momentos de inercia de cada elemento al eje horizontal a través del centro de gravedad: I_i .
- El momento de inercia de cada elemento desde el eje inicial neutral:
 $I_i = I_{oi} + A_i y_i^2$.

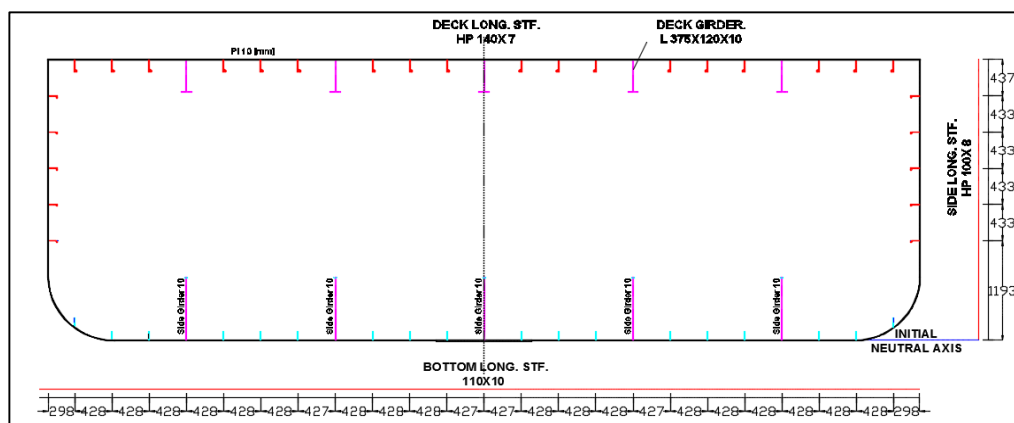


Figura 3.4.- Sección considerada en el cálculo del módulo seccional.

Y para estos valores se obtuvieron los siguientes resultados:

- Área de la Sección media
- Distancia del eje neutral al eje neutral inicial
- Momento de inercia de la sección sobre el eje neutral.
- Módulo seccional de la sección media.

Los resultados son detallados en la tabla XXXVIII:

Módulo de la sección Media		
Área de la sección media	2.96E+05	[mm ²]
Eje Neutral	1.40E+03	[mm]
Momento de Inercia con respecto al eje neutral	6.66E+11	[mm ⁴]
Módulo seccional del buque	4.15E+08	[mm ³]
	4.15E+05	[cm ³]

Tabla 40.- Módulo de la sección media.

Comparando, el módulo seccional obtenido para la sección media del proyecto: 4.15×10^5 [cm³]; versus el mínimo módulo seccional requerido por la regla, 1.39×10^5 [cm³], se observa que el módulo seccional es mayor al mínimo requerido; por lo tanto, los escantillones del buque cumplen con los requisitos mínimos requeridos por la regla de clasificación para buques menores a 90 metros de eslora de la sociedad de clasificación DNV.

3.2.4. Verificación del máximo momento flector permisible en el casco

De la teoría de vigas se obtiene la fórmula fundamental para el momento, donde se obtiene cada esfuerzo en tensión o compresión, en las fibras más alejadas del eje neutro.

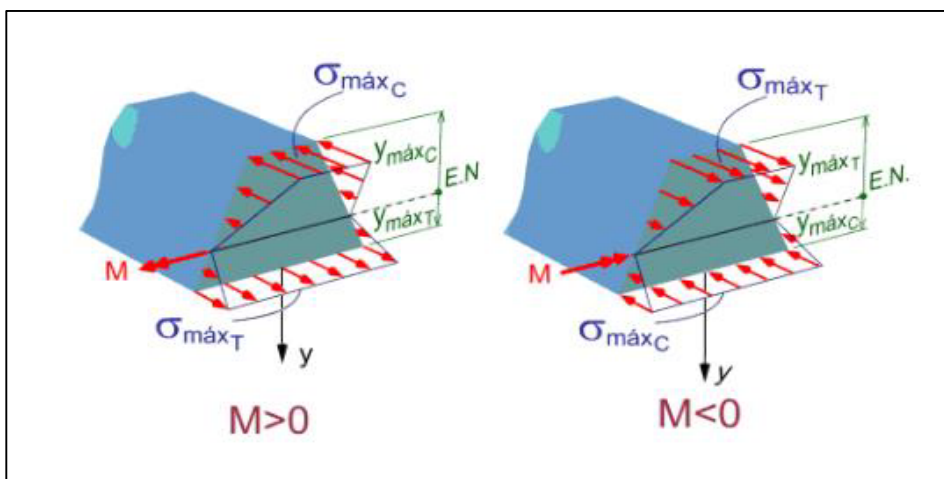


Figura 3.5.- Convención de signos [16].

De acuerdo a la Sociedad de Clasificación, Lloyd's Register, la resistencia longitudinal del buque tiene que satisfacer los siguientes criterios para las condiciones de arrufo y quebranto:

$$\sigma_B < \sigma_p \quad (3.5)$$

$$\sigma_D < \sigma_p \quad (3.6)$$

$$\sigma_{WS} < f_{\sigma_{ws}} \sigma_{0(MS)} \quad (3.7)$$

Donde: $f_{\sigma_{hg}} = 0,75$

Módulo Seccional en la cubierta y fondo

El módulo seccional a la cubierta y fondo, es obtenido dividiendo el momento de inercia I , para la distancia desde el eje neutro a la línea moldeada de la cubierta, en el costado o la línea base respectivamente.

Parámetros para el esfuerzo longitudinal		
$f_{\sigma_{hg}}$ = coeficiente límite del esfuerzo de flexión en el casco	0.75	--
σ_0 = esfuerzo admisible mínimo del material	235	[n/mm ²]
f_{hts} = factor de corrección para aceros de alta tensión	1.00	--
$f_{\sigma_{ws}}$ = coeficiente de esfuerzo en el límite de trabajo	1.2	--
$\sigma_{0(MS)}$ = esfuerzo de fluencia, en n/mm ² , para acero dulce	235	[n/mm ²]
$M_{R\ hog}$ = momento flector de la regla, en quebranto	24357.97	[kn.m]
$M_{R\ sag}$ = momento flector de la regla, en arrufo	26862.40	[kn.m]
Mw_{hog} = momento en quebranto	14317.39	[kn.m]
Mw_{sag} = momento en arrufo	16821.83	[kn.m]
Z_D = módulo seccional en cubierta	0.41	[m ³]
Z_B = módulo seccional en fondo	0.47	[m ³]

Tabla 41.- Parámetros para el cálculo del esfuerzo longitudinal.

Entonces los resultados correspondientes a los componentes de los esfuerzos longitudinales son detallados en la tabla XLI:

[N/mm ²]	σ_D	σ_B	σ_{ws}
Límite	176.25	176.25	282
Arrufo	65.35	56.66	75.76
Quebranto	59.26	51.38	

Tabla 42.-Esfuerzos calculados para la sección media del buque.

Entonces podemos concluir que el esfuerzo en la sección media cumple con los requerimientos establecidos por la regla, todos los esfuerzos están por debajo del valor del esfuerzo permisible, dado por la Sociedad de Clasificación.

3.3. Escantillado Local

La evaluación de la resistencia local se puede interpretar como el análisis estructural de una parte limitada de la estructura sometida a las cargas aplicadas directamente en ella, y también el análisis de una parte limitada de la estructura o lo que sucede en un detalle estructural bien definido cuando toda la estructura del buque se somete a los efectos de la carga global. [7]

En el escantillado local, abarcará 3 zonas de especial interés para el análisis por el método de elementos finitos:

- Bases de máquinas
- Superestructura
- Compuertas de Proa

Se empleará, las reglas de clasificación de la Sociedad DNV-GL; para buques menores a 90 metros de eslora; usando el software de esta Sociedad de Clasificación: Poseidon 16.0.-DNV GL

3.3.1. Bases de Máquinas

El escantillado de las bases de máquinas se lo realizó empleando las reglas de la sociedad Parte 3 Capítulo 1 Sección 14, donde tenemos:

El espesor de las carlingas sobre el doble fondo para motores de combustión interna de 4 tiempos no debe ser menor a lo indicado por la ecuación 3.8:

$$t = \left[\frac{P}{n \cdot e_1 \cdot c} + \frac{G}{280} \right] \cdot \frac{3.75}{l_m} \text{ [mm]} \quad (3.8)$$

El espesor de las carlingas sobre el doble fondo para reductores y generadores no debe ser menor a

$$t = \sqrt{\frac{P}{200}} + 2 \text{ [mm]} \quad (3.9)$$

Pero no menor a $0.4 \cdot t_p$; donde t_p es el espesor de la base de las máquinas establecido por la ecuación 3.10:

$$t_p = 0.9 \cdot d \text{ [mm]} \quad (3.10)$$

Donde d es el diámetro de los pernos para las bases de las máquinas en [mm].
Y el área seccional de las planchas de las bases es no menor a:

$$At = \frac{P}{15} + 30 \text{ [cm}^2\text{]} \quad (3.11)$$

Esto para potencias de las máquinas menor o igual a 750 kW. Para mayores detalles sobre las formulaciones se puede revisar la sección de la regla de clasificación, anteriormente citada.

Los resultados obtenidos para el escantillonado de las bases de máquinas se presentan en la tabla XLII:

Bases de Máquina		
Motores Principales		
P	745.7	[kW]
d	22.2	[mm]
t	15	[mm]
tp	30	[mm]
At	79.5	[cm ²]
l	265	[mm]
Reductor		
d	26	[mm]
t	15	[mm]
tp	30	[mm]
l	265	[mm]

Tabla 43.- Escantillonado de las bases de máquinas.

3.3.2. Superestructura

Para esta sección, hacemos uso del módulo “Rules” del programa Poseidon para determinar el escantillón de los diferentes niveles de la superestructura; denominados en el orden que se presenta a continuación:

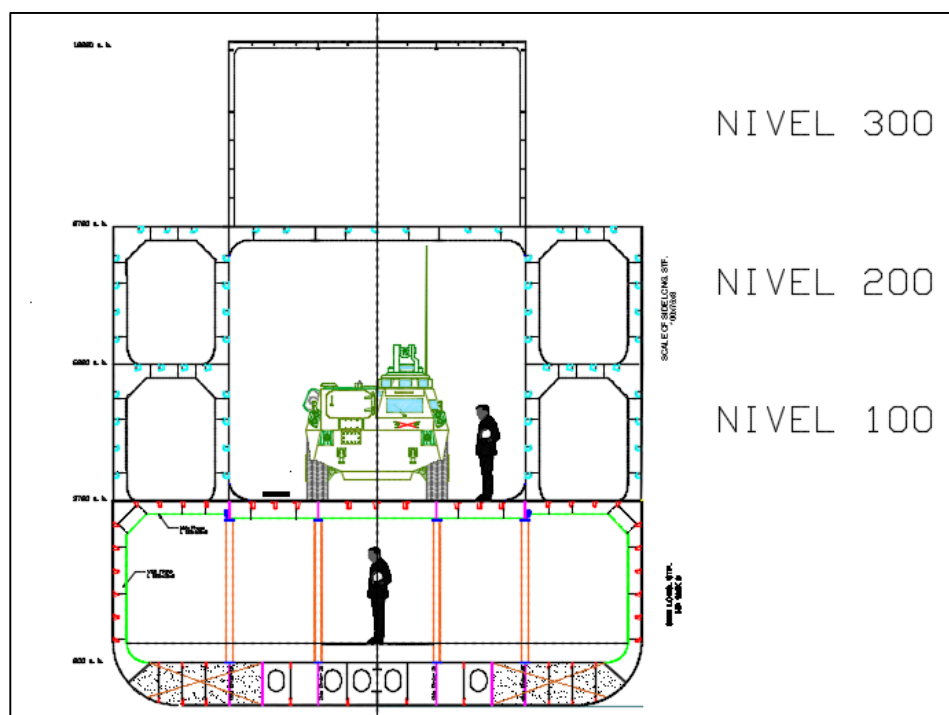


Figura 3.6.- Niveles de la superestructura.

En la tabla XLIV, se presentan los resultados del escantillonado para cada uno de los niveles de la superestructura

Nivel 300		
Cubierta de Soleo		
Refuerzos longitudinales	FB	50x5
Vigas Longitudinales	T	130x65x10
Refuerzos Transversales	L	100x75x7
Costados		
Refuerzos longitudinales	FB	60x4
Refuerzos Transversales	L	100x75x9
Nivel 200		
Cubierta		
Refuerzos longitudinales	FB	60x6
Vigas Longitudinales	T	150x75x9
Refuerzos Transversales	L	150x75x9
Costados		
Refuerzos longitudinales	FB	60x8
Refuerzos Transversales	L	150x75x9
Nivel 100		
Cubierta		
Refuerzos longitudinales	FB	60x6
Vigas Longitudinales	T	150x75x9
Refuerzos Transversales	L	150x75x9
Costados		
Refuerzos longitudinales	FB	60x8
Refuerzos Transversales	L	150x75x9

Tabla 44.- Resultado del escantillonado de la Superestructura.

3.3.3. Compuertas de Proa

Para el tipo de puertas de proa empleado, se toma la definición otorgada por las IACS:

Puertas de abertura lateral (Side-opening doors). - Abiertas, ya sea girando hacia el exterior alrededor de un eje vertical a través de dos o más bisagras situados cerca de los bordes exteriores, o por traslación horizontal a través de la vinculación de brazos dispuestos con los accesorios articulado a la puerta y al buque. Se prevé que las puertas de abertura lateral están dispuestas en pares. [12]

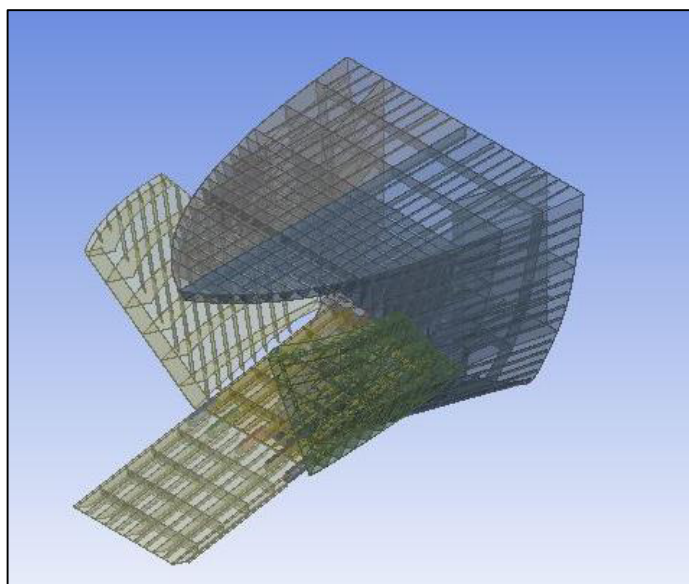


Figura 3.7.- Modelo 3D del bloque de proa.

Para el escantillonado de Proa y de las compuertas; las Sociedades de Clasificación, indican que se debe mantener los escantillones de las áreas circundantes; para nuestro caso, el cambio que se empleará es la distribución estructural en este sector; un cuadernaje transversal y se mantienen los escantillones de la zona 0.3L, calculados y detallados en el capítulo 2.

Para diseñar las rampas para desembarco, se han identificado los siguientes elementos:

- Compuertas
- Brazos
- Rampas
- Goznes
- Uniones
- Pernos
- Cilindros hidráulicos

Para dimensionar estos elementos; se emplearon las recomendaciones de las IACS [13], y la referencia [14]. En el anexo H, se detallan los planos de las dimensiones de los elementos mencionados. Estas dimensiones serán probadas en el análisis de elementos finitos.

3.4. Planos de los bloques

Terminado el escantillonado de las zonas a analizar; se elaboró los planos de los bloques; donde se han integrado en el bloque de sala de máquinas con la superestructura y el bloque de proa con cada uno de los elementos para la maniobra de desembarco. El conjunto de planos de los bloques se presenta en el anexo H

3.5. Análisis por el Método de Elementos Finitos

Simulaciones numéricas usando modelos 3D de elementos finitos; es uno de los más eficaces métodos para predecir la respuesta del buque. La tendencia es hacia una descripción de la estructura, un modelo y varias aplicaciones. La base del modelado será re-usado y adaptado, para mejorarlo sucesivamente. El principal objetivo del uso del análisis por el Método de Elementos Finitos (FEM por sus siglas en inglés), en el análisis estructural es obtener un cálculo más preciso de la respuesta del esfuerzo de la estructura del casco y las sub-unidades que lo conforman, tales como el planchaje, mamparos, cuadernas, palmejares, baos, esloras, vagras, varengas y demás refuerzos estructurales.

3.5.1. Metodología

La primera parte del análisis se dedica el análisis estructural estático; necesario para encontrar la fuerza global sobre la estructura. Para ello además de las cargas hidrostáticas e hidrodinámicas del exterior, las cargas locales

debido a los tanques, cargamento; etc., también se consideran. En el dominio del análisis dinámico, el análisis de vibración se realiza para comprobar si la estructura es dinámicamente estable o no. Para evitar posibles resonancias en la estructura, se ha comparado la frecuencia de la estructura con la frecuencia del aspa de la hélice.

Proceso

El proceso para el desarrollo del análisis de elementos finitos consiste en la elaboración de un modelo en 3 dimensiones, basado en los escantillones y planos determinados en el cálculo estructural. Posteriormente para el análisis de elementos finitos, se ha empleado el programa Ansys-Workbench.

El proceso seguido en el programa consiste en usar primero el módulo de geometría para aplicar la simetría a los modelos, para optimizar los recursos computacionales, luego realizar el mallado o “meshing” del modelo, y finalmente en el módulo “Static Structural”, la aplicación correspondiente de cargas y condiciones de frontera; estableciendo los parámetros a analizar, como lo son la deformación total y los esfuerzos de flexión, cortante y equivalente (Von Misses).

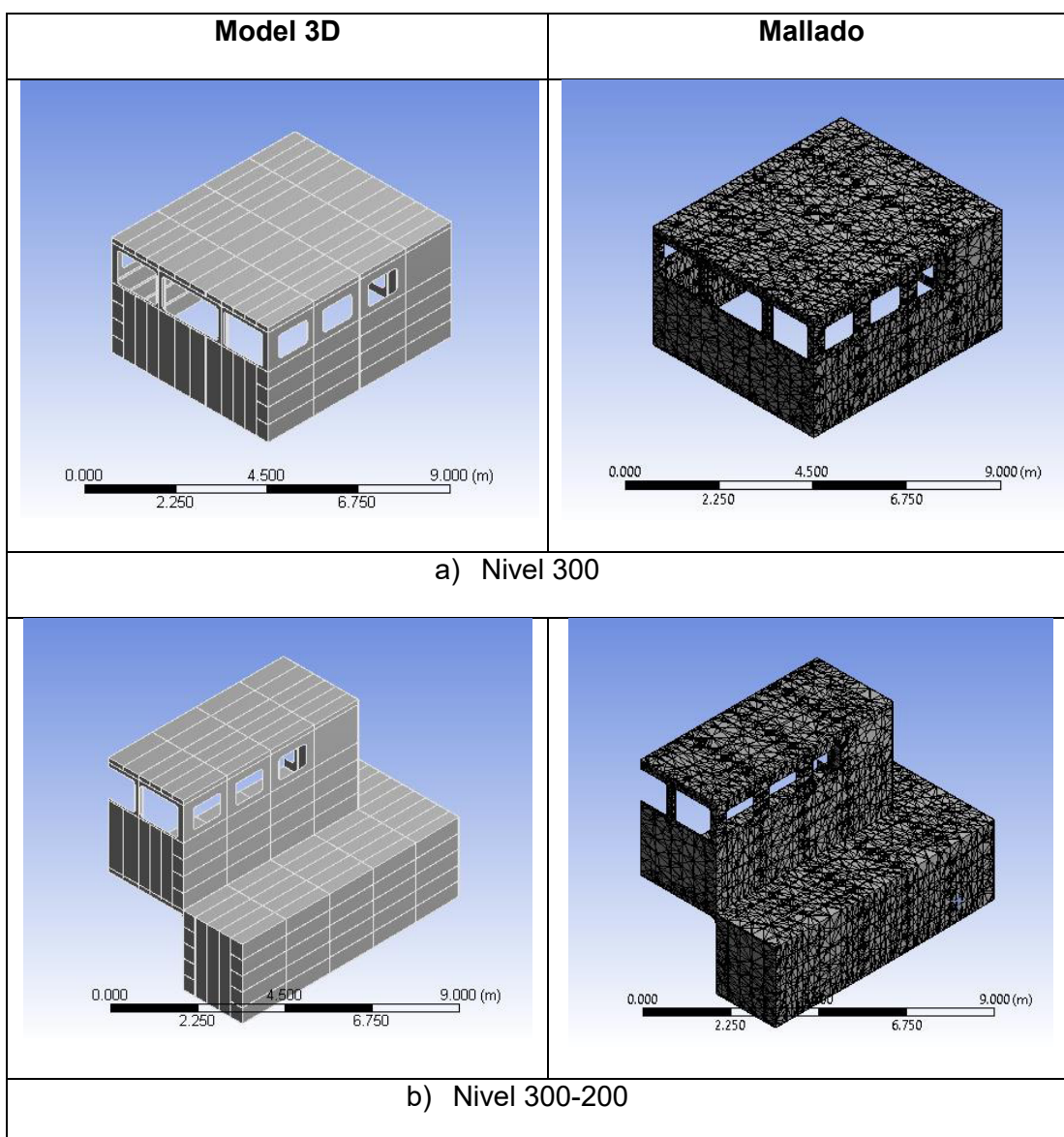
Para el análisis dinámico, se usa el módulo “Modal”; colocando puntos de masa (point mass) en paredes y pisos de estructuras de habitabilidad; y las correspondientes condiciones de frontera, para determinar las frecuencias naturales del sistema.

Para el análisis del bloque de sala de máquinas, se ha empleado el proceso de integrar sucesivamente en el análisis tanto estructural estático, como dinámico, cada nivel de la superestructura en el bloque de sala de máquinas, comenzando por el más alejado de la línea base; y revisar que el conjunto de cada nuevo nivel agregado cumpla los parámetros de esfuerzos, deformaciones y frecuencias naturales. En el bloque de proa, verificará que los esfuerzos en la operación de desembarco, cumplan con los límites establecidos por las IACS.

3.5.2. Bloque de sala de Máquinas

Modelado y Mallado

A continuación, se detalla el modelado realizado en el bloque de sala de máquinas, cada nivel de la superestructura y la correspondiente integración para el análisis FEM. Se emplea como medida del mallado lo recomendado por las reglas de las Sociedades de Clasificación: la separación entre refuerzos. Los elementos empleados para el análisis, son sólidos de tipo tetraedro.



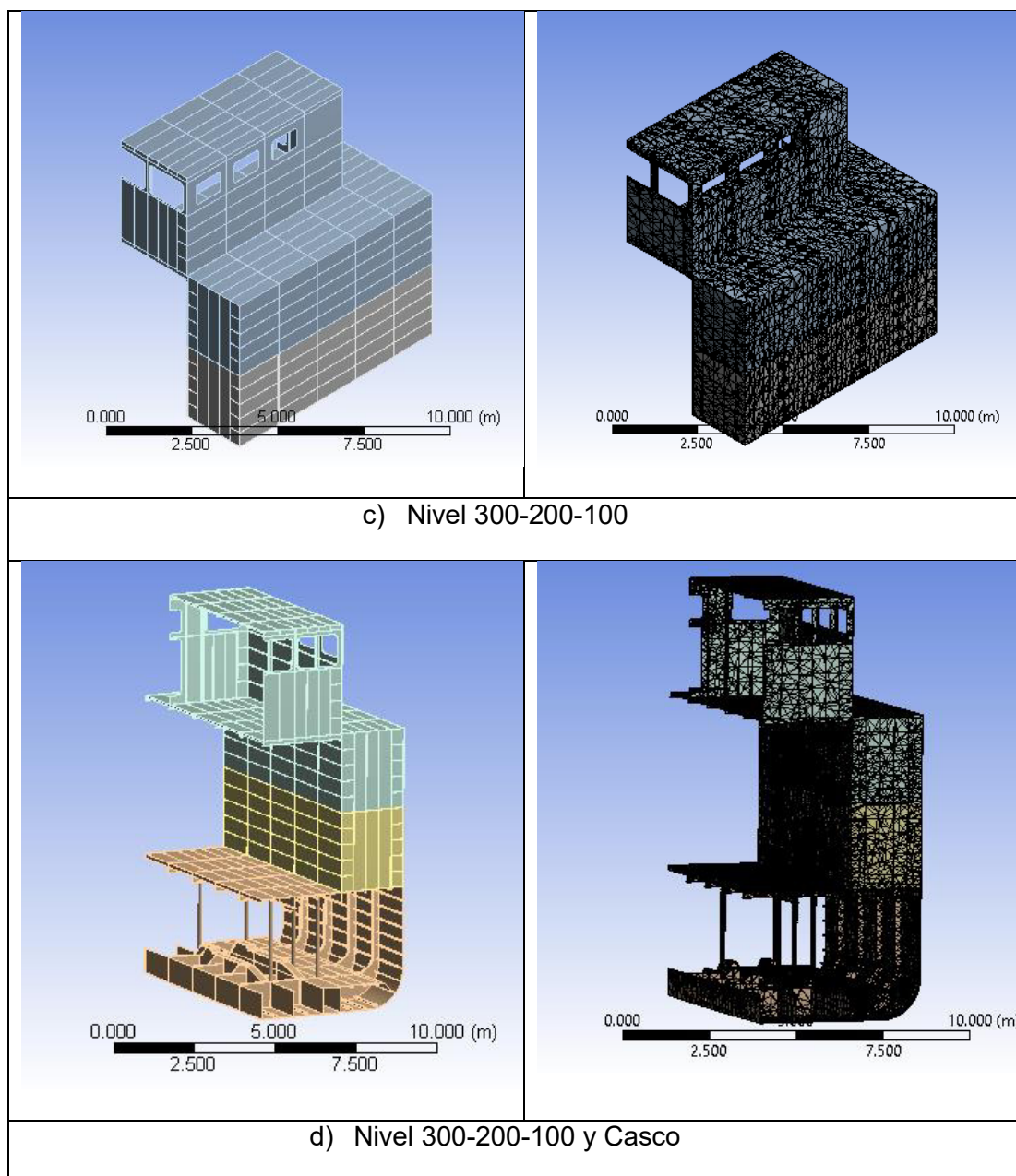


Figura 3. 8.- Modelado y mallado del bloque de Sala de Máquinas.

Para el desarrollo del modelado, se ha empleado la simetría del modelo; en el módulo “Geometry” de Ansys. Para el mallado se empleó una medida de 0.437 metros y un número de nodos de 404197; y un total de elementos de 215612.

Cargas Aplicadas

Las cargas aplicadas al modelo en 3D, son las mismas cargas empleadas para el escantillonado de cada uno de los elementos estructurales, calculados por el programa Poseidon 16.0 DNV GL; a continuación, se detallan cada una de las magnitudes de las cargas aplicadas al modelo en cubiertas y costados

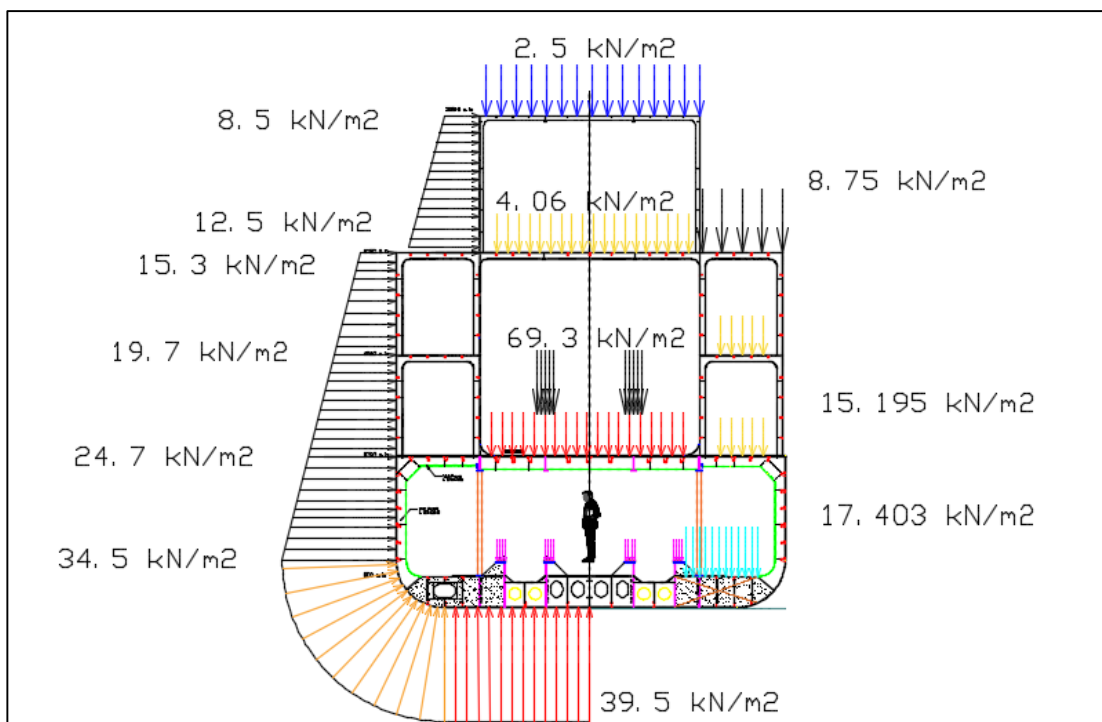


Figura 3. 9.- Cargas aplicadas al bloque de sala de máquinas.

Resultados

Una vez aplicadas las cargas y la condición de empotrado en los extremos del bloque, en el módulo "Static-Structural", se ha insertado los parámetros a analizar: Deformaciones Totales y Esfuerzo Equivalente: Von-Mises, esfuerzos de flexión y de corte; y obtenemos los resultados detallados a continuación:

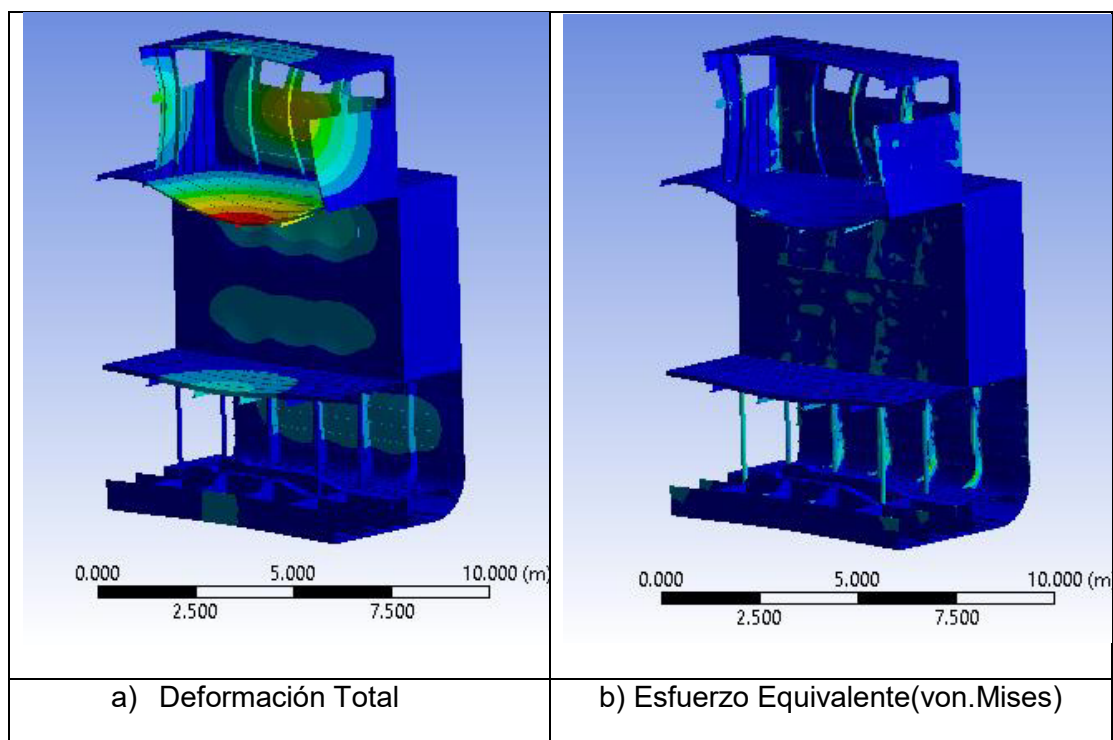


Figura 3.10.- Deformaciones y Esfuerzos en el bloque de Sala de Máquinas.

Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Results		
Object Name	Total Deformation	Equivalent Stress
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time	
Calculate Time History	Yes	
Suppressed	No	
Results		
Minimum	0. m	56056 Pa
Maximum	3.4518e-003 m	1.4639e+008 Pa
Minimum Value Over Time		
Minimum	0. m	56056 Pa
Maximum	0. m	56056 Pa
Maximum Value Over Time		
Minimum	3.4518e-003 m	1.4639e+008 Pa
Maximum	3.4518e-003 m	1.4639e+008 Pa

Tabla 45.- Reporte de Resultados de Ansys [17].

Para el caso de las frecuencias naturales, se ha empleado el módulo “Modal”; en este se ha ingresado las condiciones de carga y los “point mass”, asignándole el valor de 20 kilogramos para pisos y 10 para paredes, en las zonas de habitabilidad; y se han obtenido los resultados detallados a continuación:

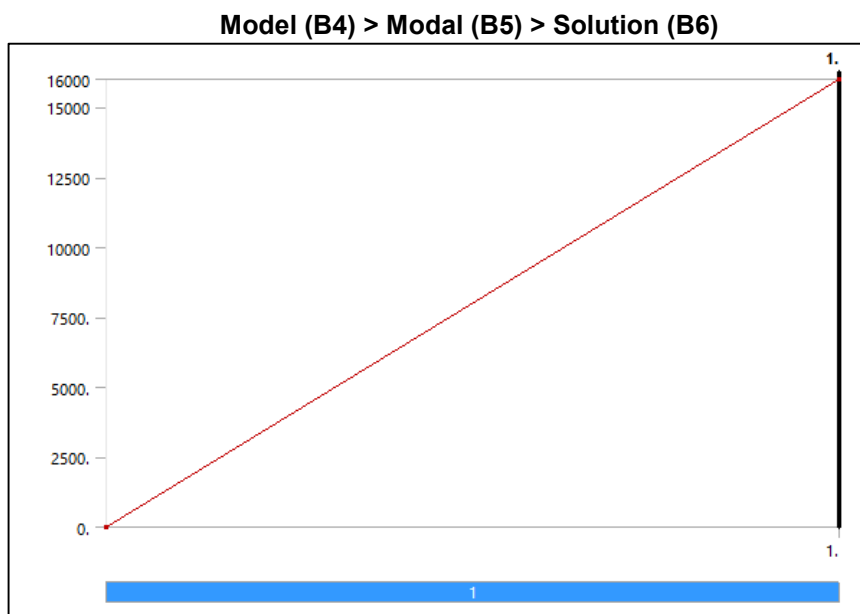


Gráfico 3.3.- Reporte de Ansys: frecuencias naturales del modelo [17].

Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)

Modo	Frecuencia [Hz]
1.	24.631
2.	34.363
3.	46.843
4.	54.169
5.	55.431
6.	59.095

Tabla 46.- Reporte de Ansys: frecuencias naturales del modelo [17].

Análisis de los Resultados

Deformaciones Máximas permisibles

La Sociedad de Clasificación Lloyd's Register [14], recomienda las máximas deformaciones permisibles de diferentes elementos estructurales en el buque; a continuación, se compara los resultados obtenidos del análisis por el método de elementos finitos versus los valores permitidos por la regla:

Elementos	Modelo [mm]	Límite [mm]
Nivel 300- Deformaciones		
Cubierta		
Ref. Secundarios	1.4	2.6
Ref. Primarios	1.22	2.6
Costados		
Ref. Secundarios	3.3	4
Ref. Primarios	3.25	4
Mamparo Proa	3.2	4
Mamparo Popa	2.01	4
Nivel 200- Deformaciones		
Cubierta		
Ref. Secundarios	0.9	2.6
Ref. Primarios	0.9	2.6
Costados		
Ref. Secundarios	1.46	2.6
Ref. Primarios	1.2	4
Mamparo Proa	0.1	4

Mamparo Popa	0.1	4
Nivel 100- Deformaciones		
Cubierta		
Ref. Secundarios	0.1	2.6
Ref. Primarios	0.1	2.6
Costados		
Ref. Secundarios	1.2	2.6
Ref. Primarios	1	4
Mamparo Proa	0.1	4
Mamparo Popa	0.1	4
Casco - Deformaciones		
Cubierta para vehículos		
Ref. longitudinales	1.6	1.6
Esloras	1.26	3.83
Baos	1.5	1.74
Costados		
Ref. longitudinales	1.3	2
Bulárcamas	1.2	2.5
Fondo		
Ref. longitudinales	0.5	2
Vagras	0.7	2.5
Varengas	0.5	2.5

Tabla 47.- Deformaciones del modelo vs deformaciones permisibles

Esfuerzos Máximos permisibles

A continuación, se presenta la comparación entre los resultados obtenidos del cálculo por elementos finitos de los esfuerzos de las estructuras de sala de máquina y los esfuerzos permisibles, dados por la Sociedad de Clasificación Lloyd's Register [16]:

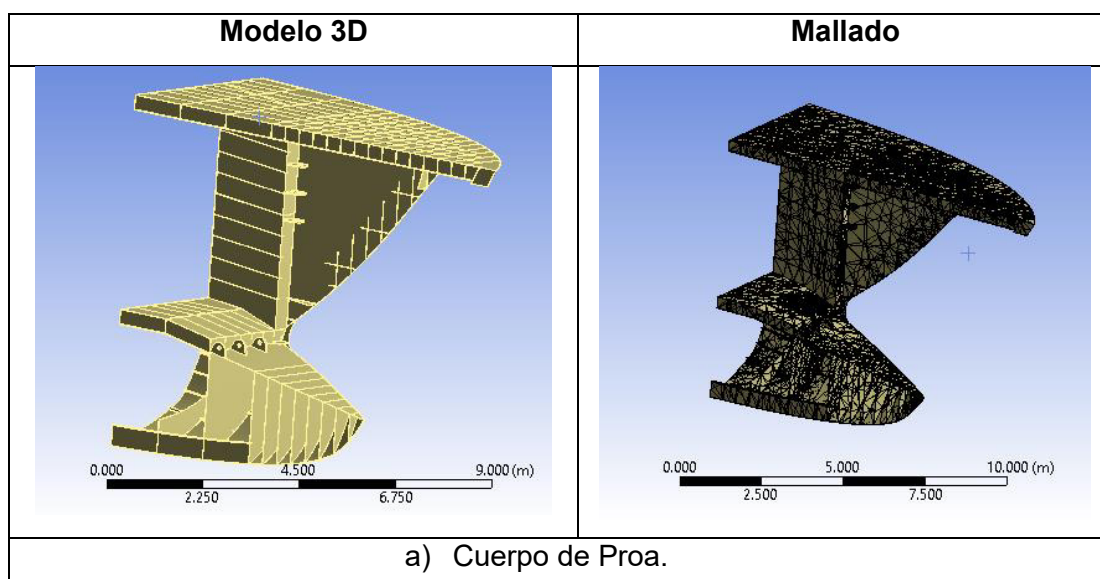
Esfuerzo	Calculado[N/mm ²]	Límite [N/mm ²]
Cortante	48.7	111.11
Flexión	88.8	166.66
Equivalente	146.9	208.33

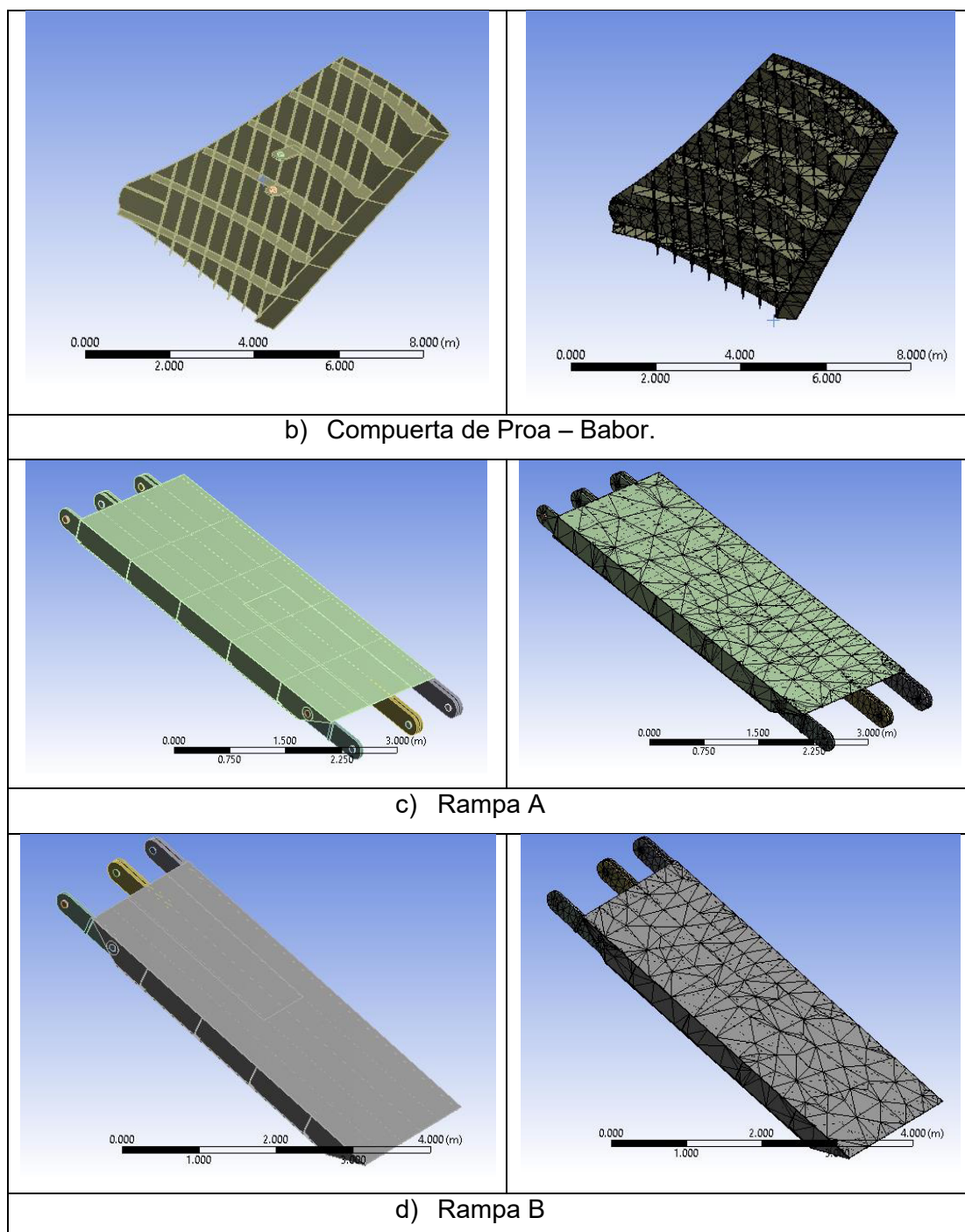
Tabla 48.- Esfuerzos máximos: Modelo versus Regla.

3.5.3. Bloque de Proa-Compuertas

Modelado y Mallado

A continuación, se detalla el modelado realizado en el bloque de proa; para los diferentes elementos que lo conforman, como lo son los brazos, pernos, compuertas, rampa de proa, y la correspondiente integración para el análisis FEM.





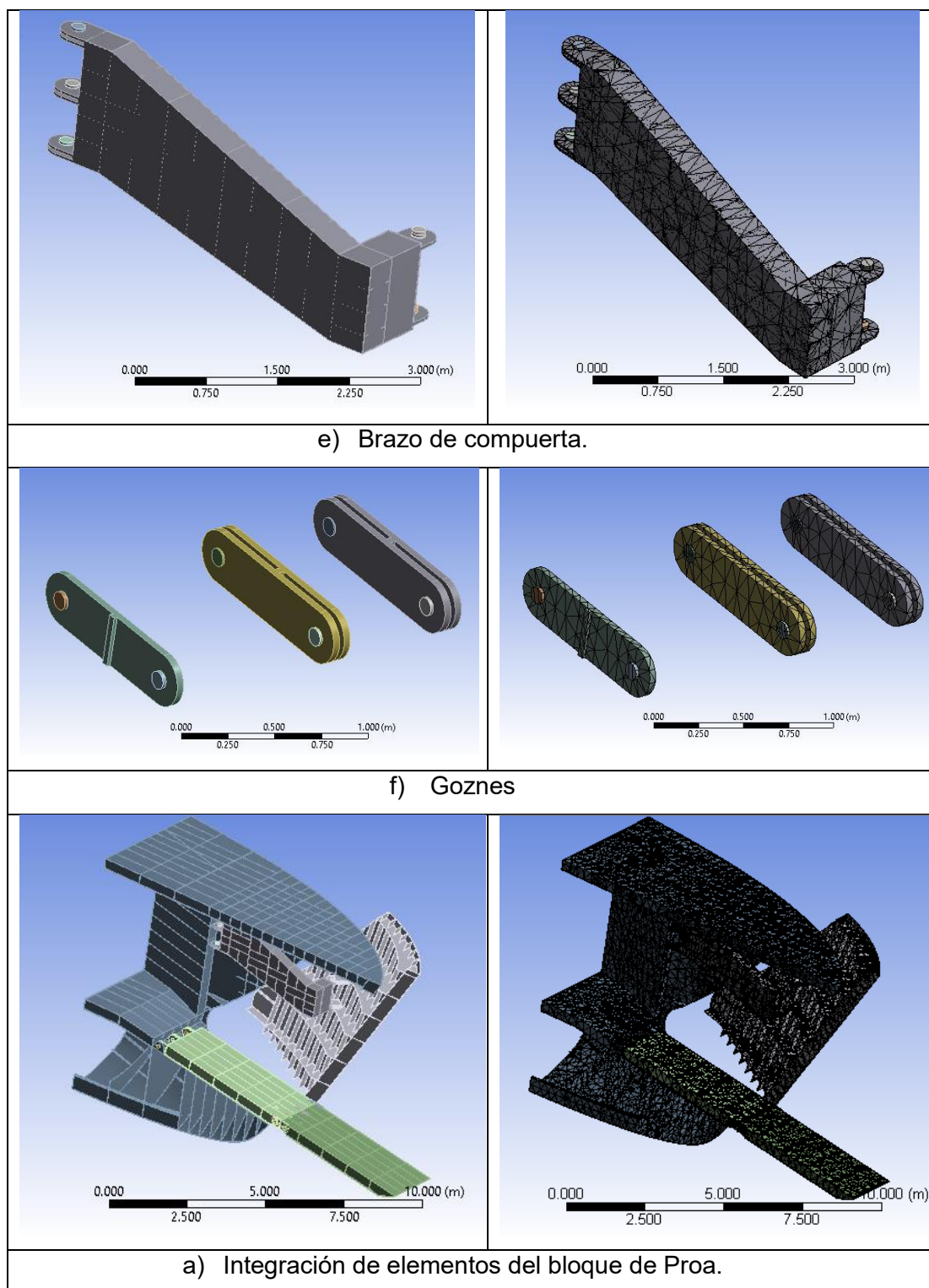


Figura 3.11.- Modelado y enmallado del bloque de proa.

Para el desarrollo del modelado se ha empleado, la simetría del modelo; en el módulo “Geometry ” de Ansys. Para el mallado, se empleó una medida de 0.437 metros y un número de nodos de 203061; y un total de elementos de 109942

Cargas aplicadas

A continuación, se detalla en el modelo empleado en Ansys, las cargas aplicadas y su correspondiente ubicación:

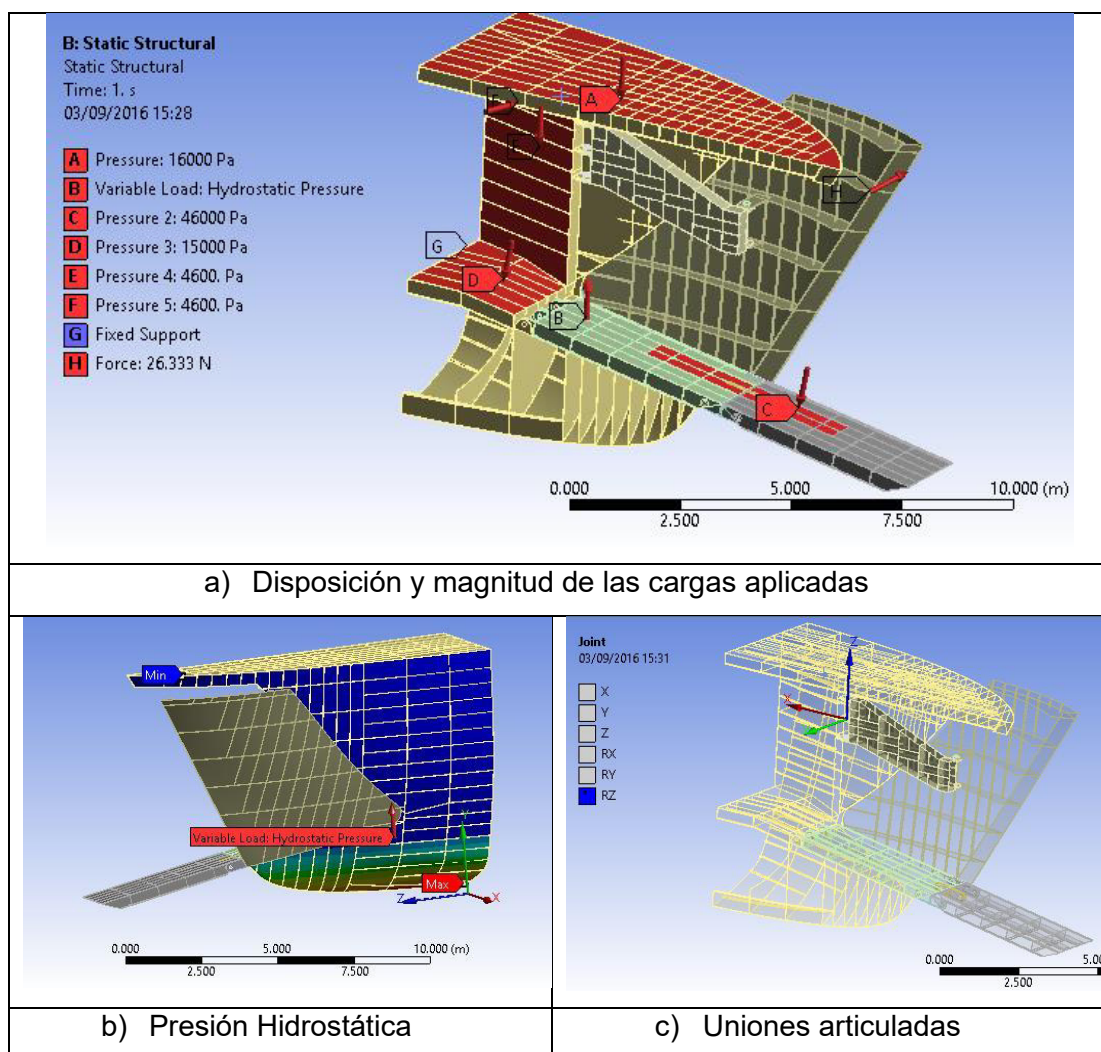


Figura 3.12.- Cargas aplicadas al bloque de proa.

Resultados

Una vez aplicadas las cargas y condiciones de frontera, en el módulo “Static-Structural” insertamos los parámetros a analizar: Deformaciones Totales y Esfuerzo Equivalente: Von-Mises; y obtenemos los resultados detallados a continuación:

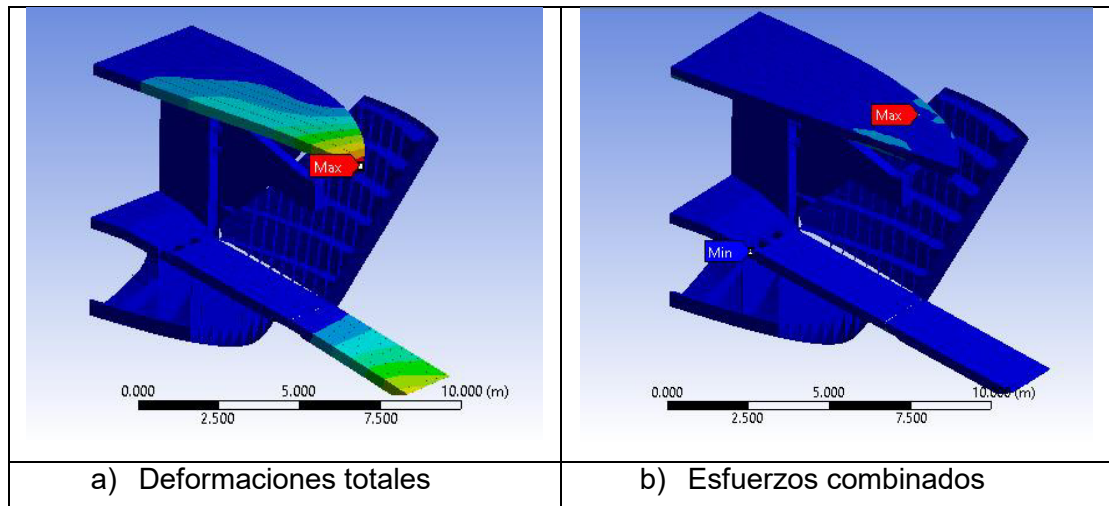


Figura 3.13.- Deformaciones y Esfuerzos en Bloque de Proa.

Análisis de los Resultados

Esfuerzos Máximos permisibles

A continuación, se presenta la comparación entre los resultados obtenidos del cálculo por elementos finitos de los esfuerzos de las estructuras de proa y los esfuerzos permisibles, dados por las reglas IACS S8, para compuertas de proa y sus accesorios:

Esfuerzo	Calculado[N/mm2]	Regla Límite[N/mm2]
Cortante	78.00	111.11
Flexión	149.00	166.66
Equivalente	167.00	208.33

Tabla 49.- Esfuerzos máximos: Modelo versus Regla.

Acorde a las reglas IACS S8; para los pernos, de los goznes el esfuerzo de corte no debe ser mayor a: $\frac{125}{k} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$, siendo $k=0.72$; el esfuerzo máximo permisible en los pernos es de 173.61 $[\text{N}/\text{mm}^2]$. Como podemos comparar con los resultados obtenidos; el valor máximo del esfuerzo en corte se encuentra por debajo del límite permisible.

Reacciones en pines del sistema de desembarco

Realizado el análisis de los máximos esfuerzos permisibles, se calculó las fuerzas resultantes en los pines de los elementos de las rampas y compuertas de desembarco. Se detalla en la tabla LII, los resultados obtenidos para cada pin del sistema.

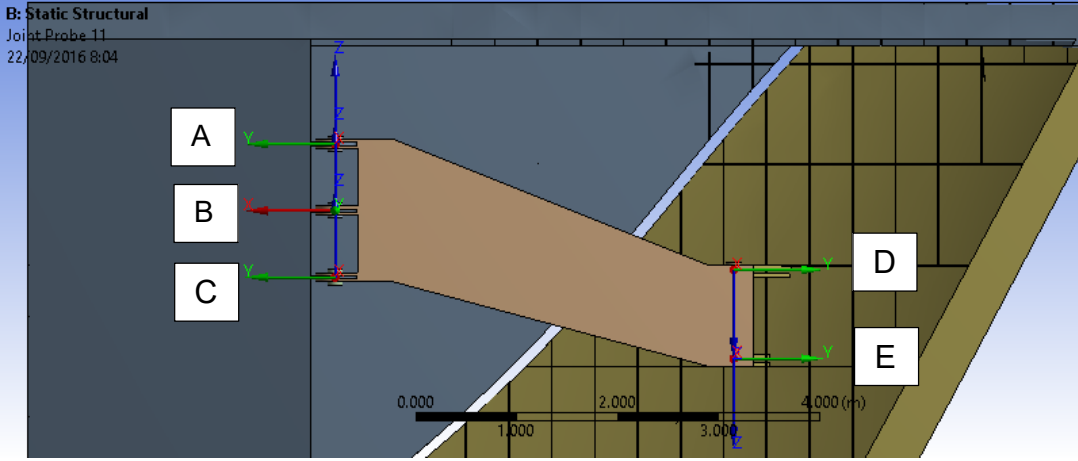
Ubicación de Pines	Fuerza Resultante [N]
	
Pin A:	35.706 [kN]
Pin B:	-2.335 [N]
Pin C:	-34.370 [kN]
Pin D:	5.551 [N]
Pin E:	3.425 [kN]

Tabla 50.- Reacciones en Pines de compuertas

El reporte de los cálculos de Ansys es presentado en el anexo I.

CAPITULO 4

4. PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN DEL BUQUE DE DESEMBARCO

4.1. Alcance del capítulo

El costo de construcción de un buque marca una gran diferencia entre las posibles propuestas de diseño que recibe el armador. Si bien, la zona de construcción influye mucho en estos costos; por costos de materiales o de equipos en el país, el diseñador debe lograr un equilibrio entre su ganancia y la del armador, para así lograr la aceptación de su propuesta por el armador.

Ecuador, en la actualidad, posee muchas limitantes en cuando a la adquisición de materiales y equipos, esto eleva los costos de construcción y de mano de obra calificada para realizarla. En la actualidad, el tipo de infraestructura requerida para la construcción de un buque de estas características, de manera adecuada es muy escasa.

En este capítulo, se enfoca en la estimación del presupuesto de construcción del buque diseñado en este proyecto. Según los requerimientos del armador, establecidos en el diseño conceptual, el presupuesto dispuesto varía entre 7 a 13 millones, es decir que, si podemos realizar una construcción entre estos valores o inferior, tendremos una propuesta atractiva para el armador, y el tiempo de construcción dado para esto será de 1 año.

Iniciaremos con el costo de hombre/hora de acuerdo a la zona específica de trabajo, ya que los bloques de popa y de proa requieren mayor número de horas para completar su trabajo debido a la curvatura de las planchas. Se estableció el personal requerido para el funcionamiento tanto administrativo como en construcción. Finalmente, se calculó el costo de Hombre/Hora que se ofrecerá en el mercado. Para finalizar, y de acuerdo a los grupos tecnológicos, estimaremos el costo de cada equipo requerido en el buque.

4.2. Construcción por bloques.

Durante muchos años, la construcción de buques se realizó, sobre una rampa, y colocando pieza a pieza. Sin embargo, las necesidades de una producción acelerada y a grandes escalas, requirió la adopción de unidades pre-fabricadas para la construcción de buques. En nuestros días la tendencia es que todos los buques sean pre-fabricados en algún grado. Entre las ventajas que la construcción por bloque nos ofrece podemos citar las siguientes:

- Las unidades pueden ser construidas bajo galpones o lugares techados; espacios que resultan confortables en climas calientes y húmedos.; mejorando las condiciones laborales y de soldadura.
- Posibilidad de girar los ensambles o sub-ensambles para permitir en que la mayoría de los cordones de soldadura sean realizados en posición horizontal.
- Mayor disponibilidad de servicios centrales, tales como gases para cortar, corriente eléctrica para soldar en los lugares requeridos, etc.
- Las técnicas de producción pueden ser adoptadas con secuencias de pre-fabricación.
- Equipamiento previo de los ensambles (“outfitting”) lo cual implica un ahorro de tiempo y dinero.

4.2.1. División del buque por bloques

El diseño estructural fue dividido en dos grandes partes, para la construcción casco y superestructura, las cuales fueron subdivididas de acuerdo a ciertos requerimientos dados a continuación:

- Longitud de los bloques de construcción adecuada para el tipo de maquinaria dispuesta en el patio de construcción.
- Peso de bloques adecuado para su manipulación con la maquinaria de carga existente en el patio de construcción.
- Los bloques deben estar divididos a mínimo, 300 milímetros, de los mamparos transversales.

Así se logró la división en:

- 6 bloques de aproximadamente 10 metros de longitud para el casco
- 2 bloques divididos de acuerdo a las cubiertas de superestructura.

A continuación, se presenta una figura de la división del diseño en estos bloques.

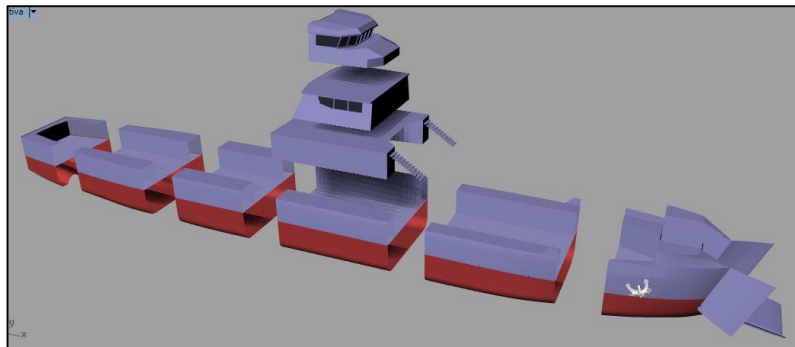


Figura 4.1.- División en bloques para la construcción.

4.3. Estimación del HOMBRE/HORA

El costo de hombre/hora se ve influenciado de acuerdo a la cantidad de acero requerido para la construcción, así como la zona de trabajo de este y el tiempo que le toma al obrero realizarlo, además en la construcción se ven implícitos otros costos de operación y administrativos.

4.3.1. Hombre/Hora por trabajos en acero

Para realizar esta estimación se dividió el buque en los bloques antes mencionados y se estableció los estructurales dispuestos en cada sección de acuerdo al plano estructural presentado en el capítulo 3, de validación estructural. En el algoritmo desarrollado para la optimización estructural se determinó el peso del buque para la determinación del hombre hora, de acuerdo a cada elemento estructural presente en el buque

De acuerdo a “Guide to Ship Repair Estimates” de Don Butler, el costo de hombre/hora para la construcción de los bloques depende de cuatro factores, enlistados a continuación:

- Espesor de la plancha o del elemento
- Corrección por curvatura de la plancha o del elemento
- Corrección por ubicación de la plancha o del elemento – Externa

- Corrección por ubicación de la plancha o del elemento – Interna

Los factores utilizados para esta estimación, son tomados de acuerdo a la referencia antes nombrada. Ya que este es una referencia para trabajos de reparación en los cuales existe el proceso adicional de remoción de las piezas, para construcciones nuevas tomaremos un 85% de dichos valores.

4.4. Presupuesto de la construcción

De acuerdo a los grupos tecnológicos dividiremos el costo de equipamiento y manos de obra relacionada a cada uno de estos.

4.4.1. Grupo 100: Casco

De acuerdo al precio obtenido de las HH; y el peso, espesor, ubicación y curvatura de los elementos estructurales, obtenemos el valor total del costo de construcción para el Grupo Tecnológico 100, correspondiente a las estructuras:

	ELEMENTO	UBICACION	t [mm]	CURVATURA	PESO [TON]	H.H POR TON	factor	H.H. FINAL
FONDO	Planchaje	Ext. Forro fondo accesible	9	1.2	25.56	242.5	1.12	8330.70
	Trans-Vigas	Int. Long/Trans abajo de DB	10	1.2	10.77	240	1.35	4187.08
	Trans-Refuerzos	Int. Long/Trans abajo de DB	10	1.2	0.79	240	1.35	308.23
	Long-Vigas	Int. Long/Trans abajo de DB	10	1.2	20.42	240	1.35	7940.95
	Long-Refuerzos	Int. Long/Trans abajo de DB	10	1.2	8.70	240	1.35	3382.03
COSTADO	Planchaje	Ext. Plancha vertical mayor 2m altura	9	1	20.65	242.5	1.1	5507.09
	Trans-Vigas	Int. Long/Trans arriba de DB	10	1	3.36	240	1.25	1007.66
	Trans-Refuerzos	Int. Long/Trans arriba de DB	8	1	0.24	245	1.25	72.69
	Long-Vigas	Int. Long/Trans arriba de DB	10	1	0.00	240	1.25	0.00
	Long-Refuerzos	Int. Long/Trans arriba de DB	8	1	4.64	245	1.25	1420.15
CUBIERTA	Planchaje	Ext. Plancha de cubierta	8	1	28.88	245	1.15	8135.75
	Trans-Vigas	Int. Long/Trans arriba de DB	10.5	1	2.71	238	1.25	805.79
	Trans-Refuerzos	Int. Mamparo	7	1	0.86	247.5	1.2	255.92
	Long-Vigas	Int. Long/Trans arriba de DB	10.5	1	11.29	238	1.25	3359.86
	Long-Refuerzos	Int. Long/Trans arriba de DB	7	1	4.06	247.5	1.25	1256.86
				TOTAL PESO	228.66		SubTOTAL	45970.76
				Peso Perfiles	109.80602		TOTAL	66082.97

Tabla 51.- Cálculo de las Hombre Hora para el GRUPO 100

Costo de construcción del casco	
Costo neto de H/H (\$)	\$22.00
Costo de construcción (\$)	\$2'080.013,00

Tabla 52.- Costo de construcción, Grupo 100.

4.4.2. Grupo 200-Propulsión

EL Grupo 200 se refiere a la instalación propulsora del buque, todos los elementos que le ofrezcan autonomía y maniobrabilidad.

Instalación propulsora				
Ítem	Descripción	Cant.	Costo unitario	Costo total
1	Hélices	2	\$72,000.00	\$144,000.00
2	Ejes	2	\$65,000.00	\$130,000.00
3	Motores	2	\$420,000.00	\$840,000.00
4	Timones	2	\$23,000.00	\$46,000.00
5	Prensaestopas timón	2	\$15,000.00	\$30,000.00
6	Arbotantes	2	\$8,000.00	\$16,000.00
7	Prensa estopa de gobierno	2	\$7,000.00	\$14,000.00
8	Brida	1	\$1,200.00	\$1,200.00
9	Bocines de caucho	2	\$1,204.00	\$2,408.00
10	P.t.o.	1	\$7,150.00	\$7,150.00
			Total	\$1,230,758.00

Tabla 53.- Costos de la instalación propulsora.

Mano de obra			
Ítem	Descripción	Hombre/hora	Costo total
1	Pala	80	\$1,720.56
2	Hélice	120	\$2,580.83
3	Eje de cola	35	\$752.74
4	Motor	50	\$1,075.35
5	Reductor	12	\$258.08
			\$6,387.57
		Horas extras (15%)	\$958.13
		Total	\$8,447.56

Tabla 54.- Costo de Construcción: Grupo 200.

4.4.3. Grupo 300-Sistema eléctrico

En este grupo tecnológico se agrupan todos los requerimientos dados por el sistema eléctrico para el buque.

Sistema eléctrico				
Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
1	Generadores principales	2	\$132,000.00	\$264,000.00
2	Bancos de baterías	10	\$230.00	\$2,300.00
3	Motores eléctricos	20	\$730.00	\$14,600.00
4	Generador auxiliar	1	\$43,000.00	\$43,000.00
5	Tableros eléctricos	2	\$600.00	\$1,200.00
6	CABLEADO [m lineales]	740	\$62.00	\$45,880.00
7	Sistema de alumbrado	570	\$50.00	\$28,500.00
				399,480.00

Tabla 55.- Costos del sistema eléctrico.

Mano de obra			
Ítem	Descripción	Hombre/hora	Costo total
1	Generadores principales	220	\$4,731.53
2	Generador auxiliar	120	\$2,580.83
3	Conexiones eléctricas	199.8	\$4,297.09
4	Banco de baterías	50	\$1,075.35
			\$14,587.52

Tabla 56.- Costos de construcción: Grupo 300

4.4.4. Grupo 400-Sistemas de navegación

El sistema de navegación y monitoreo es muy importante para realizar la adecuada maniobrabilidad de la nave, por eso se le designa un grupo en específico, además que la mayoría de estos equipos se ubican en el puente de mando.

Sistemas de navegación y monitoreo			
Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Central telefónica	16	\$120.00	\$1,920.00
Teléfonos auto-excitados	6	\$142.50	\$855.00
Parlantes y cornetas	16	\$129.20	\$2,067.20
Radio comunicador	4	\$3,610.00	\$14,440.00
Equipo vhf-fm	3	\$629.00	\$1,887.00
Compas magnéticos	1	\$707.00	\$707.00
Giro compas	1	\$1,068.00	\$1,068.00
Radar de navegación principal	1	\$8,550.00	\$8,550.00
Radar de navegación secundario	1	\$5,605.00	\$5,605.00
Antena	1	\$3,990.00	\$3,990.00
Ecosonda	1	\$2,850.00	\$2,850.00
Compas satelitales	1	\$2,850.00	\$2,850.00
Odómetro	1	\$1,330.00	\$1,330.00
Equipo GPS	1	\$2,660.00	\$2,660.00
			\$50,779.20

Tabla 57.- Costos de sistemas de navegación y monitoreo.

Mano de obra		
Ítem	Descripción	Costo total
1	Instalación de equipos de comunicación internos	\$ 14,000.00
2	Instalación de equipos de comunicación externos	\$ 23,000.00
		\$ 42,550.00

Tabla 58.- Costos de Construcción: Grupo 400

4.4.5. Grupo 500-Amarre y Fondeo

Los equipos requeridos para el amarre y fondeo son indispensables en las maniobras del buque en muelles puertos, y sobre todo en las maniobras de desembarco, a continuación, se detallan el presupuesto para estos ítems:

Sistemas de amarre y fondeo				
Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
1	Grúa	1	\$90,000.00	\$90,000.00
2	Winches	4	\$52,000.00	\$208,000.00
3	Bitas	6	\$908.00	\$5,448.00
4	Pórtico	1	\$25,000.00	\$25,000.00
			Total	\$328,448.00

Tabla 59.- Costos de sistemas de amarre y fondeo.

Mano de obra		
Ítem	Descripción	Costo total
1	Instalación de grúa	\$45,000.00
2	Instalación de winches	\$50,000.00
3	Instalación de equipo sobre cubierta	\$3,050.00
	Total	\$98,050.00

Tabla 60.- Costos de Construcción: Grupo 500

4.4.6. Grupo 600-Equipamiento

Ya que el buque está destinado a movilizar tropas, la habitabilidad es parte importante del presupuesto. Tanto como todos los sistemas a bordo para suplir las necesidades básicas del buque y sus tripulantes

Habitabilidad			
Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Inodoro con grifería	8	\$ 600.00	\$ 4,800.00
Lavamanos	8	\$ 350.00	\$ 2,800.00
Duchas	8	\$ 220.00	\$ 1,760.00
Camas	114	\$ 850.00	\$ 96,900.00
Cocina	1	\$ 1,400.00	\$ 1,400.00
Nevera	1	\$ 2,100.00	\$ 2,100.00
Alacena	1	\$ 1,000.00	\$ 1,000.00
Enfermería	1	\$ 15,000.00	\$ 15,000.00
Puertas	36	\$ 430.00	\$ 15,480.00
Ventanas	12	\$ 174.00	\$ 2,088.00
Asientos	22	\$ 150.00	\$ 3,300.00
		Total	\$ 168,622.20

Tabla 61.- Costos de elementos de equipamiento general.

Tubería		
Ítem	Descripción	Costo total
1	Sist. Aguas grises	\$ 15,000.00
2	Sist. Aguas negras	\$ 15,000.00
3	Sist. Agua dulce	\$ 20,000.00
4	Sist. Achique	\$ 50,000.00
5	Sist. Combustible	\$ 80,000.00
6	Sist. Contraincendios	\$ 45,000.00
7	Sist. Hidráulico	\$ 45,000.00
	Total	\$ 310,500.00

Tabla 62.- Costo de Construcción: Grupo 600

4.4.7. Pintura

El trabajo de pintura es necesario para la durabilidad y protección general del buque, se presenta el presupuesto dispuesto para este grupo.

Pintura			
Descripción	Cantidad m²	Precio unit.	Costo total
Obra Viva	2947	\$48.26	\$ 142,234.0
Obra Muerta	5860	\$17.54	\$ 102,766.8
Cubierta principal	793	\$11.97	\$ 9,489.57
Tanques Profundos	495	\$9.99	\$ 4,945.58
Ducto de ventilación	302	\$14.57	\$ 4,400.57
Caseta exterior	983	\$11.03	\$ 10,844.95
Caseta interior	1933	\$10.94	\$ 21,146.21
Tanques de combustible	1183	\$12.80	\$ 15,136.49
Tanques de Agua	420	\$12.71	\$ 5,336.10
Piso de Castillo	84.4	\$15.59	\$ 1,315.37
Pañol de cadenas	763	\$11.08	\$ 8,450.23
Tanques de lastre	836	\$9.54	\$ 7,971.26
Sala de máquinas	1270	\$14.18	\$ 18,002.25
Ánodos de zinc de 23 Lbs.	62.00	\$232.50	\$ 14,415.00
Mano de obra	---	---	\$ 8,030.45
		TOTAL	\$ 430,657.58

Tabla 63.- Costos de aplicación de plan de pintura.

4.4.8. Ingeniería

Finalmente, el diseño del buque, de acuerdo a los requerimientos del armador, con cada una de las etapas de ingeniería tendrá un costo de:

Ítem	Valor
Ingeniería conceptual	\$ 75,000.00
Ingeniería básica	\$ 90,000.00
Ingeniería de detalle	\$ 70,000.00
Ingeniería contractual	\$ 80,000.00
Total	\$ 315,000.00

Tabla 64.- Costos de ingeniería.

4.5. Resumen de costos de construcción

A continuación, se presenta un resumen de costos presentados en cada uno de los grupos tecnológicos anteriormente nombrados. De manera adicional se presentan los costos de Carenado, Varamiento, Pruebas de mar y el alquiler de la infraestructura durante el tiempo de construcción.

Presupuesto de construcción	
Diseño e ingeniería	\$ 315,000.00
Grupo 100	\$2'080,013.00
Grupo 200	\$ 1'239,205.56
Grupo 300	\$ 414,067.52
Grupo 400	\$ 93,329.20
Grupo 500	\$ 426,498.00
Grupo 600	\$ 479,122.20
Plan de pintura	\$ 430,657.58
Carenado	\$ 45,000.00
Varamiento	\$ 85,000.00
Pruebas de mar	\$ 250,000.00
Alquiler de infraestructura	\$ 360,000.00
Total	\$6'397,893.06

Tabla 65.- Presupuesto general de construcción.

Por lo tanto, el presupuesto total de la construcción del buque de desembarco, se calcula en aproximadamente 7 millones de dólares.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Se ha desarrollado el diseño conceptual y preliminar de un buque con capacidades de desembarco; obteniendo a través métodos estadísticos de regresión, las dimensiones principales para dicho buque, proporcionando al diseño, la distribución general y estructural, aprobando los criterios de estabilidad y reglas de clasificación para el escantillonado.
2. Se ha realizado la optimización de las formas; distribución estructural; y el costo de construcción del Grupo Tecnológico 100; obteniendo las dimensiones finales para el diseño; y reduciendo el peso de la estructura en un 36%, variando el espaciamiento entre refuerzos y obteniendo un nuevo escantillonado.
3. Se ha desarrollado la validación estructural; verificando en primer lugar la resistencia longitudinal del buque; para ello se empleó las reglas de Sociedad de clasificación DNV; aprobando el criterio sin problemas.
4. Se ha realizado un análisis Global-Parcial de las estructuras del bloque de sala de máquinas verificando que las deformaciones y esfuerzos estuvieran dentro de los parámetros establecidos por la Sociedad de Clasificación Lloyd's Register; y que la frecuencia natural del bloque de sala de máquinas de 24 [Hz]; fuera mayor a 1.2 veces la frecuencia de la pala, 21.6 [Hz].
5. Se ha desarrollado el diseño y análisis de las compuertas y rampas para maniobras de desembarco; el diseño fue propuesto con puertas de desplazamiento lateral, accionadas por brazos mecánicos, y rampa articulada; verificando que el dimensionamiento de todos los elementos que conforman el sistema; cumplen con las restricciones de esfuerzos establecidos por las reglas IACS para el esfuerzo en puertas de proa y sus accesorios.
6. Se ha elaborado un presupuesto general de construcción del buque; basado en precios del mercado local; obteniendo un costo estimado de construcción de \$ 6'397,893.06.

Recomendaciones

1. Realizar una elaboración minuciosa de la base de datos para las regresiones.
2. Para el diseño; estructural, realizar un análisis local de las cargas en elementos estructurales, específicos del buque; como los presentes en la zona proa.
3. Probar con diferentes mallados, la convergencia de los resultados en el análisis por el método de elementos finitos

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. I. I. (2011). Construcción del Buque I: Introducción a la construcción del buque I. [online] Arquitecturabuque.blogspot.com. Available at: <http://arquitecturabuque.blogspot.com/2011/07/introduccion-la-construccion-del-buque.html> [Accessed 14 Jul. 2016].
- [2]. Anon, (2016). [online] Available at: http://wiki.ead.pucv.cl/images/ff8/El_Proyecto_del_Buque,_Clase_09_Introducci%C3%B3n_Sistemas_Mar%C3%ADtimos.pdf [Accessed 14 Jul. 2016].
- [3]. Shipjournal.co. (2016). Aranibar. [online] Available at: <http://www.shipjournal.co/index.php/sst/rt/prINTERfriendly/15/76> [Accessed 14 Jul. 2016].
- [4]. **PROF. MANUEL VENTURA**, Estimation Methods for basic Ship Design, Ship Design I, MSc in Marine Engineering and Naval Architecture.
- [5]. **OMI**, “Code on intact stability for all types of ships covered by IMO Instruments”, Resolution A749, November 1993.
- [6]. **DNV**, Hull Structural Design Ships with length less than 100 metres, Hull and Equipment main class, Part 3 Chapter 2, January 1991.
- [7]. **Tutorials3d.com**. (2016). tutorials3D.com - Blueprints: Hummer Hummer (military). [online] Available at: http://www.tutorials3d.com/esp/blu_sheet.asp?id=214 [Accessed 14 Jul. 2016].
- [8]. **ALVARIÑO, R., AZPIROZ, J., MEIZOSO, M.**, “El Proyecto básico del buque mercante”, Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos, Madrid, 2007.
- [9]. <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/flexion-vigas-rectas/flexion-vigas-rectas.pdf>

ANEXOS

ANEXO A

Estimación de coeficientes de forma

Coeficiente block

A continuación, calcularemos el coeficiente block de acuerdo a la formulación original, ya que poseemos todos los datos dados por el dimensionamiento en base a un prototipo.

$$C_b = \frac{\Delta}{\rho * L * B * T} = \frac{1050}{1.025 * 61.21 * 10.38 * 2.19} = 0.74$$

Podemos decir que tanto los buques de la base de datos, el buque prototipo como el buque a diseñar poseen formas similares ya que tienen un coeficiente block muy cercano.

Coeficiente de sección media

Este coeficiente lo calcularemos mediante las estimaciones hechas en los cuadernillos anteriores. A continuación, se presentan estas estimaciones y el valor promedio tomado como coeficiente para nuestro diseño.

$$C_M = 1.006 - 0.0056C_B^{-3.56} = 0.9893, \text{ Kerlen (1970)}$$

$$C_M = \frac{1}{1+(1-C_b)^{3.5}} = 0.9907, \text{ HSVA}$$

$$C_M = 1 - 0.062 * F_n^{0.792} = 0.9792, \text{ Meizoso}$$

Tomaremos un promedio de estas estimaciones para obtener el coeficiente de sección media.

$$C_M = 0.9864$$

Coeficiente de flotación

La siguiente estimación la haremos mediante dos formulaciones.

$$C_{WL} = A + B * C_b, \text{ Torroja}$$

Donde:

$$A=0.248+0.049G$$

$$B=0.778-0.035G$$

G=1 para buques de sección en V

G=0 para buques de sección en U

$$C_{WL} = 0.297 + 0.7425 * 0.74 = 0.8208$$

$$C_{WL} = \frac{1}{3} \left(1 + 2 * \frac{C_b}{\sqrt{C_M}} \right), \text{ Schneekluth}$$

$$C_{WL} = \frac{1}{3} \left(1 + 2 * \frac{0.74}{\sqrt{0.9864}} \right) = 0.8275$$

Usaremos un promedio de coeficiente de flotación de $C_{WL}=0.8241$

Coeficiente prismático

La estimación del coeficiente prismático se dio mediante la siguiente formula:

$$C_m = \frac{C_b}{C_M} = \frac{0.74}{0.98} = 0.7464$$

Estimación de coeficientes adimensionales

Numero de Froude

Calculamos el número de Froude para nuestro modelo con la ecuación:

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g * L}} = \frac{12 * 0.514}{\sqrt{9.8 * 61.21}} = 0.2517$$

Con este número podemos determinar la utilidad de un bulbo en una embarcación, siempre y cuando este entre $0.35 \leq F_n \leq 0.65$. Además, que nuestro F_n se encuentra fuera de este rango, la implementación de un bulbo de proa seria absurda debido a la rampa de desembarque que se tiene que hacer.

Froude volumétrico

De acuerdo a la formulación tenemos el siguiente valor:

$$F_v = \frac{V}{\sqrt{g * (\nabla)^{1/3}}} = \frac{12 * 0.514}{\sqrt{9.8 * \left(\frac{1050}{1.025}\right)^{1/3}}} = 0.6206$$

A partir del número de Froude volumétrico podemos decir que estamos diseñando una embarcación de “desplazamiento”, ya que este es menor que 1.66

Coefficiente de carga

Para la estimación del coeficiente de carga primero tenemos que obtener el área de flotación

Como siguiente calculamos el coeficiente de carga.

$$C_p = \frac{A_w}{\nabla^{2/3}} = \frac{L * B * C_{WL}}{\nabla^{2/3}} = 5.00$$

Podemos concluir que el coeficiente de carga se encuentra entre el rango para considerarse de desplazamiento.

Coefficiente de bulbo

Otra forma de confirmar la necesidad o no de un bulbo es mediante el cálculo del coeficiente de bulbo. El coeficiente de bulbo fue obtenido de la siguiente forma:

$$C_{bulbo} = C_b \left(\frac{B}{L}\right) = 0.74 \left(\frac{10.38}{61.21}\right) = 0.125$$

Ya que el coeficiente de bulbo obtenido es menor que 0.135 se sugiere la implementación de un bulbo, pero debido a la naturaleza de la embarcación y a la compuerta en proa se descarta esta opción.

ANEXO B

Detalle de pesos y centros de gravedad

Item	Cant.	Peso [tons]	Xg[m]	Yg[m]	Zg[m]
.G-100 CASCO					
Casco	1	358.71	30.137	0	4.281
Superestructura	1	39.458	29.891	0	9.905
Rampa (arriba)	1	1.142	56.693	0	6.074
Bow Door (P) cerrada	1	0.288	57.915	-1.113	4.625
Bow Door (S) cerrada	1	0.288	57.915	1.113	4.625
Castillo (s)	1	0.192	53.485	2.814	7.491
Castillo (P)	1	0.192	53.485	-2.814	7.491
Subtotal		400.27	30.251	0	4.844
.G-200 PROPULSION					
Engines	1	5.06	21.46	-1.568	1.474
Engines	1	5.06	21.46	1.568	1.474
Gear boxes	1	1.94	20.082	-1.589	1.01
Gear boxes	1	1.94	20.082	1.589	1.01
Shafts	1	2	14.143	-1.657	0.82
Shafts	1	2	14.143	1.657	0.82
Propellers	1	0.35	2.54	-1.657	0.82
Propellers	1	0.35	2.54	1.657	0.82
Rudders	1	1.525	1.88	-1.657	0.945
Rudders	1	1.525	1.88	1.657	0.945
Steering machines	1	0.5	1.805	-1.657	1.826
Steering machines	1	0.5	1.805	1.657	1.826
Subtotal		22.75	15.867	0	1.204
.G-300 ELECTRICO					
Gennerator set	1	1.98	14.182	-3.905	1.168
Generator set	1	1.98	14.182	3.905	1.168
Switch Boards	1	1.56	31.934	0	9.291
Subtotal		5.52	19.199	0	3.464
.G-600 EQUIPOS					
Capitán	1	1.608	34.023	4.3	2.302
Oficiales	1	11.017	32.293	2.774	2.302

Tripulación	1	16.086	33.02	-2.291	2.302
Tropas 1	1	29.536	39.832	0	2.302
Tropas 2	1	21.576	13.266	0	2.302
Bodega de Provisiones	1	21.483	27.005	0	2.302
Sb 1	1	1.925	53.325	3.009	4.748
Sb 3	1	3.149	46.084	4.143	4.748
Sb 4	1	4.76	39.884	4.247	4.748
Sb 5	1	5.715	33.479	4.14	4.748
Sb 6	1	3.782	7.834	3.701	4.748
Ps 1	1	1.925	53.325	-3.009	4.748
Ps 3	1	3.149	46.084	-4.143	4.748
Ps 4	1	4.76	39.884	-4.247	4.748
Ps 5	1	5.715	33.479	-4.14	4.748
Ps 8	1	4.626	13.166	-3.903	4.748
Ps 9	1	3.782	7.834	-3.701	4.748
Subtotal		144.594	30.171	-0.121	3.034
.G-700 ARMAMENT					
item	1	0	0	0	0
Subtotal			0	0	0
.G-800 INTEGRATION/ENG					
Cargadora	1	33.1	9.681	0	4.761
Cargadora	1	33.1	18.231	0	4.761
Cargadora	1	33.1	26.781	0	4.955
Vehículo Militar	1	3.973	32.86	-1.499	4.215
Vehículo Militar	1	3.973	32.86	1.499	4.215
Vehículo Militar	1	3.973	37.515	-1.499	4.215
Vehículo Militar	1	3.973	37.515	1.499	4.215
Vehículo Militar	1	3.973	41.82	-1.499	4.215
Vehículo Militar	1	3.973	41.82	1.499	4.215
Vehículo Militar	1	3.973	46.226	-1.499	4.215
Vehículo Militar	1	3.973	46.226	1.499	4.215
Subtotal		131.084			

Tabla 66.- Desglose de Pesos y Centros de Gravedad.

TANQUE DE COMBUSTIBLES	Densidad	VOL	LONG	TRANS	VERT
	[ton/m3]	[m3]	[m]	[m]	[m]
DO ST TK Bb1	0.84	18.55	39.76	-2.96	0.8
DO ST TK Eb1	0.84	18.55	39.76	2.96	0.8
DO ST TK Bb2	0.84	20.336	32.942	-2.981	0.685
DO ST TK Eb2	0.84	20.336	32.942	2.981	0.685
DO ST TK SM	0.84	1.199	23.601	-4.446	0.544
DO ST TK AM	0.84	4.751	13.331	0	0.681
DO SET TK Bb	0.84	8.661	26.986	-3.861	0.593
DO SET TK Eb	0.84	8.661	26.986	3.861	0.593
DO SER TK Bb	0.84	7.235	26.966	-1.995	0.556
DO SER TK Eb	0.84	7.345	26.966	1.982	0.556
LUB SET TK	0.92	1.588	23.879	-1.995	0.489
LUB SET TK	0.92	1.613	23.879	1.982	0.489
SERVICIOS VARIOS	Densidad	VOL	LONG	TRANS	VERT
	[ton/m3]	[m3]	[m]	[m]	[m]
FW FEED TK	1	1.199	23.601	4.446	0.544
FW Tank Bb	1	18.8	26.144	-3.976	2.21
FW Tank Eb	1	18.8	26.144	3.976	2.21
FW Tank SM	1	22.905	8.207	0	2.268
LUB SER TK Bb	0.94	2.361	21.002	-4.443	0.491
LUB SER TK Eb	0.94	2.361	21.002	4.443	0.491
Ballast	1.025	11.858	8.322	0	0.778
Ballast	1.025	4.569	11.623	0	0.705
Oleosas	-	5.48285167	19.005	-2.44	0.491
Lodos	-	3.07056794	19.005	2.44	0.491

Tabla 67.- Desglose de Tanques y Centros de Gravedad.

ANEXO C
CONDICIONES ESPECIFICAS

ITEM	COND 1	COND 2.1	COND 2.2	COND 3.1	COND 3.2
Draft Amidships m	1.582	1.614	1.614	1.859	1.859
Displacement t	579.3	595.5	595.5	726.5	726.5
Heel deg	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Draft at FP m	1.762	1.782	1.782	1.848	1.848
Draft at AP m	1.402	1.446	1.446	1.871	1.871
Draft at LCF m	1.583	1.614	1.614	1.860	1.860
Trim (+ve by stern) m	-0.360	-0.335	-0.336	0.024	0.023
WL Length m	54.197	54.486	54.484	57.418	57.419
Beam max extents on WL m	10.279	10.279	10.279	10.274	10.274
Wetted Area m²	574.851	580.271	580.259	631.894	631.883
Waterpl. Area m²	498.573	500.949	500.936	527.590	527.579
Prismatic coeff. (Cp)	0.689	0.687	0.687	0.658	0.658
Block coeff. (Cb)	0.657	0.656	0.656	0.632	0.632
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.954	0.954	0.954	0.961	0.961
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.895	0.894	0.894	0.894	0.894
LCB from zero (+ve fwd) m	29.153	29.084	29.086	28.044	28.046
LCF from zero (+ve fwd) m	29.506	29.410	29.411	28.141	28.141
KB m	0.967	0.984	0.984	1.117	1.117
KG m	4.130	4.197	4.192	4.283	4.280
BMt m	7.008	6.844	6.844	5.794	5.794
BML m	181.616	179.279	179.265	172.819	172.808
GMt m	3.845	3.631	3.635	2.627	2.631
GML m	178.453	176.066	176.056	169.653	169.646
KMt m	7.975	7.827	7.827	6.911	6.911
KML m	182.574	180.254	180.240	173.929	173.918
Immersion (TPc) tonne/cm	5.110	5.135	5.135	5.408	5.408
MTc tonne.m	17.927	18.180	18.179	21.374	21.373
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	38.876	37.732	37.780	33.315	33.364
Max deck inclination deg	0.5763	0.5696	0.5695	0.5224	0.5216
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.3581	-0.3333	-0.3339	0.0236	0.0231

ITEM	COND 4.1	COND 4.2	COND 5	COND 6	COND 7
Draft Amidships m	1.890	1.890	2.126	1.951	2.018
Displacement t	740.7	740.7	871.8	778.3	810.3
Heel deg	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6
Draft at FP m	1.990	1.990	2.081	1.842	2.112
Draft at AP m	1.790	1.789	2.170	2.060	1.925
Draft at LCF m	1.887	1.887	2.128	1.956	2.014
Trim (+ve by stern) m	-0.200	-0.201	0.089	0.218	-0.187
WL Length m	56.981	56.979	57.578	57.452	57.544
Beam max extents on WL m	10.274	10.274	10.269	10.271	10.272
Wetted Area m²	630.65	630.63	664.04	643.34	651.65
Waterpl. Area m²	523.47	523.45	531.03	528.94	530.51
Prismatic coeff. (Cp)	0.681	0.681	0.683	0.658	0.688
Block coeff. (Cb)	0.657	0.657	0.662	0.637	0.662
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.965	0.965	0.968	0.967	0.961
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.894	0.894	0.898	0.896	0.898
LCB from zero (+ve fwd) m	28.700	28.701	27.895	27.501	28.628
LCF from zero (+ve fwd) m	28.466	28.467	28.159	28.078	28.196
KB m	1.133	1.133	1.264	1.171	1.203
KG m	3.506	3.503	3.683	4.207	3.817
BMt m	5.668	5.668	4.860	5.422	5.222
BML m	165.251	165.230	146.910	162.610	157.599
GMt m	3.294	3.298	2.441	2.386	2.607
GML m	162.877	162.860	144.491	159.574	154.985
KMt m	6.800	6.800	6.123	6.593	6.425
KML m	166.379	166.358	148.169	163.776	158.793
Immersion (TPc) tonne/cm	5.366	5.365	5.443	5.422	5.438
MTc tonne.m	20.921	20.919	21.845	21.537	21.778
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	42.581	42.629	37.134	32.405	36.875
Max deck inclination deg	0.4336	0.4335	0.4528	0.4492	0.6022
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.1990	-0.1996	0.0881	0.2166	-0.1858

Tabla 68.- Resultados de los Cálculos de Estabilidad.

ANEXO D

Criterio Meteorológico

Brazos escorantes

A continuación, se presentan las formulaciones usadas para calcular los brazos escorantes manifestados anteriormente:

$$l_{w1} = \frac{P * A * Z}{1000 * g * \Delta}$$

$$l_{w2} = 1.5 * l_{w1}$$

Donde:

P = presión debido al viento, 504 [Pa]

A = Área lateral de la Obra Muerta y Superestructuras proyectada, por encima de la línea de agua en m^2 .

Z = distancia vertical entre el centro de gravedad del área A hasta el centro del área lateral por debajo de la línea de agua en metros.

Δ = desplazamiento en toneladas.

g = aceleración de la gravedad $\frac{m}{seg^2}$

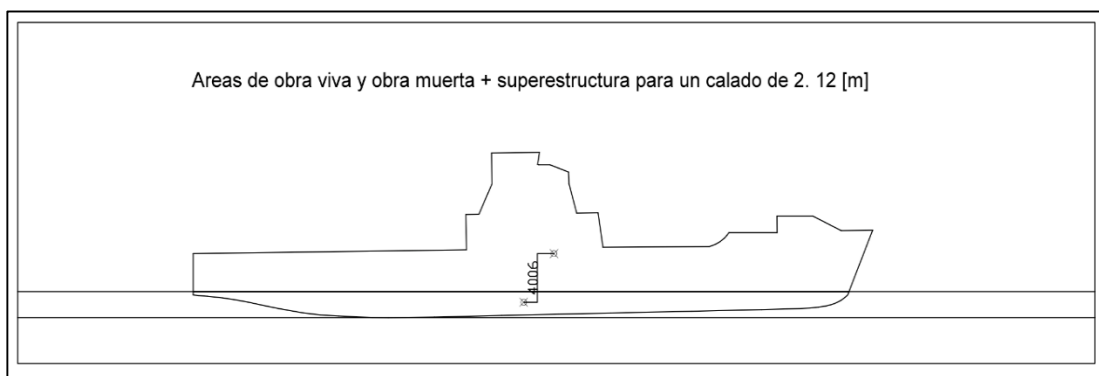


Figura A.1.- Áreas proyectadas para la condición de carga 5.

Ángulos escorantes

El ángulo de roldo θ_1 se calcula de la siguiente manera:

$$\theta_1 = 109 * k * X_1 * X_2 * \sqrt{\tau * s}$$

Donde:

X1 = es un factor mostrado en la tabla.

X2 = es un factor mostrado en la tabla.

k = 1.0 para pantoques redondeados y barcos que no poseen quillas.

s = es un factor mostrado en la tabla.

$$\tau = 0.73 \pm 0.6 \frac{OG}{d}$$

OG = distancia entre el centro de gravedad y la línea de agua en metros, (+) si el centro de gravedad está por encima de la línea de agua, (-) si está por debajo.

d = calado moldeado del buque.

B/d	X1				
<= 2.4	1.00			Ak * 100	T
2.5	0.98			LB	s
2.6	0.96	Cb	X2	0.0	<= 6
2.7	0.95	<=0.45	0.75	1.0	7
2.8	0.93	0.50	0.82	1.5	8
2.9	0.91	0.55	0.89	2.0	12
3.0	0.90	0.60	0.95	2.5	14
3.1	0.88	0.65	0.97	3.0	16
3.2	0.86	>=0.7	1.00	3.5	18
3.3	0.84			4.0	>= 20
3.4	0.82			>=4.0	0.035
>=3.5	0.80				

Figura A.2.- Tablas para cálculo del criterio meteorológico.

Periodo de rolido

El periodo de rolido se calcula con la siguiente formulación:

$$T = \frac{2 * C * B}{\sqrt{GM}}$$

Donde:

$$C = 0.373 + 0.023 \left(\frac{B}{d} \right) - 0.043 \left(\frac{L}{100} \right)$$

L = eslora del buque a la línea de agua, en metros.

B = manga moldeada, en metros.

d = calado moldeado, en metros.

Cb = coeficiente bloque

Ak = área total de quillas, en m²

GM = altura metacéntrica corregida por superficie libre, en metros.

ANEXO E

Validación de Formas Propuestas

Los principales cambios se notan en la sección de la proa y la popa. Las formas son más finas; esto en consecuencia originó cambios en el diseño, sobretodo en el equilibrio longitudinal, específicamente en la localización de los centros de la boyantes y flotación. Cambios significativos en la curva de áreas y ángulos de entrada. En la popa, tenemos un espejo de poca altura de popa y la inclusión de túneles que ayudarán en el impulso necesario para salir de la playa. Todos estos cambios y añadidos a la falta de apoyo de serie sistemática, obligando a confirmar la selección de estas nuevas formas.

Aquí nos concentraremos en la justificación y validación de los métodos propuestos, validación cubrirá los siguientes aspectos:

- Estabilidad.
- Verificación, método Holtrop.
- Calado

Estabilidad

Se analizan cada una de las condiciones de carga estudiadas en el diseño preliminar, para verificar la estabilidad del buque con las nuevas formas, se obtienen las nuevas curvas y características hidrostáticas, y se verifica que el asiento este dentro de los rangos de aceptación ($< 1\%$ de la eslora).

Los resultados obtenidos en el cálculo en diferentes condiciones de carga con respecto al asiento son:

Condiciones de Carga	Trim [m]
1. Lightship	-0.131
2.1 LS + 10% Tks-Ramp Up	-0.084
2.1 LS + 10% Tks-Ramp Down	-0.019
3.1 LS + 10% Tks-Ramp Up	0.231
3.2 LS + 10% Tks-Ramp Down	0.059
4.1 LS + 100% Tks-Ramp Up	0.132
4.2 LS + 100% Tks-Ramp Down	0.152
5. LS + 100% Tks+Load	0.379
6. LS + 10% DO + 100%FW+Load	0.257
7. LS + 100% DO + 10% FW+Load	0.010

Tabla 69.- Asientos en diferentes condiciones de carga

Como se puede observar el valor del asiento en las diferentes condiciones de carga, se encuentra por debajo del 1% de la eslora del buque: 0.60 [m].

Calado

Un aspecto importante a considerar en la validación de las formas propuestas es el calado, y que el cambio de las formas va a cambiar sustancialmente las características hidrostáticas del prototipo; y como el buque lleva a cabo operaciones en niveles muy bajos de agua, es importante tener en cuenta las restricciones calados que poseen. En el diseño final, se manejan muchas variables, pero la que sigue, como un valor constante, será el desplazamiento. En el diseño preliminar, se obtuvo un calado de 2,26 metros para la condición de carga máxima; presentes para lograr el desplazamiento a carga máxima, el calado de acuerdo con las nuevas curvas hidrostáticas obtenidas será de 2,50 m. Este calado nos favorece en las relaciones sin dimensión para estar dentro de los parámetros necesarios para aplicar el método de Holtrop. El punto ahora es comprobar el calado en la condición de aterrizaje. A continuación, el resultado de los calados obtenidos de diferentes condiciones de carga:

Condiciones de Carga	DRAFT [m]		
	Amidships	FP	AP
1. Lightship	1.75	1.81	1.68
2.1 LS + 10% Tks-Ramp Up	1.78	1.82	1.74
2.1 LS + 10% Tks-Ramp Down	1.79	1.80	1.78
3.1 LS + 10% Tks-Ramp Up	2.10	1.98	2.21
3.2 LS + 10% Tks-Ramp Down	2.06	2.03	2.09
4.1 LS + 100% Tks-Ramp Up	2.01	1.95	2.08
4.2 LS + 100% Tks-Ramp Down	2.02	1.94	2.09
5. LS + 100% Tks-Load	2.28	2.09	2.47
6. LS + 10% DO + 100% FW-Load	2.10	1.98	2.23
7. LS + 100% DO + 10% FW-Load	2.22	2.21	2.22

Tabla 70.- Calados a las diferentes condiciones de carga.

Verificación del Método de Holtrop

Sin el apoyo de serie sistemática, es de vital importancia, primero verifique que el prototipo cumple con los requisitos mínimos para el método de análisis Holtrop 1984.

A continuación, se verifican los parámetros del método de la nave prototipo:

Parámetros	Mín.	Máx.	Buque	Status
Cp (lwl)	0.55	0.85	0.68	AP
Lwl/Bwl	3.9	14.9	5.61	AP
Bwl/T	2.1	4.0	4.0	AP
Fn	0.1	0.8	0.24	AP

Tabla 71.- Parámetros del método de Holtrop

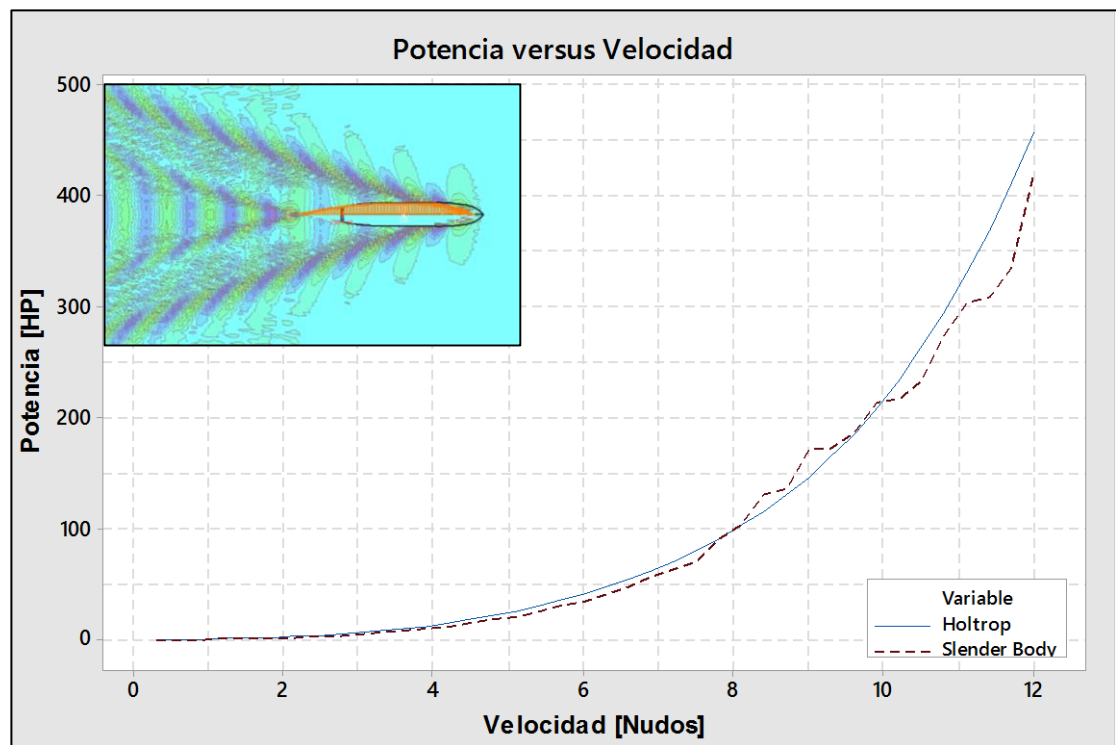


Gráfico A.1.- Resistencia del casco, método de Holtrop.

ANEXO F

Validación de los algoritmos

A continuación, se presentan los resultados de los cálculos realizados por los algoritmos se detallan; la comparación y validación de ellos, si es posible con los resultados obtenidos por el software convencional para el cálculo de los buques:

Para continuar con el resultado de se presentan los cálculos de estabilidad:

```

.
.
.           STABILITY CRITERIA
The area under GZ curve(untill 30degrees)it is : 0.12
Meets the requirements
The area under GZ curve(untill 40degrees)it is : 0.23
Meets the requirements
The area under GZ curve(untill 40degrees)it is : 0.10
Meets the requirements
The value of GMo it is :                      10.00
Meets the requirements
.
.           WEATHER CRITERIA FOR STABILITY
The value of X1 is:           0.8000
The value of X2 is:           0.8200
The value of K is:            0.9324
The value of S is:            0.1000
The value of lw1 is:          0.0110
The value of lw2 is:          0.0165
The value of teta 1 is:       23.4704
The value of teta 0 is:       1.0989
```

Figura A.3.- Resultados de la ejecución del algoritmo de estabilidad.

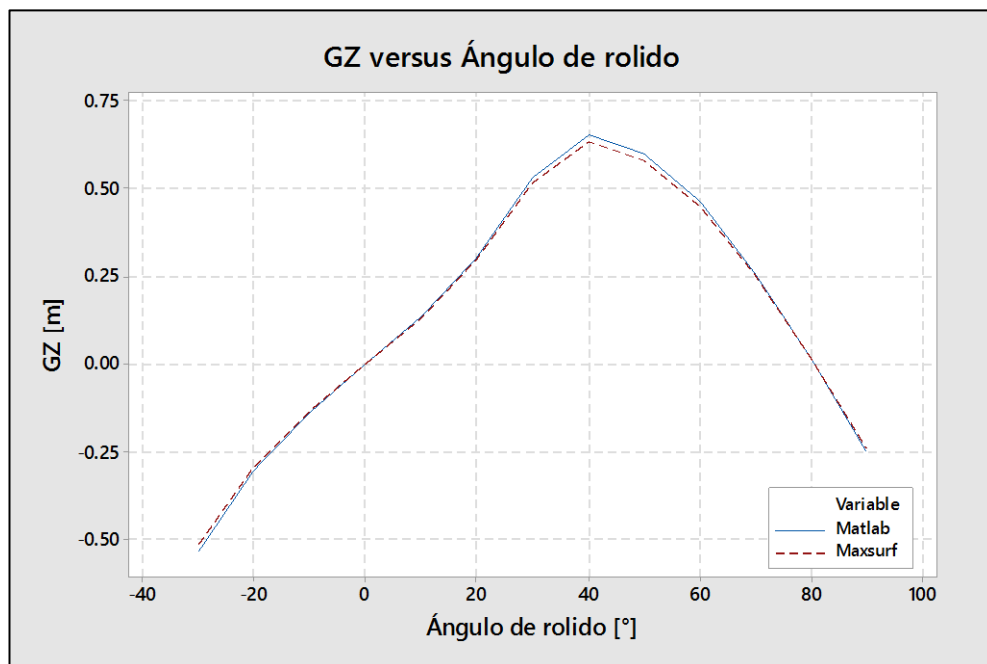


Gráfico A.2.- GZ vs Ángulos. Comparación algoritmo y software

TETA	GZ Algoritmo	GZ-Software
-30	-0.534	-0.517
-20	-0.3043	-0.295
-10	-0.1361	-0.132
0	0	0
10	0.1361	0.1320
20	0.3043	0.2951
30	0.534	0.5179
40	0.6537	0.6340
50	0.5991	0.581127
60	0.4612	0.447364
70	0.2583	0.250551
80	0.014	0.01358
90	-0.249	-0.24153

Tabla 72.- Comparación de Resultados de Estabilidad.

Maniobrabilidad

```

          ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
                SHIP DESIGN II
                MANEUVERABILITY CALCULUS
          STUDENTS: D. Hurtado & O. Macías
                TUTOR:Ing. Johnny Domínguez R.

Rudder Area: 2.432756 [m2]

MANEUVERABILITY CRITERIAS

TURNING ABILITY
Turning Diameter: 155.931981 [m]
Tactical Diameter: 164.024205 [m]
Advance: 147.890202 [m]
Transfer: 66.461682 [m]
RATING OF FIRST CRITERIA IS: 3

INITIAL TURNING ABILITY
Pre-rating of second criteria (10/10) zig-zag is: 5
Pre-rating of second criteria (20/20) zig-zag is: 5
RATING OF SECOND CRITERIA IS: 5

RATING OF THIRD CRITERIA IS: 2

STOPPING ABILITY
Head Reach is: 841.716649 [m], in 27, iterations
RATING OF FOURTH CRITERIA IS: 2

THE OVERALL RATING OF SHIP IS: MAN--3
END OF THE SUBROUTINE

```

Figura A.4.- Resultados de la ejecución del algoritmo de maniobrabilidad.

	Algoritmo	Mpp
Diámetro de giro	155.93	109.88
Diámetro Táctico	164.02	117.86
Avance	147.89	123.26
Transferencia	66.46	42.24

Tabla 73.- Comparación de los resultados obtenidos

Resistencia

Los resultados de la ejecución del algoritmo de Resistencia son mostrados a continuación:

```
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
SHIP DESIGN II
RESISTANCE CALCULUS
STUDENTS: D. Hurtado & O. Macías
TUTOR:Ing. Johnny Domínguez R.

Frictional Resistance: 20.346631 [kN]

Appendage Resistance: 0.516258 [kN]

Wave Resistance: 8.055377 [kN]

Bulbous bow Resistance: 0.000000 [kN]

Transom Resistance: 2.152112 [kN]

TOTAL RESISTANCE: 36.810532 [kN]
```

Figura A.5.- Resultados de la ejecución del algoritmo de resistencia.

A seguir se muestran los resultados de la resistencia para las diferentes velocidades del buque, comparando los resultados del algoritmo con el software

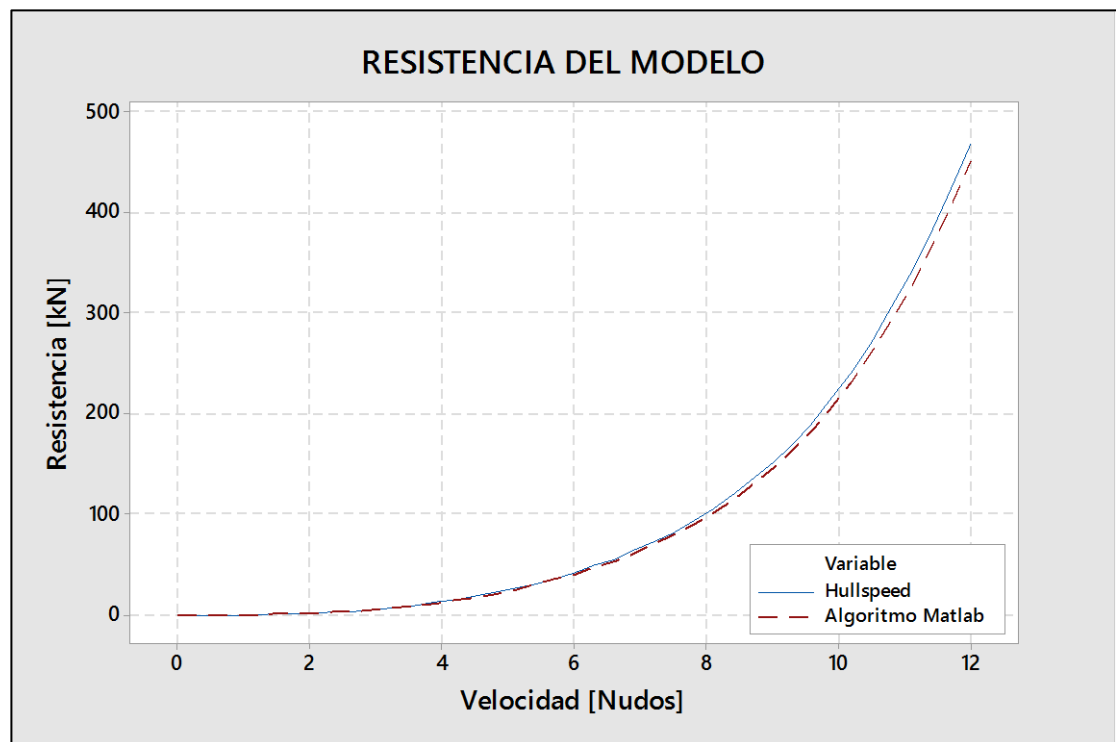


Gráfico A.3.- Resultados de Resistencia. Algoritmo y Software.

ANEXO G

Validación del algoritmo

Para validar los resultados y funcionalidad del algoritmo de estructuras, desarrollado en Matlab, se compara con el software de cálculo estructural POSEIDON 15.0, desarrollado por la Sociedad de Clasificación DNV-GL. Se ingresa el resultado obtenido en el escantillonado realizado con el algoritmo, y verificamos que cada uno de estos parámetros estén de acuerdo con lo requerido por la Sociedad de Clasificación. A seguir se presenta el modelo 3D del compartimento número 5, tomado como base para el cálculo, y desarrollado en el software Poseidon 15.0

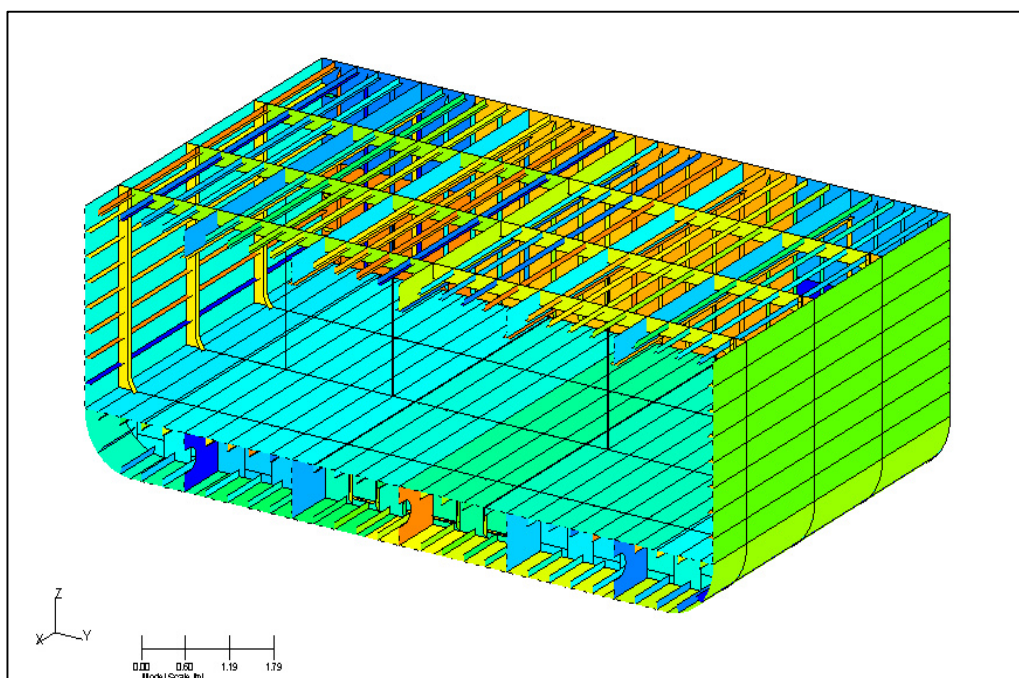


Figura A.6.- Modelo 3D de Poseidon del compartimento 5. [18]

Entre los parámetros analizados se tiene: espesor del planchaje, elementos estructurales en general, frecuencias naturales de planchas y refuerzos, a continuación, se presenta la verificación de estos resultados obtenidos en Matlab, con el software Poseidon.

Verificación de Espesores

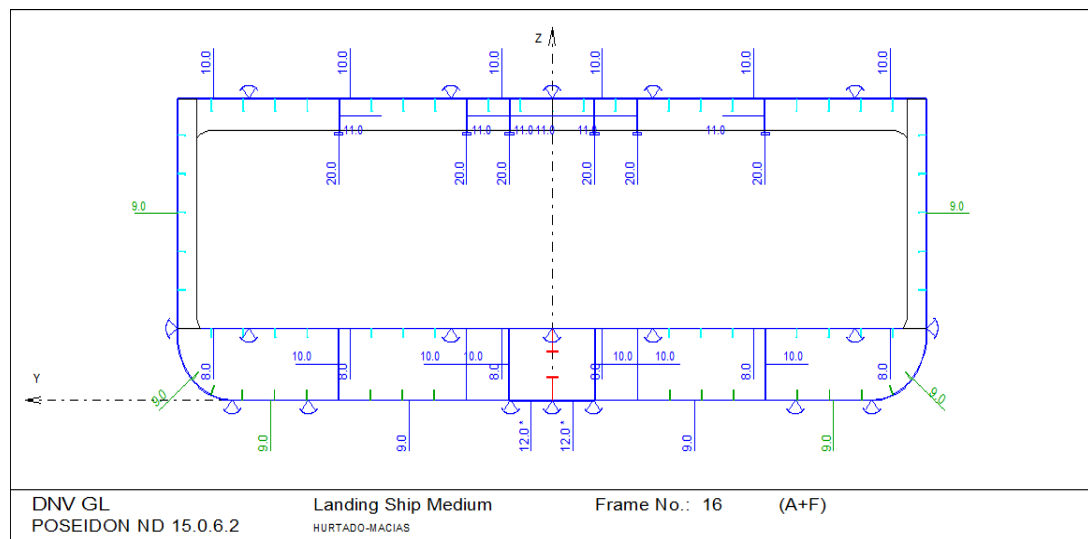


Figura A.7.- Espesores ingresados en Poseidon [18]

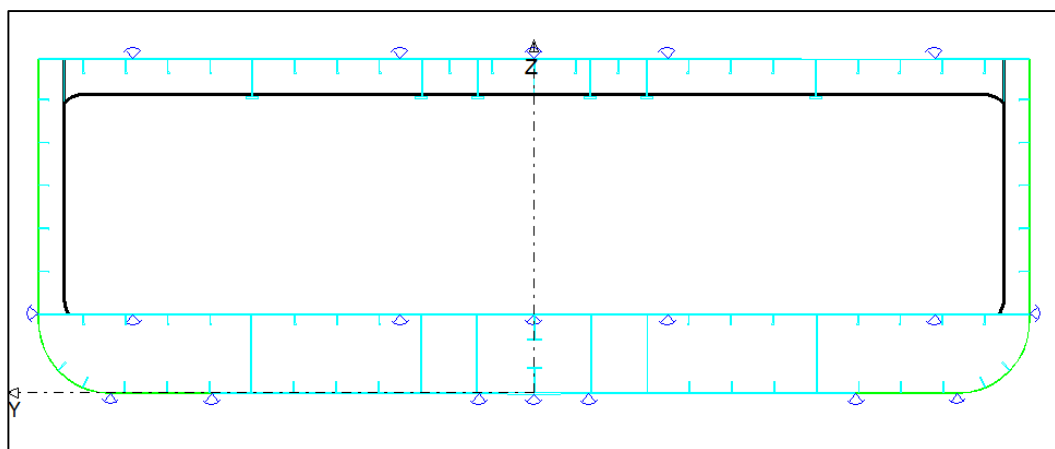


Figura A.8.- Espesores aprobados por Poseidon.

Como se puede observar, los colores verde y cian, indican que el espesor para cada plancha es aprobado, el color cian indica que el espesor está sobre el requerido, y el verde indica que el espesor pasa el cálculo sin mucho margen de diferencia, acorde al requerido.

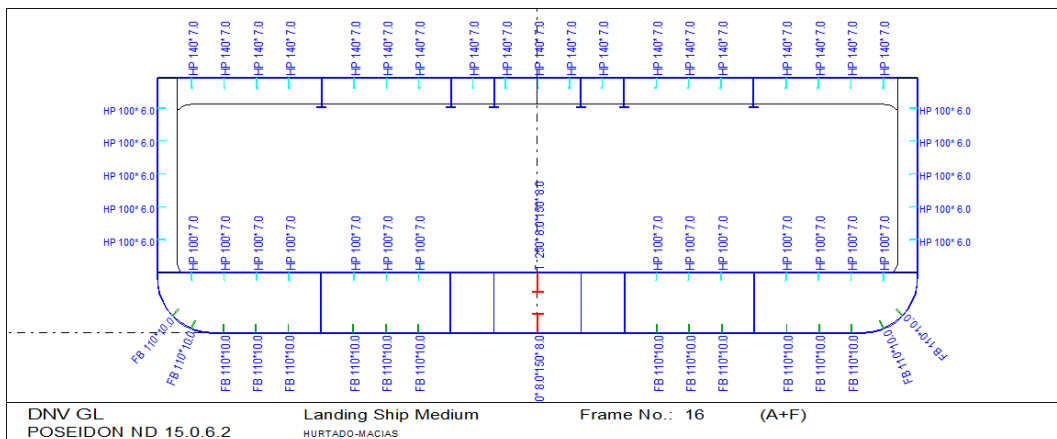


Figura A. 9.- Perfiles longitudinales en sección Media, en Poseidon.

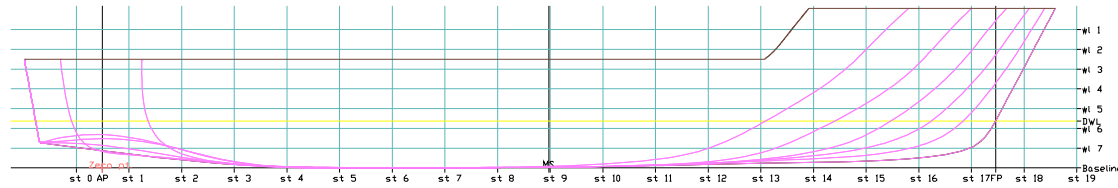
ANEXO H

PLANOS

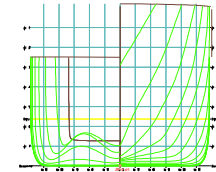
- Líneas de forma
- Distribución general
- Distribución estructural
- Cuaderna Maestra
- Cuaderna en Proa
- Bloque de Sala de Máquinas
- Bloque de Proa
- Accesorios de compuertas y rampa

Landing Ship Medium

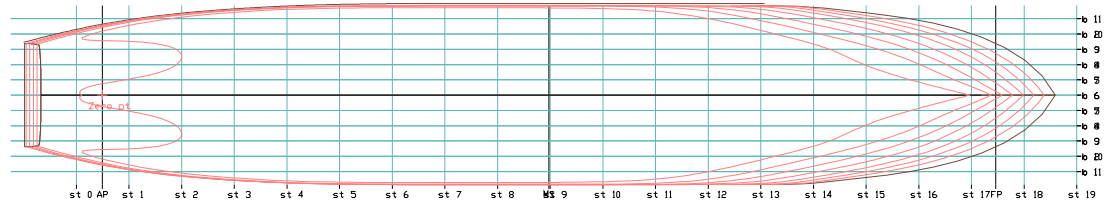
Vista de Perfil



Vista Transversal



Vista de Planta



Dimensiones Principales

Estora	56.19 [m]
Manga	9.76 [m]
Puntal	3.78[m]
Calado	2.56[m]
Desplazamiento	900 ton (full)

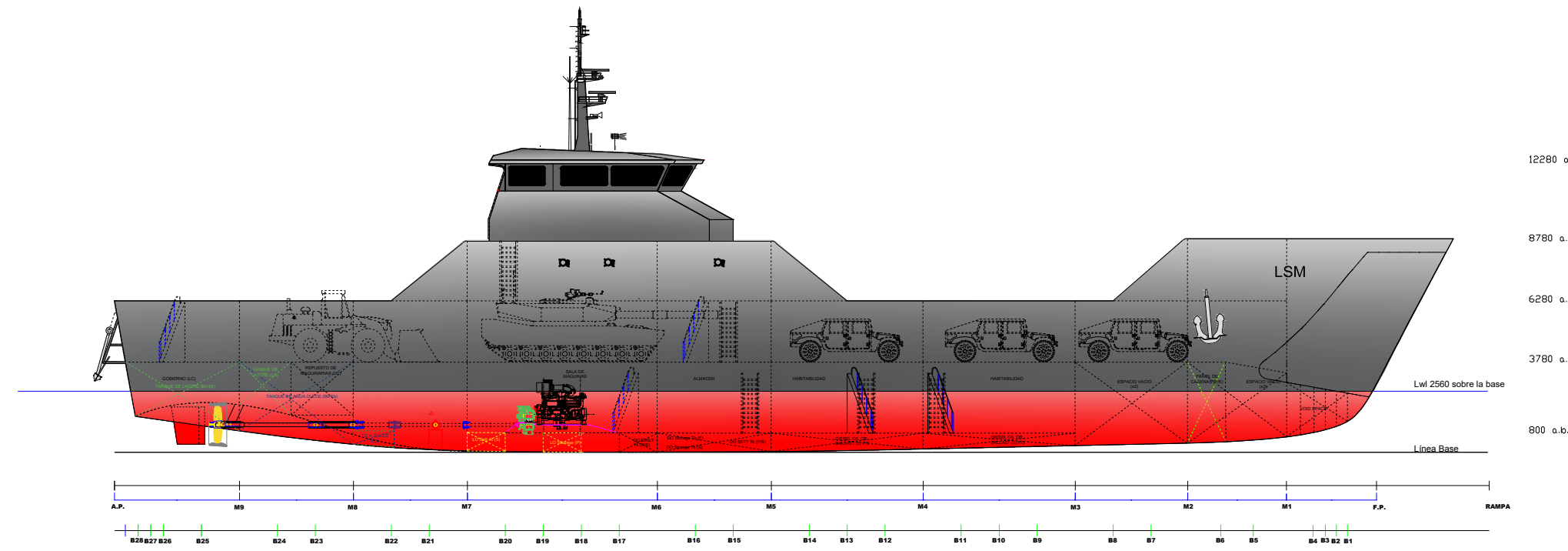


ESPOL
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



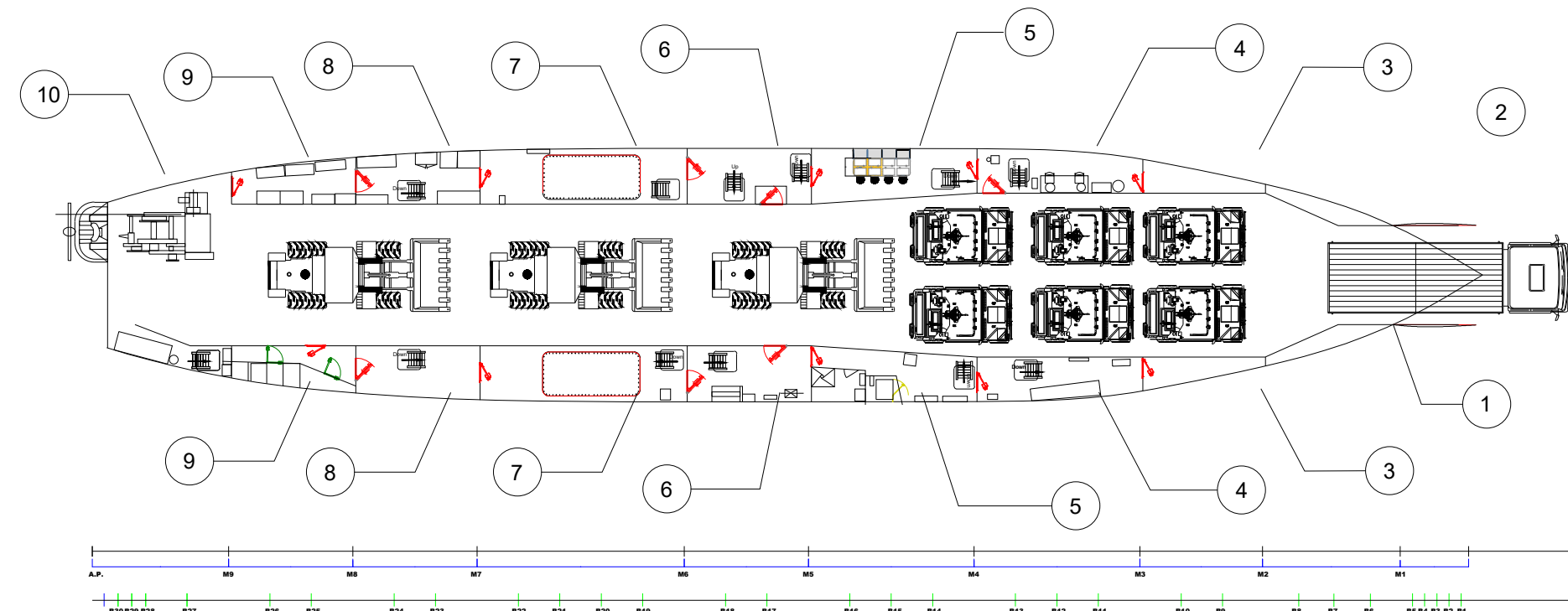
MATERIA:	PROYECTO INTEGRADOR	No PLANO 01
DESCRIPCIÓN	LINEAS DE FORMAS - MODELO	
NOMBRE DEL BUQUE	LANDING SHIP MEDIUM	
ESCALA:	FECHA:	2015 - 2016
DIBUJO:	OSCAR MACIAS	PROFESOR: ING. JOHNNY DOMINGUEZ

Landing Ship Medium - 001
ARREGLO GENERAL

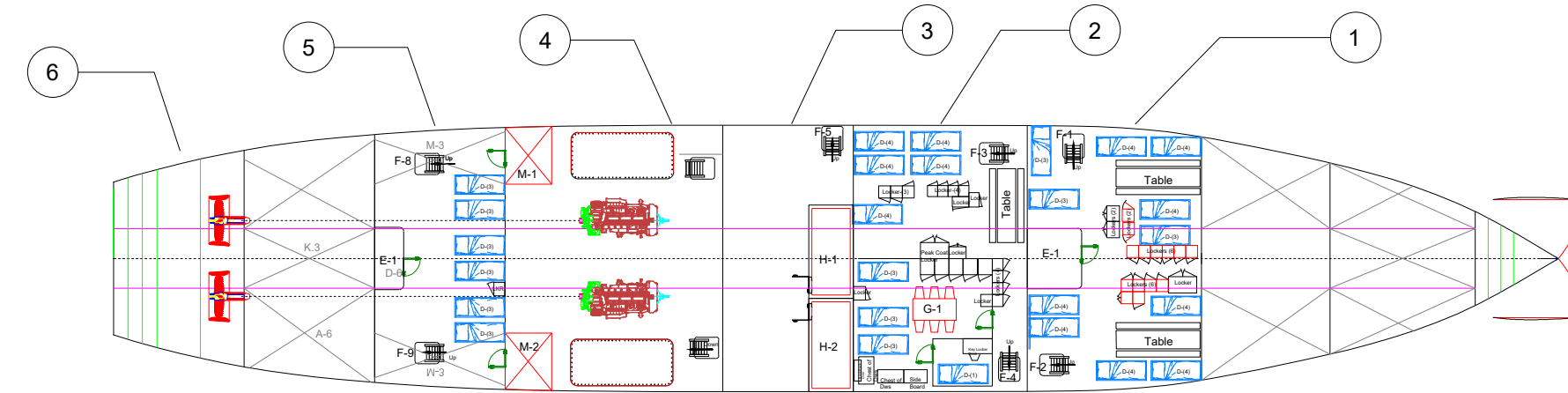


VISTA DE PERFIL

DIMENSIONES PRINCIPALES	
ESLORA TOTAL	56.19 m.
MANGA	09.76 m.
PUNTAL A LA CBTA. SUPERIOR	06.28 m.
PUNTAL A LA CBTA. PRINCIPAL	03.78 m.
MOTORES	Cummins Marine Diesel
MODELO	K38-M
POTENCIA	1000 HP a 1800 RPM
VELOCIDAD	10.3 NUDOS



Cubierta Principal 3780 sobre la base



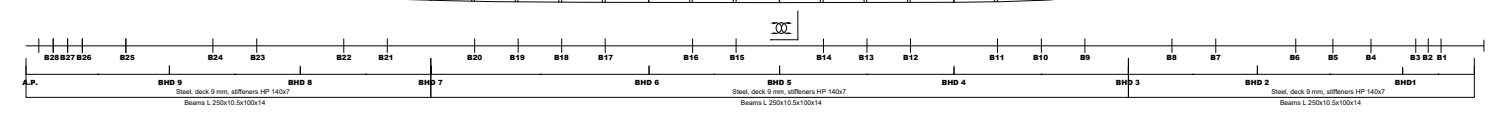
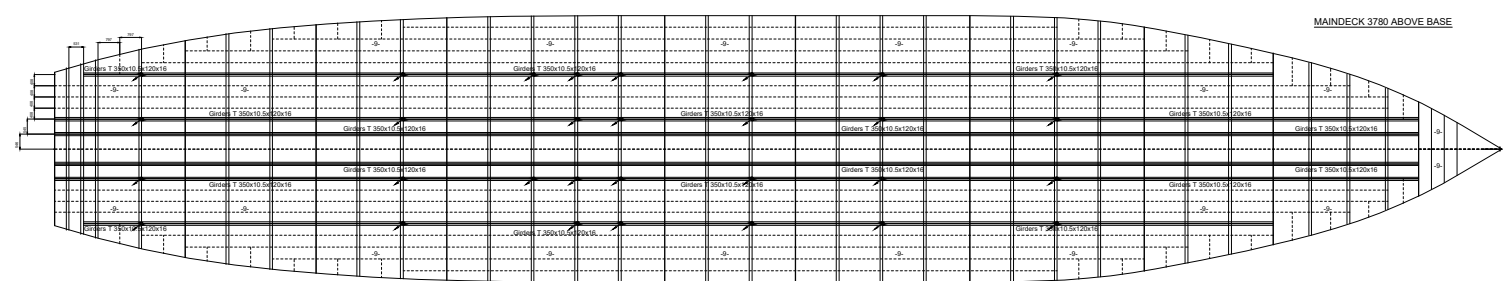
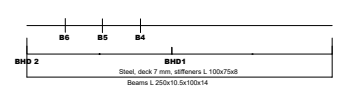
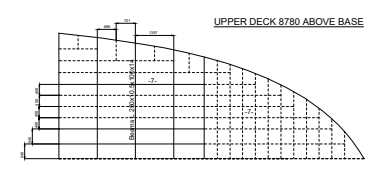
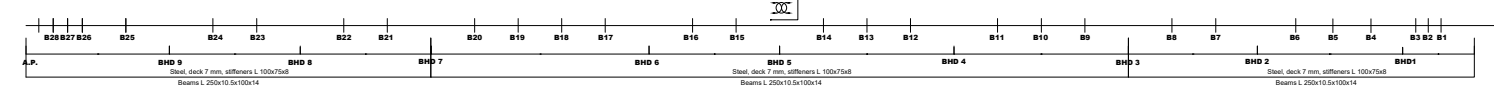
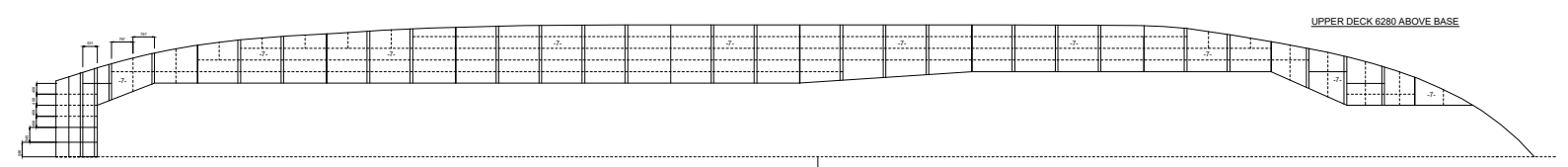
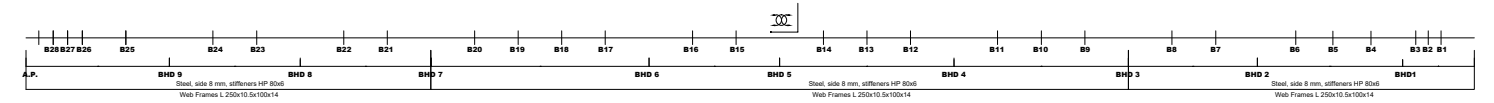
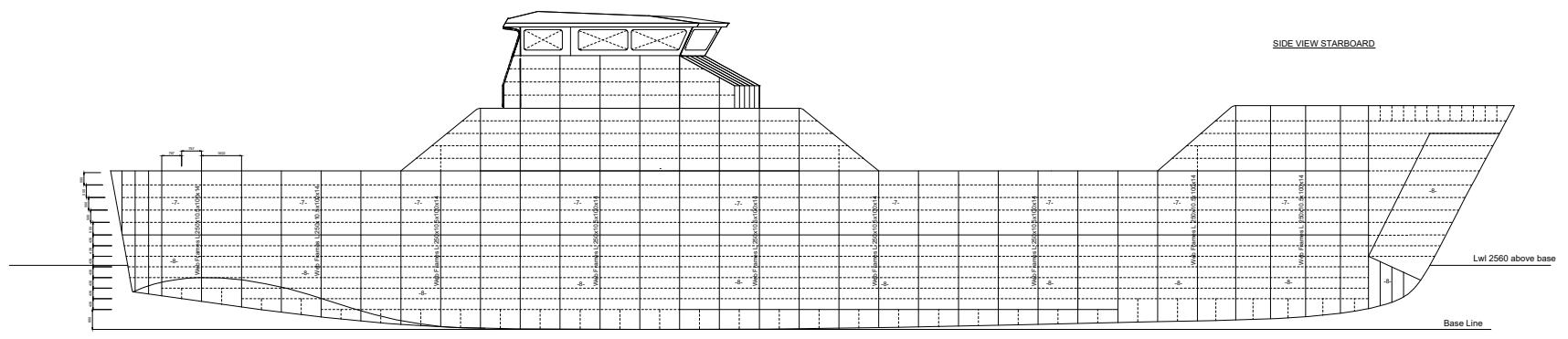
Bajo cubierta Principal 3780 sobre la base

- DESCRIPCION GENERAL**
- Habitabilidad Tropas
 - Habitabilidad Tripulación y Oficiales
 - Bodega de Provisiones
 - Sala de Máquinas
 - Habitabilidad Tropas
 - Compartimento Mecanismo de Gobierno

- GENERAL DESCRIPTION**
- Portside*
- Maquinaria para rampa
 - Equipos del winche
 - Cuarto del Oficial
 - Comedor
 - Corredor
 - Corredor
 - Área de trabajos generales
 - Espacio de Ingenieros
 - Winche de Popa

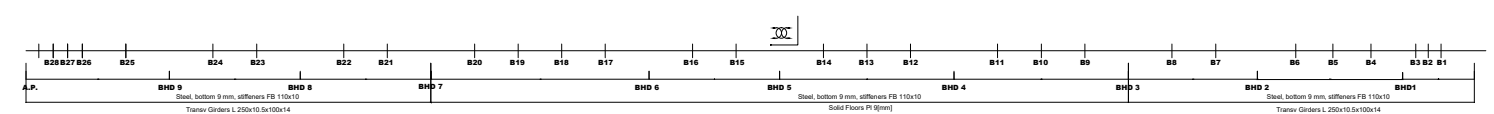
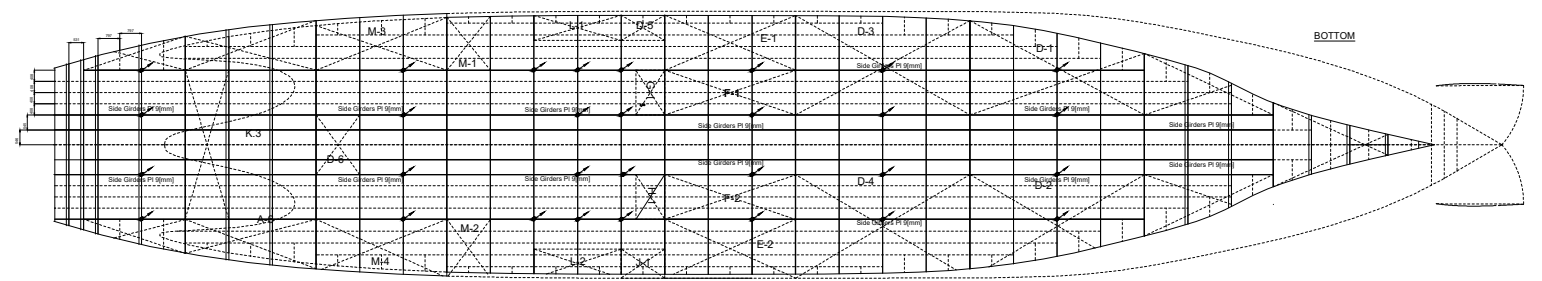
- General Description**
- Starboard*
- Equipos de las compuertas
 - Baños Tripulación
 - Duchas Tripulación
 - Baños y Duchas Oficiales
 - Corredor
 - Corredor
 - Corredor
 - Espacio para artillería

<h1>ESPOL</h1>	
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL	
MATERIA:	PROYECTO INTEGRADOR
	No PLANO 01
DESCRIPCION	PLANO DISTRIBUCION GENERAL
NOMBRE DEL BUQUE	LANDING SHIP MEDIUM
ESCALA:	FECHA: SEPTIEMBRE 2016
DIBUJO: OSCAR MACIAS	PROFESOR: ING. JOHNNY DOMINGUEZ



PRINCIPAL DIMENSIONS

OVERALL LENGTH	56.19 [m]
BEAM	9.76 [m]
DEPTH	3.78 [m]
DRAFT	2.56 [m]
PLATES	
Deck	9 [mm]
Sides	8 [mm]
Bottom	9 [mm]
Pillar Under	6" Sch 40
Pillar Above	6" Sch 40

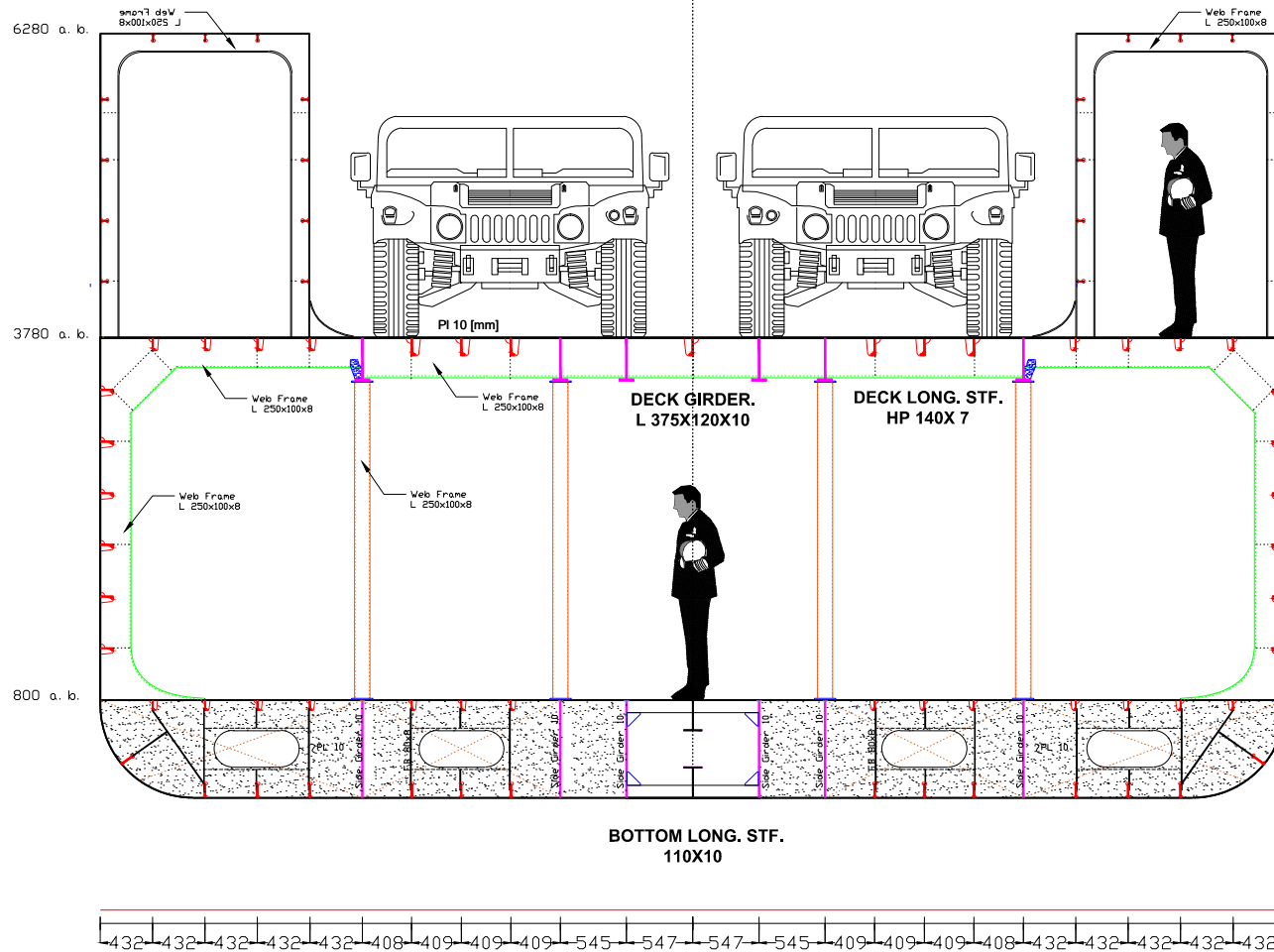


ESPOL

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

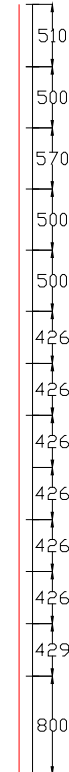
MATERIA:	PROYECTO INTEGRADOR	No PLANO 01
DESCRIPCIÓN	PLANO ESTRUCTURAL GENERAL	
NOMBRE DEL BUQUE	LANDING SHIP MEDIUM	
ESCALA:		FECHA: SEPTIEMBRE 2016
DIBUJO:	OSCAR MACIAS	PROFESOR: ING. JOHNNY DOMINGUEZ

BULARCAMA DE PROA



SCALE OF SIDE LONG. STF.
100x75x8

SIDE LONG. STF.
HP 100X 8



Details

- | | |
|------------------------------|----------------|
| 1.- Inner Bottom Shell | PL 8mm |
| 2.- Bottom Shell | PL 9mm |
| 3.- Side Shell | PL 9mm |
| 4.- Vehicle Deck Shell | PL 10mm |
| 5.- Division Bulkhead | PL 7mm |
| 6.- Deck Trans. Web Frame | L 350x120x10mm |
| 8.- Side Trans. Web Frame | L 250x90x10mm |
| 9.- Bottom Trans. Web Frame | L 250x100x8mm |
| 10.- Deck Long. Prim. Stf. | L 375x120x10mm |
| 11.- Deck Long. Stf. | HP 140x7mm |
| 12.- Side Long. Stf. | HP 100x6mm |
| 13.- Inner Bottom Long. Stf. | HP 80x7mm |
| 14.- Bottom Long. Stf. | FB 110x10mm |
| 15.- Trans. Stiffener | FB 90x10mm |
| 16.- Pillar Diameter | Ø152x4mm |
| 17.- Trans. Girder | PL 10mm |
| 18.- Strut | I 80x8mm |
| 19.- Bottom Long. Prim. Stf. | PL 10mm |
| 20.- Bhd. Prim. Stf. | L 100x80x8mm |
| 21.- Bhd. Stiffener | I 100x8mm |



ESPOL
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

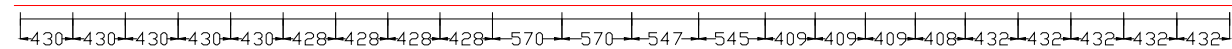
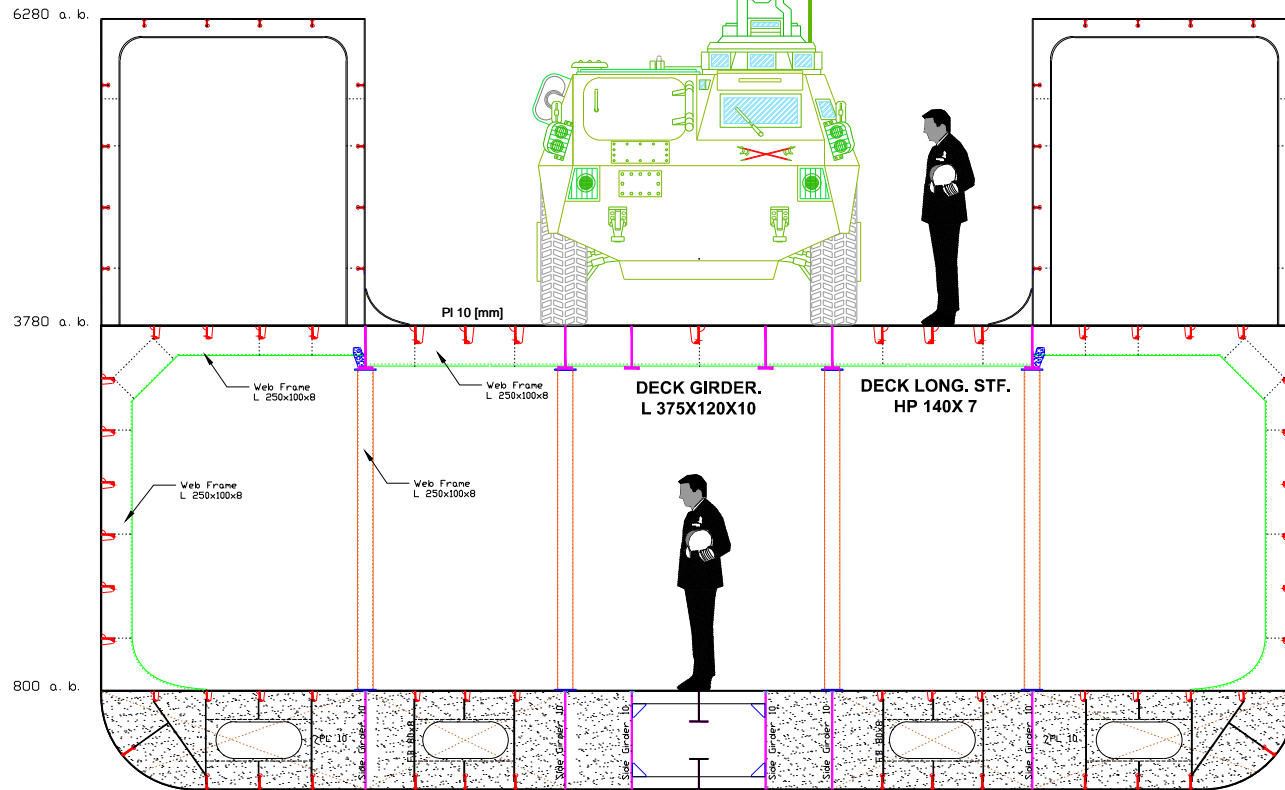


MATERIA:	PROYECTO INTEGRADOR	No PLANO 01
DESCRIPCIÓN	BULARCAMA DE PROA	
NOMBRE DEL BUQUE	LANDING SHIP MEDIUM	
ESCALA:	FECHA:	SEPTIEMBRE 2016
DIBUJO:	OSCAR MACIAS	PROFESOR: ING. JOHNNY DOMINGUEZ

BULARCAMA TIPO DE SECCION MEDIA

TIPO SOLID FLOOR

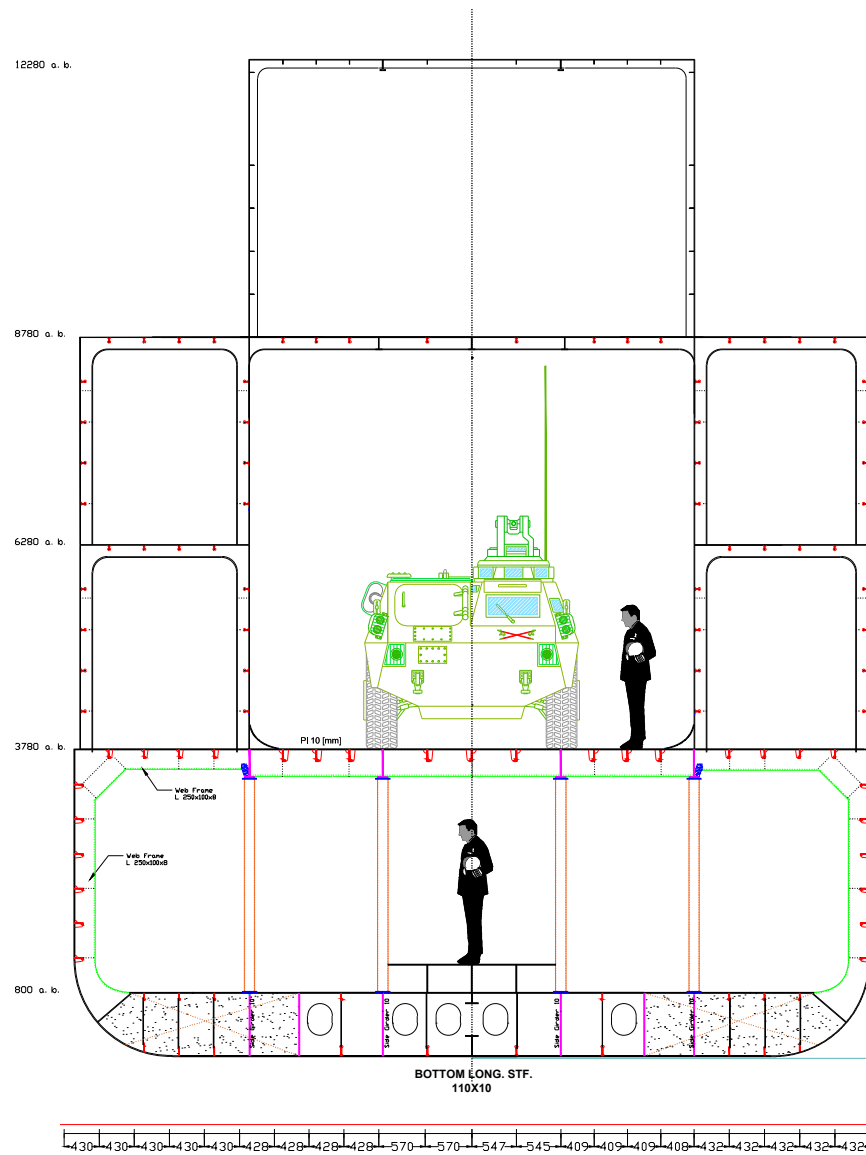
B10



Details	
1.- Inner Bottom Shell	PL 8mm
2.- Bottom Shell	PL 9mm
3.- Side Shell	PL 9mm
4.- Vehicle Deck Shell	PL 10mm
5.- Division Bulkhead	PL 7mm
6.- Deck Trans. Web Frame	L 350x120x10mm
8.- Side Trans. Web Frame	L 250x90x10mm
9.- Bottom Trans. Web Frame	L 250x100x8mm
10.- Deck Long. Prim. Stf.	L 375x120x10mm
11.- Deck Long. Stf.	HP 140x7mm
12.- Side Long. Stf.	HP 100x6mm
13.- Inner Bottom Long. Stf.	HP 80x7mm
14.- Bottom Long. Stf.	FB 110x10mm
15.- Trans. Stiffener	FB 90x10mm
16.- Pillar Diameter	Ø152x4mm
17.- Trans. Girder	PL 10mm
18.- Strut	I 80x8mm
19.- Bottom Long. Prim. Stf.	PL 10mm
20.- Bhd. Prim. Stf.	L 100x80x8mm
21.- Bhd. Stiffener	I 100x8mm

	<h1>ESPOL</h1> <p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL</p>				
			MATERIA:	PROYECTO INTEGRADOR	No PLANO 01
DESCRIPCIÓN			BULARCAMA DE SECCION MEDIA		
NOMBRE DEL BUQUE			LANDING SHIP MEDIUM		
ESCALA:			FECHA:	SEPTIEMBRE 2016	
DIBUJO:	OSCAR MACIAS		PROFESOR:	ING. JOHNNY DOMINGUEZ	

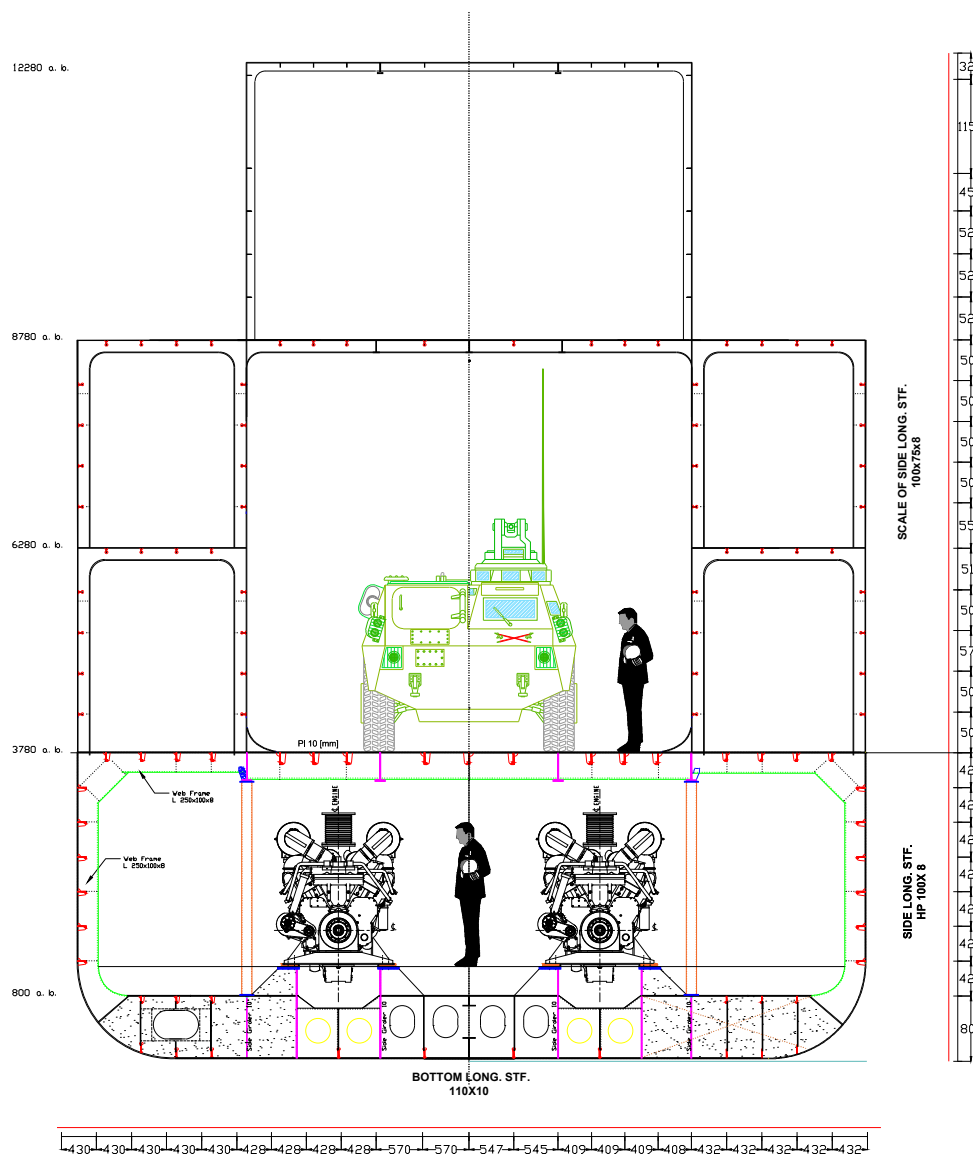
BULARCAMA TIPO DE SALA DE MÁQUINAS



Details	
1.- Inner Bottom Shell	PL 8mm
2.- Bottom Shell	PL 9mm
3.- Side Shell	PL 9mm
4.- Vehicle Deck Shell	PL 10mm
5.- Division Bulkhead	PL 7mm
6.- Deck Trans. Web Frame	L 350x120x10mm
8.- Side Trans. Web Frame	L 250x90x10mm
9.- Bottom Trans. Web Frame	L 250x100x8mm
10.- Deck Long. Prim. Stf.	L 375x120x10mm
11.- Deck Long. Stf.	HP 140x7mm
12.- Side Long. Stf.	HP 100x6mm
13.- Inner Bottom Long. Stf.	HP 80x7mm
14.- Bottom Long. Stf.	FB 110x10mm
15.- Trans. Stiffener	FB 90x10mm
16.- Pillar Diameter	Ø152x4mm
17.- Trans. Girder	PL 10mm
18.- Strut	I 80x8mm
19.- Bottom Long. Prim. Stf.	PL 10mm
20.- Bhd. Prim. Stf.	L 100x80x8mm
21.- Bhd. Stiffener	I 100x8mm

ESPOL ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
MATERIA:	PROYECTO INTEGRADOR	No PLANO	01
DESCRIPCIÓN	BULARCAMA DE SALA DE MÁQUINAS		
NOMBRE DEL BUQUE	LANDING SHIP MEDIUM		
ESCALA:	FECHA: SEPTIEMBRE 2016		
DIBUJO:	OSCAR MACIAS	PROFESOR: ING. JOHNNY DOMINGUEZ	

BULARCAMA TIPO DE SALA DE MÁQUINAS BASES DE MOTORES

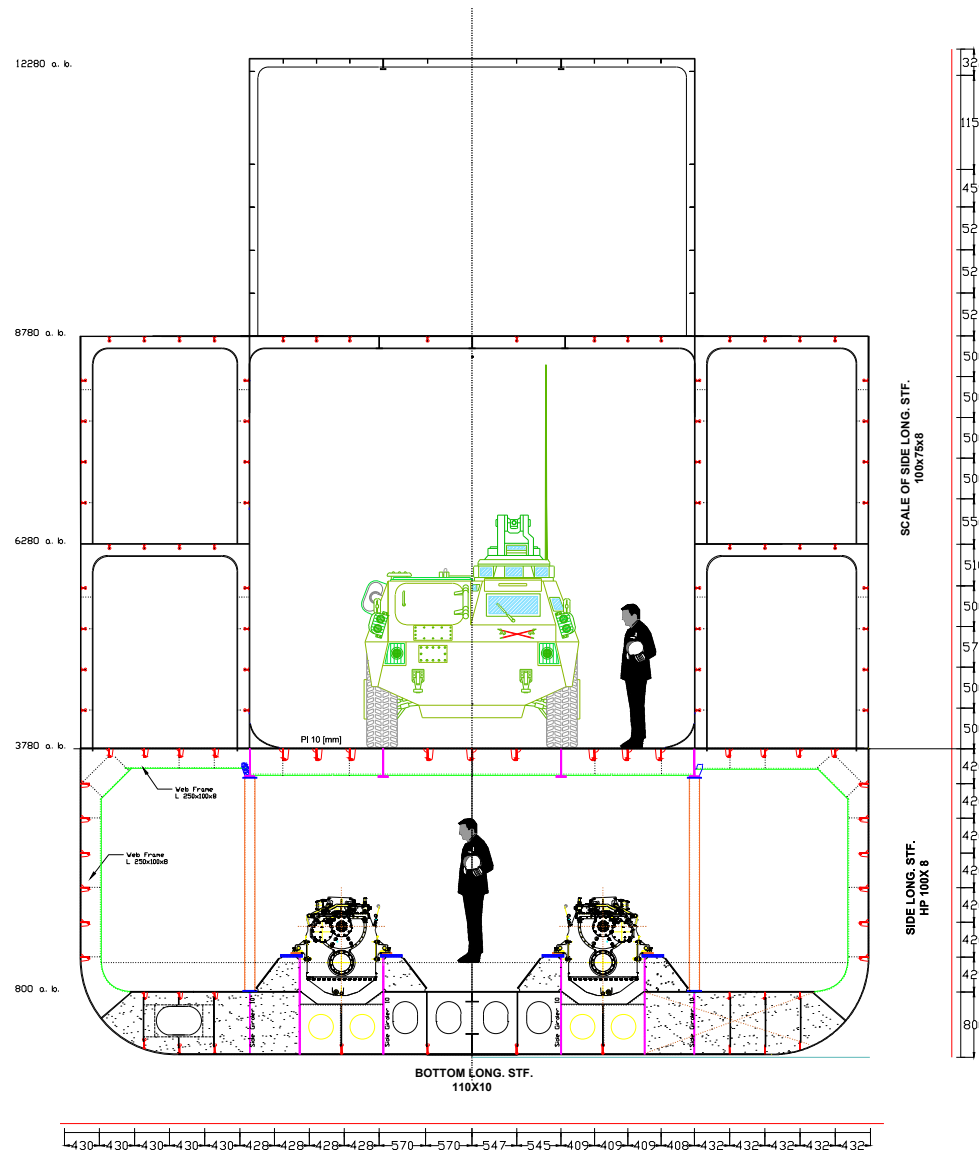


Details	
1.- Inner Bottom Shell	PL 8mm
2.- Bottom Shell	PL 9mm
3.- Side Shell	PL 9mm
4.- Vehicle Deck Shell	PL 10mm
5.- Division Bulkhead	PL 7mm
6.- Deck Trans. Web Frame	L 350x120x10mm
8.- Side Trans. Web Frame	L 250x90x10mm
9.- Bottom Trans. Web Frame	L 250x100x8mm
10.- Deck Long. Prim. Stf.	L 375x120x10mm
11.- Deck Long. Stf.	HP 140x7mm
12.- Side Long. Stf.	HP 100x6mm
13.- Inner Bottom Long. Stf.	HP 80x7mm
14.- Bottom Long. Stf.	FB 110x10mm
15.- Trans. Stiffener	FB 90x10mm
16.- Pillar Diameter	Ø152x4mm
17.- Trans. Girder	PL 10mm
18.- Strut	I 80x8mm
19.- Bottom Long. Prim. Stf.	PL 10mm
20.- Bhd. Prim. Stf.	L 100x80x8mm
21.- Bhd. Stiffener	I 100x8mm

ESPOL ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
MATERIA:	PROYECTO INTEGRADOR	No PLANO	01
DESCRIPCIÓN	BULARCAMA DE SALA DE MÁQUINAS		
NOMBRE DEL BUQUE	LANDING SHIP MEDIUM		
ESCALA:		FECHA:	SEPTIEMBRE 2016
DIBUJO:	OSCAR MACIAS	PROFESOR:	ING. JOHNNY DOMINGUEZ

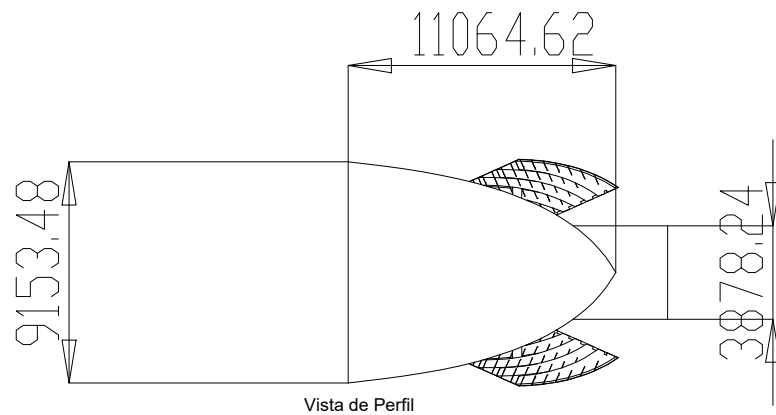
BULARCAMA TIPO DE SALA DE MÁQUINAS

BASES DE REDUCTORES

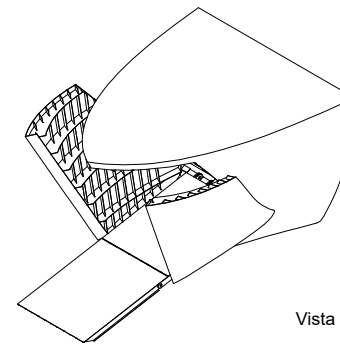


Details	
1.- Inner Bottom Shell	PL 8mm
2.- Bottom Shell	PL 9mm
3.- Side Shell	PL 9mm
4.- Vehicle Deck Shell	PL 10mm
5.- Division Bulkhead	PL 7mm
6.- Deck Trans. Web Frame	L 350x120x10mm
8.- Side Trans. Web Frame	L 250x90x10mm
9.- Bottom Trans. Web Frame	L 250x100x8mm
10.- Deck Long. Prim. Stf.	L 375x120x10mm
11.- Deck Long. Stf.	HP 140x7mm
12.- Side Long. Stf.	HP 100x6mm
13.- Inner Bottom Long. Stf.	HP 80x7mm
14.- Bottom Long. Stf.	FB 110x10mm
15.- Trans. Stiffener	FB 90x10mm
16.- Pillar Diameter	Ø152x4mm
17.- Trans. Girder	PL 10mm
18.- Strut	I 80x8mm
19.- Bottom Long. Prim. Stf.	PL 10mm
20.- Bhd. Prim. Stf.	L 100x80x8mm
21.- Bhd. Stiffener	I 100x8mm

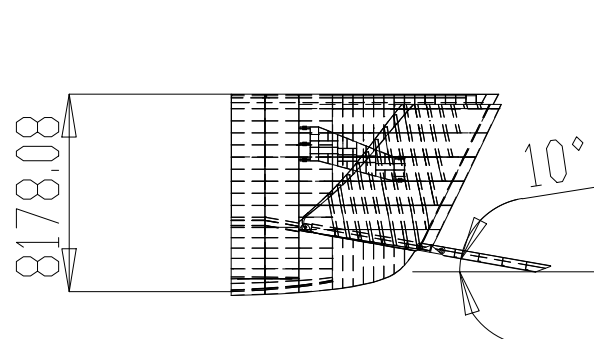
ESPOL ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
MATERIA:	PROYECTO INTEGRADOR	No PLANO	01
DESCRIPCIÓN	BULARCAMA DE SALA DE MÁQUINAS		
NOMBRE DEL BUQUE	LANDING SHIP MEDIUM		
ESCALA:		FECHA:	SEPTIEMBRE 2016
DIBUJO:	OSCAR MACIAS	PROFESOR:	ING. JOHNNY DOMINGUEZ



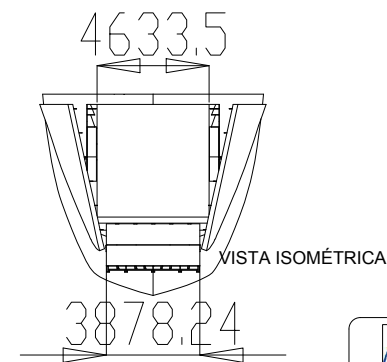
Vista de Perfil



Vista Frontal



Vista de Planta



VISTA ISOMÉTRICA



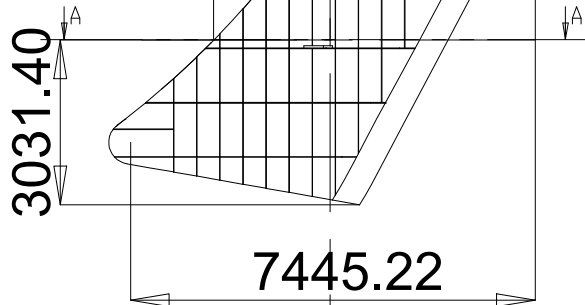
ESPOL

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

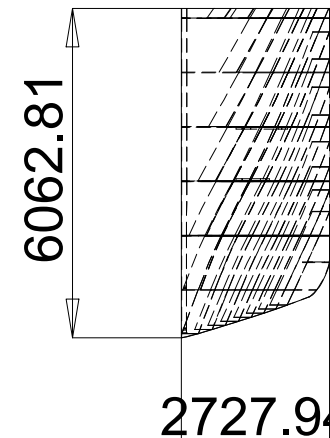


MATERIA:	PROYECTO INTEGRADOR	No PLANO	01
DESCRIPCIÓN	BLOQUE DE PROA		
NOMBRE DEL BUQUE	LANDING SHIP MEDIUM		
ESCALA:	FECHA: SEPTIEMBRE 2016		
DIBUJO:	OSCAR MACIAS	PROFESOR: ING. JOHNNY DOMINGUEZ	

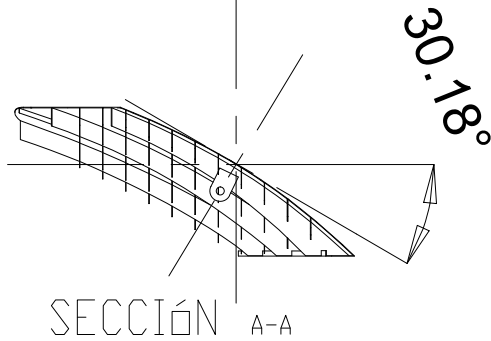
2143.72



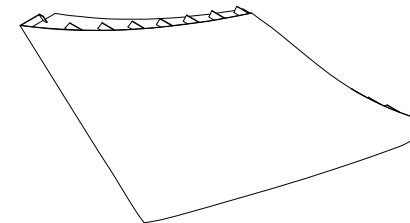
Vista de Perfil



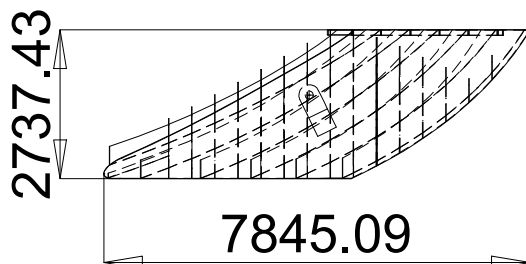
Vista Frontal



SECCIÓN A-A



VISTA ISOMÉTRICA



Vista de Planta

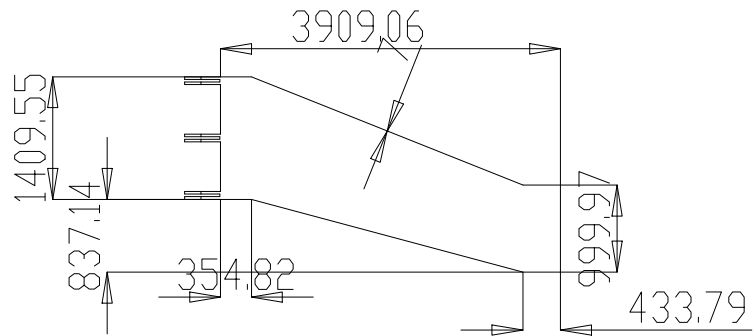


ESPOL

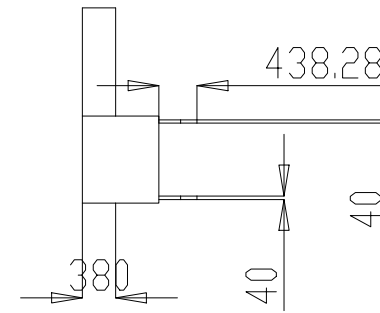
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



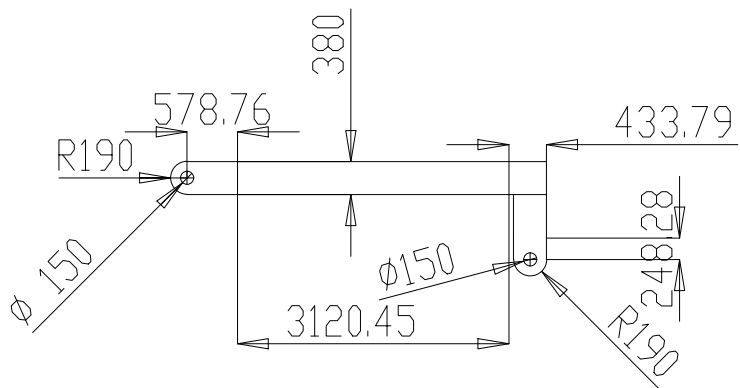
MATERIA:	PROYECTO INTEGRADOR	No PLANO	01
DESCRIPCIÓN	COMPUERTAS DE PROA		
NOMBRE DEL BUQUE	LANDING SHIP MEDIUM		
ESCALA:		FECHA:	SEPTIEMBRE 2016
DIBUJO:	OSCAR MACIAS	PROFESOR:	ING. JOHNNY DOMINGUEZ



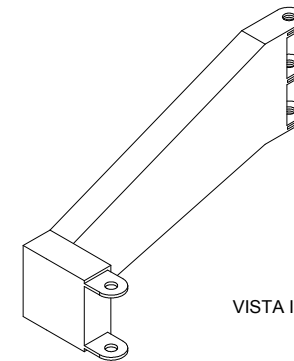
Vista de Perfil



Vista Frontal



Vista de Planta



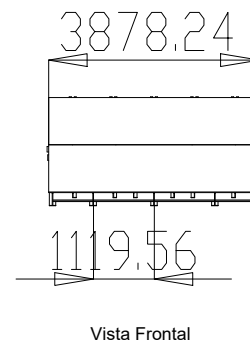
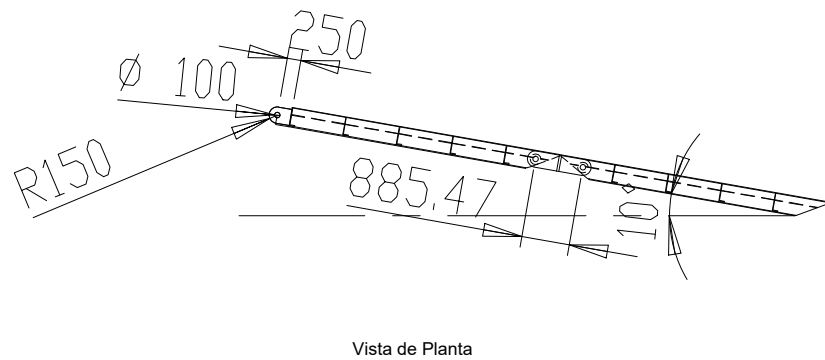
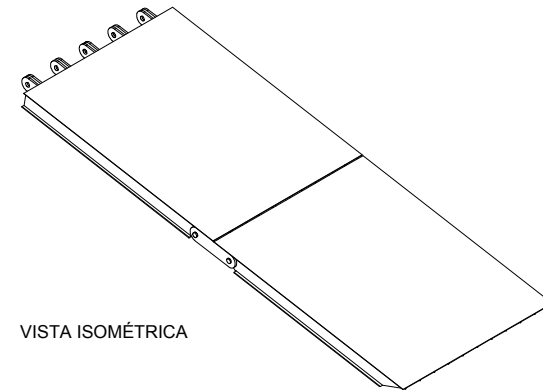
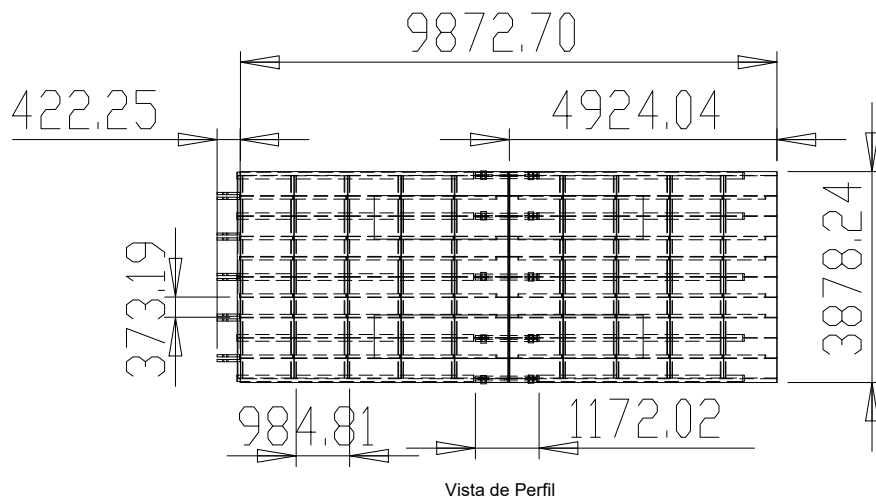
VISTA ISOMÉTRICA



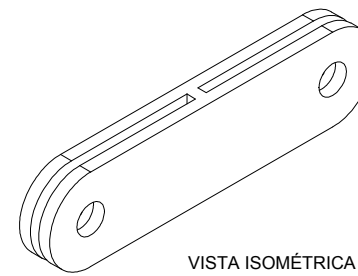
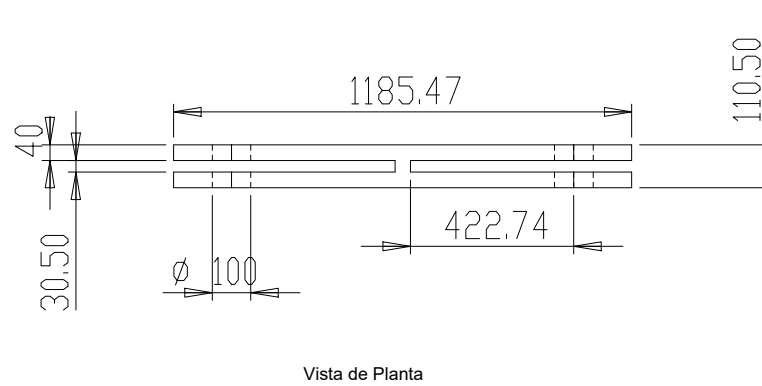
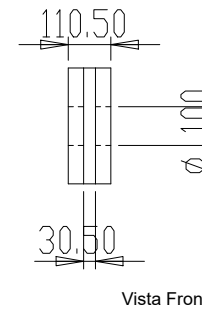
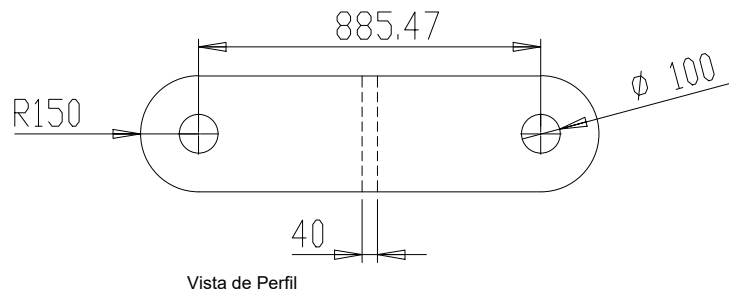
ESPOL
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



MATERIA:	PROYECTO INTEGRADOR	No PLANO 01
DESCRIPCIÓN	BRAZO DE LA COMPUERTA	
NOMBRE DEL BUQUE	LANDING SHIP MEDIUM	
ESCALA:	FECHA: SEPTIEMBRE 2016	
DIBUJO:	OSCAR MACIAS	PROFESOR: ING. JOHNNY DOMINGUEZ



ESPOL ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
MATERIA:	PROYECTO INTEGRADOR	No PLANO	01
DESCRIPCIÓN	RAMPAS DE PROA		
NOMBRE DEL BUQUE	LANDING SHIP MEDIUM		
ESCALA:		FECHA:	SEPTIEMBRE 2016
DIBUJO:	OSCAR MACIAS	PROFESOR:	ING. JOHNNY DOMINGUEZ



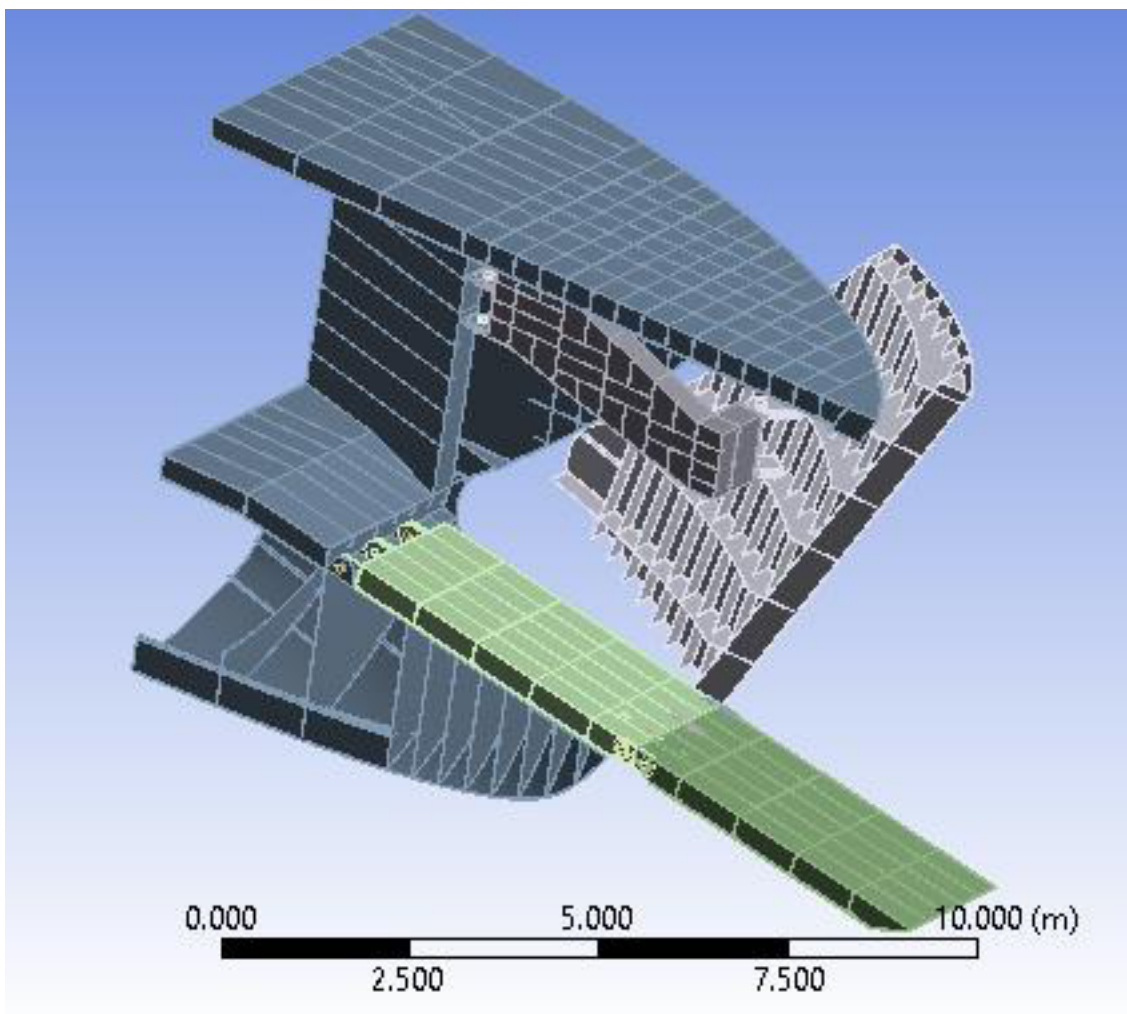
		<h1>ESPOL</h1> <p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL</p>			
MATERIA:		PROYECTO INTEGRADOR		No PLANO 01	
DESCRIPCIÓN		UNION ENTRE RAMPAS			
NOMBRE DEL BUQUE		LANDING SHIP MEDIUM			
ESCALA:		FECHA: SEPTIEMBRE 2016			
DIBUJO: OSCAR MACIAS		PROFESOR: ING. JOHNNY DOMINGUEZ			

ANEXO I



Project

First Saved	Thursday, September 22, 2016
Last Saved	Thursday, September 22, 2016
Product Version	15.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- Units
- Model (B4)
 - Geometry
 - Parts
 - Coordinate Systems
 - Symmetry
 - Symmetry Region
 - Connections
 - Joints
 - Joints
 - Contact Regions
 - Mesh
 - Body Sizing
 - Named Selections
 - Static Structural (B5)
 - Analysis Settings
 - Loads
 - Solution (B6)
 - Solution Information
 - Results
 - Probes
- Material Data
 - Structural Steel

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (B4)

Geometry

TABLE 2
Model (B4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\Users\Hp\Desktop\INTEGRADORA\BOW DOORS\FINAL\LSM BOW DOORS DEFINITIVO_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	SolidWorks
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	5.0216 m

Length Y	8.3399 m
Length Z	12.743 m
Properties	
Volume	2.519 m ³
Mass	19774 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	26
Active Bodies	22
Nodes	197360
Elements	105862
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\Hp\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>PASADOR-6</i>	<i>Pasador 3-3</i>	<i>UNION-1</i>	<i>Pasador 3-5</i>	<i>Pasador 3-4</i>	<i>Pasador 3-6</i>	<i>Rampa-1</i>	<i>UNION-2</i>	<i>Rampa(2)-1</i>	<i>Pasador 3-7</i>	<i>Pasador 3-8</i>
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Material											
Assignment	Structural Steel										
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	0.17056 m	0.15 m	6.125e-002 m	0.15 m	9.1252e-002 m	0.15 m	1.9319 m	0.1105 m	1.9319 m	8.4376e-002 m	0.15 m
Length Y	0.15 m	0.11752 m	0.37033 m	0.10268 m	0.1 m	0.10277 m	1.1304 m	0.41786 m	1.0803 m	1.e-001 m	0.10603 m
Length Z	0.17056 m	0.11752 m	0.69885 m	0.10268 m	1.e-001 m	0.10277 m	5.1163 m	0.74638 m	4.6989 m	9.9999e-002 m	0.10603 m
Properties											
Volume	2.6507e-003 m ³	1.1781e-003 m ³	7.1866e-003 m ³	1.1781e-003 m ³	7.1669e-004 m ³	1.1781e-003 m ³	0.2443 m ³	1.4301e-002 m ³	0.20948 m ³	6.6269e-004 m ³	1.1781e-003 m ³
Mass	20.808 kg	9.2481 kg	56.415 kg	9.2481 kg	5.626 kg	9.2481 kg	1917.8 kg	112.26 kg	1644.4 kg	5.2021 kg	9.2481 kg
Centroid X	3.4263 m	1.4957 m	4.0706e-	1.1344 m	4.5626e-	1.882 m	0.96499	1.1256 m	0.9682 m	4.2189e-	1.1294 m

			002 m		002 m		m			002 m	
Centroid Y	5.1504 m	3.1659 m	2.3213 m		2.3565 m		2.8175 m	2.3213 m	1.9598 m	2.2861 m	
Centroid Z	7.069 m	3.1544 m	8.1051 m		7.9057 m		5.4673 m	8.1052 m	10.409 m	8.3046 m	
Moment of Inertia Ip1	6.7999e-002 kg·m ²	1.1482e-002 kg·m ²	2.329 kg·m ²	1.1482e-002 kg·m ²	6.9633e-003 kg·m ²	1.1482e-002 kg·m ²	4275.5 kg·m ²	4.6597 kg·m ²	2785.3 kg·m ²	6.4384e-003 kg·m ²	1.1482e-002 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	5.819e-002 kg·m ²	2.3022e-002 kg·m ²	1.9231 kg·m ²	2.3022e-002 kg·m ²	7.3661e-003 kg·m ²	2.3022e-002 kg·m ²	4950.3 kg·m ²	3.9875 kg·m ²	3372.3 kg·m ²	6.2906e-003 kg·m ²	2.3022e-002 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	6.7999e-002 kg·m ²	2.3022e-002 kg·m ²	0.42257 kg·m ²	2.3022e-002 kg·m ²	7.3665e-003 kg·m ²	2.3022e-002 kg·m ²	737.72 kg·m ²	0.97717 kg·m ²	641.25 kg·m ²	6.2898e-003 kg·m ²	2.3022e-002 kg·m ²
Statistics											
Nodes	906	928	981	1168	952	928	17733	1739	17539	860	928
Elements	165	175	450	224	175		9577	849	9449	155	175
Mesh Metric	None										

TABLE 4
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>UNION-3</i>	<i>Pasador 3-9</i>	<i>PIEZA1 - copia-1</i>	<i>Copia de Pieza1^BLOQUE DE PROA_BOW DOORS_RAMP-1</i>	<i>PASADOR-5</i>	<i>PASADOR-2</i>	<i>PASADOR-3</i>	<i>PASADOR-4</i>	<i>ARM-1</i>	<i>Pasador 3-1</i>	<i>Pasador 3-2</i>
State	Meshed			Suppressed			Meshed				
Graphics Properties											
Visible	Yes			No			Yes				
Transparency	1						1				
Definition											
Suppressed	No			Yes			No				
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Material											

Assignment	Structural Steel										
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	0.1105 m	0.15 m	2.7382 m	8.e-002 m	0.19264 m	0.18763 m	0.21199 m	0.20546 m	1.278 m	7.6283e-002 m	0.15 m
Length Y	0.41786 m	0.11663 m	6.0628 m	2.7871e-002 m	0.15 m				2.2467 m	0.1 m	0.13373 m
Length Z	0.74638 m	0.11663 m	7.8451 m	2.7865e-002 m	0.19264 m	0.18763 m	0.21199 m	0.20546 m	4.323 m	0.1 m	0.13373 m
Properties											
Volume	1.4301e-002 m ³	1.1781e-003 m ³	0.55956 m ³	2.5133e-005 m ³	2.6507e-003 m ³				0.17514 m ³	5.9912e-004 m ³	1.1781e-003 m ³
Mass	112.26 kg	9.2481 kg	4392.5 kg	0.19729 kg	20.808 kg				1374.8 kg	4.7031 kg	9.2481 kg
Centroid X	1.8719 m	1.873 m	3.6515 m	0.5052 m	3.4263 m	2.5283 m			2.6162 m	3.8141e-002 m	0.75153 m
Centroid Y	2.3213 m	2.2861 m	5.3364 m	2.3455 m	6.0278 m	7.2726 m	6.6146 m	5.9549 m	6.1102 m	3.1659 m	
Centroid Z	8.1052 m	8.3046 m	7.4534 m	8.5436 m	7.069 m	3.126 m			5.1776 m	3.1544 m	
Moment of Inertia Ip1	4.6597 kg·m ²	1.1482e-002 kg·m ²	23957 kg·m ²	1.0939e-004 kg·m ²	6.7999e-002 kg·m ²				3256.6 kg·m ²	5.821e-003 kg·m ²	1.1482e-002 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	3.9875 kg·m ²	2.3022e-002 kg·m ²	6017.9 kg·m ²	1.0939e-004 kg·m ²	5.819e-002 kg·m ²				3119.5 kg·m ²	5.1798e-003 kg·m ²	2.3022e-002 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	0.97717 kg·m ²	2.3022e-002 kg·m ²	18235 kg·m ²	9.7336e-006 kg·m ²	6.7999e-002 kg·m ²				309.23 kg·m ²	5.18e-003 kg·m ²	2.3022e-002 kg·m ²
Statistics											
Nodes	1722	951	20079	0	906			952	20656	729	1168
Elements	839	175	11324	0	165			175	11744	128	224
Mesh Metric	None										

TABLE 5
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>hydraulic piston head-1</i>	<i>Pieza2^BLOQUE DE PROA_BOW DOORS_RAMP-1</i>	<i>hydraulic piston base-1</i>	<i>PIEZA1-1</i>
State	Suppressed			Meshed
Graphics Properties				
Visible	No			Yes
Transparency				1
Definition				
Suppressed	Yes			No
Stiffness Behavior	Flexible			
Coordinate System	Default Coordinate System			
Reference Temperature	By Environment			
Material				
Assignment	Structural Steel			
Nonlinear Effects	Yes			
Thermal Strain Effects	Yes			
Bounding Box				
Length X	7.8e-002 m	8.e-002 m	0.10125 m	4.5827 m
Length Y	0.18795 m	2.143e-002 m	0.21678 m	8.3399 m
Length Z	0.64382 m	2.1454e-002 m	0.69371 m	11.065 m
Properties				
Volume	4.703e-004 m ³	2.5133e-005 m ³	1.436e-003 m ³	1.2725 m ³
Mass	3.6919 kg	0.19729 kg	11.272 kg	9989. kg
Centroid X	0.5039 m	0.50611 m	0.5039 m	1.9255 m
Centroid Y	2.3994 m	2.524 m	2.4673 m	5.6028 m
Centroid Z	8.2382 m	7.5314 m	7.8568 m	3.6746 m
Moment of Inertia Ip1	0.18676 kg·m ²	1.0939e-004 kg·m ²	0.63532 kg·m ²	1.9001e+005 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	1.3382e-003 kg·m ²	1.0939e-004 kg·m ²	1.8235e-002 kg·m ²	79043 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	0.18662 kg·m ²	9.7336e-006 kg·m ²	0.63603 kg·m ²	1.3621e+005 kg·m ²
Statistics				
Nodes	0			103723
Elements	0			59189
Mesh Metric	None			

Coordinate Systems

TABLE 6
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>	<i>YZPlane</i>
State	Fully Defined	
Definition		
Type	Cartesian	
Coordinate System ID	0.	

Coordinate System		Program Controlled
Suppressed		No
Origin		
Origin X		0. m
Origin Y		0. m
Origin Z		0. m
Define By		Global Coordinates
Location		Defined
Directional Vectors		
X Axis Data	[1. 0. 0.]	[0. 1. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]	[0. 0. 1.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]	[1. 0. 0.]
Principal Axis		
Axis		X
Define By		Fixed Vector
Orientation About Principal Axis		
Axis		Y
Define By		Fixed Vector
Transformations		
Base Configuration		Absolute
Transformed Configuration		[0. 0. 0.]

Symmetry

TABLE 7
Model (B4) > Symmetry

Object Name	<i>Symmetry</i>
State	Fully Defined

TABLE 8
Model (B4) > Symmetry > Symmetry Region

Object Name	<i>Symmetry Region</i>
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Named Selection
Named Selection	Symmetry:YZPlane
Definition	
Scope Mode	Automatic
Type	Symmetric
Coordinate System	YZPlane
Symmetry Normal	Z Axis
Suppressed	No

Connections

TABLE 9
Model (B4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	

Enabled	Yes
---------	-----

TABLE 10
Model (B4) > Connections > Joints

Object Name	<i>Joints</i>	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined	
Definition		
Connection Type	Joint	Contact
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Auto Detection		
Tolerance Type	Slider	
Tolerance Slider	0.	
Tolerance Value	4.009e-002 m	
Use Range	No	
Group By	Bodies	
Search Across	Bodies	
Fixed Joints	Yes	
Revolute Joints	Yes	
Face/Face		Yes
Face/Edge		No
Edge/Edge		No
Priority		Include All

TABLE 11
Model (B4) > Connections > Joints > Joints

Object Name	<i>Revolute - Pasador 3-1 To PIEZA1-1</i>	<i>Revolute - Pasador 3-1 To Rampa-1</i>	<i>Revolute - Pasador 3-2 To PIEZA1-1</i>	<i>Revolute - Pasador 3-2 To Rampa-1</i>	<i>Revolute - Pasador 3-3 To PIEZA1-1</i>	<i>Revolute - Pasador 3-3 To Rampa-1</i>	<i>Revolute - Pasador 3-4 To Rampa-1</i>	<i>Revolute - Pasador 3-4 To UNION-1</i>	<i>Revolute - Pasador 3-5 To Rampa-1</i>	<i>Revolute - Pasador 3-5 To UNION-2</i>	<i>Revolute - Pasador 3-6 To Rampa-1</i>
State	Fully Defined										
Definition											
Connection Type	Body-Body										
Type	Revolute										
Torsional Stiffness	0. N·m/°										
Torsional Damping	0. N·m·s/°										
Suppressed	No										
Reference											
Scoping Method	Geometry Selection										
Applied By	Remote Attachment										
Scope	1 Face										
Body	Pasador 3-1	Pasador 3-2	Pasador 3-3	Pasador 3-4	Pasador 3-5	Pasador 3-6					
Coordinate System	Reference Coordinate System										
Behavior	Rigid										
Pinball Region	All										
Mobile											
Scoping Method	Geometry Selection										
Applied By	Remote Attachment										

Scope	1 Face			2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face			2 Faces	1 Face
Body	PIEZA1-1	Rampa-1	PIEZA1-1	Rampa-1	PIEZA1-1	Rampa-1		UNION-1	Rampa-1	UNION-2	Rampa-1
Initial Position	Unchanged										
Behavior	Rigid										
Pinball Region	All										
Stops											
RZ Min Type	None										
RZ Max Type	None										

TABLE 12
Model (B4) > Connections > Joints > Joints

Object Name	<i>Revolute - Pasador 3-6 To UNION-3</i>	<i>Revolute - Pasador 3-9 To Rampa(2)-1</i>	<i>Revolute - Pasador 3-9 To UNION-3</i>	<i>Revolute - Pasador 3-8 To Rampa(2)-1</i>	<i>Revolute - Pasador 3-8 To UNION-2</i>	<i>Revolute - Pasador 3-7 To Rampa(2)-1</i>	<i>Revolute - Pasador 3-7 To UNION-1</i>	<i>Revolute - PASADOR-2 To ARM-1</i>	<i>Revolute - PASADOR-2 To PIEZA1-1</i>	<i>Revolute - PASADOR-3 To ARM-1</i>	<i>Revolute - PASADOR-3 To PIEZA1-1</i>
State	Fully Defined										
Definition											
Connection Type	Body-Body										
Type	Revolute										
Torsional Stiffness	0. N·m/°										
Torsional Damping	0. N·m·s/°										
Suppressed	No										
Reference											
Scoping Method	Geometry Selection										
Applied By	Remote Attachment										

Scope	1 Face					2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face		
Body	Pasador 3-6	Pasador 3-9	Pasador 3-8	Pasador 3-7	PASADOR-2		PASADOR-3				
Coordinate System	Reference Coordinate System										
Behavior	Rigid										
Pinball Region	All										
Mobile											
Scoping Method	Geometry Selection										
Applied By	Remote Attachment										
Scope	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face	
Body	UNION-3	Rampa(2)-1	UNION-3	Rampa(2)-1	UNION-2	Rampa(2)-1	UNION-1	ARM-1	PIEZA1-1	ARM-1	PIEZA1-1
Initial Position	Unchanged										
Behavior	Rigid										
Pinball Region	All										
Stops											
RZ Min Type	None										
RZ Max Type	None										

TABLE 13
Model (B4) > Connections > Joints > Joints

Object Name	<i>Revolute - PASADOR-4 To ARM-1</i>	<i>Revolute - PASADOR-4 To PIEZA1-1</i>	<i>Revolute - PASADOR-5 To PIEZA1 - copia-1</i>	<i>Revolute - PASADOR-5 To ARM-1</i>	<i>Revolute - PASADOR-6 To PIEZA1 - copia-1</i>	<i>Revolute - PASADOR-6 To ARM-1</i>	<i>Revolute - Pieza2^BLOQUE DE PROA_BOW DOORS_RAMP-1 To hydraulic piston base-1</i>	<i>Revolute - Pieza2^BLOQUE DE PROA_BOW DOORS_RAMP-1 To Rampa-1</i>	<i>Revolute - Copia de Pieza1^BLOQUE DE PROA_BOW DOORS_RAMP-1 To Rampa(2)-1</i>	<i>Revolute - Copia de Pieza1^BLOQUE DE PROA_BOW DOORS_RAMP-1 To hydraulic piston head-1</i>	<i>Translational - hydraulic piston head-1 To hydraulic piston base-1</i>
-------------	--------------------------------------	---	---	--------------------------------------	---	--------------------------------------	---	---	---	--	---

State	Fully Defined						Suppressed				
Definition											
Connection Type	Body-Body										
Type	Revolute										Translational
Torsional Stiffness	0. N·m/°										
Torsional Damping	0. N·m·s/°										
Suppressed	No										
Reference											
Scoping Method	Geometry Selection										
Applied By	Remote Attachment										
Scope	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face	No Selection				
Body	PASADOR-4		PASADOR-5		PASADOR-6		Pieza2^BLOQUE DE PROA_BOW DOORS_RAMP-1	Copia de Pieza1^BLOQUE DE PROA_BOW DOORS_RAMP-1		hydraulic piston head-1	
Coordinate System	Reference Coordinate System										
Behavior	Rigid										
Pinball Region	All										
Mobile											
Scoping Method	Geometry Selection										
Applied By	Remote Attachment										
Scope	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face	No Selection	2 Faces	1 Face	No Selection	
Body	ARM-1	PIEZA1-1	PIEZA1 - copia-1	ARM-1	PIEZA1 - copia-1	ARM-1	hydraulic piston base-1	Rampa-1	Rampa(2)-1	hydraulic piston head-1	hydraulic piston base-1
Initial Position	Unchanged										

Behavior	Rigid										
Pinball Region	All										
Stops											
RZ Min Type	None										
RZ Max Type	None										
X Min Type	None										
X Max Type	None										

TABLE 14
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region	Contact Region 2	Contact Region 3	Contact Region 4	Contact Region 5	Contact Region 6	Contact Region 7	Contact Region 8	Contact Region 9	Contact Region 10	Contact Region 11
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	4 Faces	2 Faces	1 Face			4 Faces		1 Face			
Target	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face		5 Faces		1 Face		2 Faces	1 Face
Contact Bodies	PASADOR-6		Pasador 3-3		UNION-1				Pasador 3-5		Pasador 3-4
Target Bodies	PIEZA1 - copia-1	ARM-1	Rampa-1	PIEZA1-1	Pasador 3-4	Rampa-1	Rampa(2)-1	Pasador 3-7	Rampa-1	UNION-2	Rampa-1
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	4.009e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											

Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None

TABLE 15
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 12</i>	<i>Contact Region 13</i>	<i>Contact Region 14</i>	<i>Contact Region 15</i>	<i>Contact Region 16</i>	<i>Contact Region 17</i>	<i>Contact Region 18</i>	<i>Contact Region 19</i>	<i>Contact Region 20</i>	<i>Contact Region 21</i>	<i>Contact Region 22</i>	
State	Fully Defined											
Scope												
Scoping Method	Geometry Selection											
Contact	1 Face		8 Faces	7 Faces		1 Face	2 Faces	31 Faces	6 Faces	2 Faces	1 Face	
Target	1 Face	2 Faces	6 Faces	7 Faces	5 Faces	1 Face		6 Faces	8 Faces	1 Face		
Contact Bodies	Pasador 3-6		Rampa-1						UNION-2		Rampa(2)-1	
Target Bodies	Rampa-1	UNION-3	UNION-2	Rampa(2)-1	UNION-3	Pasador 3-1	Pasador 3-2	PIEZA1-1	Rampa(2)-1	Pasador 3-8	Pasador 3-7	
Definition												
Type	Bonded											
Scope Mode	Automatic											
Behavior	Program Controlled											
Trim Contact	Program Controlled											
Trim Tolerance	4.009e-002 m											

Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None

TABLE 16
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 23	Contact Region 24	Contact Region 25	Contact Region 26	Contact Region 27	Contact Region 28	Contact Region 29	Contact Region 30	Contact Region 31	Contact Region 32	Contact Region 33
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face	7 Faces	1 Face	2 Faces		8 Faces	2 Faces	4 Faces	2 Faces	4 Faces	2 Faces
Target	1 Face	5 Faces	1 Face		4 Faces	5 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face
Contact Bodies	Rampa(2)-1		UNION-3		PIEZA1 - copia-1		PASADOR-5	PASADOR-2		PASADOR-3	
Target Bodies	Pasador 3-8	UNION-3	Pasador 3-9		PASADOR-5	ARM-1			PIEZA1-1	ARM-1	PIEZA1-1
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										

Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	4.009e-002 m
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None

TABLE 17
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 34	Contact Region 35	Contact Region 36	Contact Region 37	Contact Region 38
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	4 Faces	2 Faces	16 Faces	1 Face	
Target	2 Faces	1 Face	10 Faces	1 Face	
Contact Bodies	PASADOR-4		ARM-1	Pasador 3-1	Pasador 3-2
Target Bodies	ARM-1	PIEZA1-1			
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Trim Contact	Program Controlled				
Trim Tolerance	4.009e-002 m				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Penetration Tolerance	Program Controlled				
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				
Geometric Modification					
Contact Geometry Correction	None				

Mesh

TABLE 18
Model (B4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	2.7357e-008 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None

Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	197360
Elements	105862
Mesh Metric	None

TABLE 19
Model (B4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	<i>Body Sizing</i>
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	22 Bodies
Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
Element Size	Default
Behavior	Soft

Named Selections

TABLE 20
Model (B4) > Named Selections > Named Selections

Object Name	<i>Symmetry:YZPlane</i>
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	12 Faces
Definition	

Send to Solver	No
Visible	Yes
Program Controlled Inflation	Exclude
Statistics	
Type	Imported
Total Selection	12 Faces
Suppressed	0
Used by Mesh Worksheet	No

Static Structural (B5)

TABLE 21
Model (B4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (B5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 22
Model (B4) > Static Structural (B5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled

Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\Users\Hp\Desktop\INTEGRADORA\BOW DOORS\FINAL\LSM BOW DOORS DEFINITIVO_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 23
Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads

Object Name	Fixed Support	Pressure	Hydrostatic Pressure	Pressure 2	Pressure 3	Pressure 4	Pressure 5	Force
State	Fully Defined							
Scope								
Scoping Method	Geometry Selection							
Geometry	1 Face			2 Faces			1 Face	
Definition								
Type	Fixed Support	Pressure	Hydrostatic Pressure	Pressure			Force	
Suppressed	No							
Define By		Normal To		Normal To			Components	
Magnitude		10000 Pa (ramped)		46000 Pa (ramped)		4600. Pa (ramped)		
Coordinate System			Global Coordinate System				Global Coordinate System	
Fluid Density			1025. kg/m ³					
X Component							20.49 N (ramped)	
Y Component							9.71 N (ramped)	
Z Component							13.39 N (ramped)	
Hydrostatic Acceleration								
Define By			Components					

X Component		0. m/s ² (ramped)	
Y Component		15. m/s ² (ramped)	
Z Component		0. m/s ² (ramped)	
Free Surface Location			
X Coordinate		2.6253 m	
Y Coordinate		2.56 m	
Z Coordinate		3.2698 m	
Location		Defined	

FIGURE 1
Model (B4) > Static Structural (B5) > Pressure

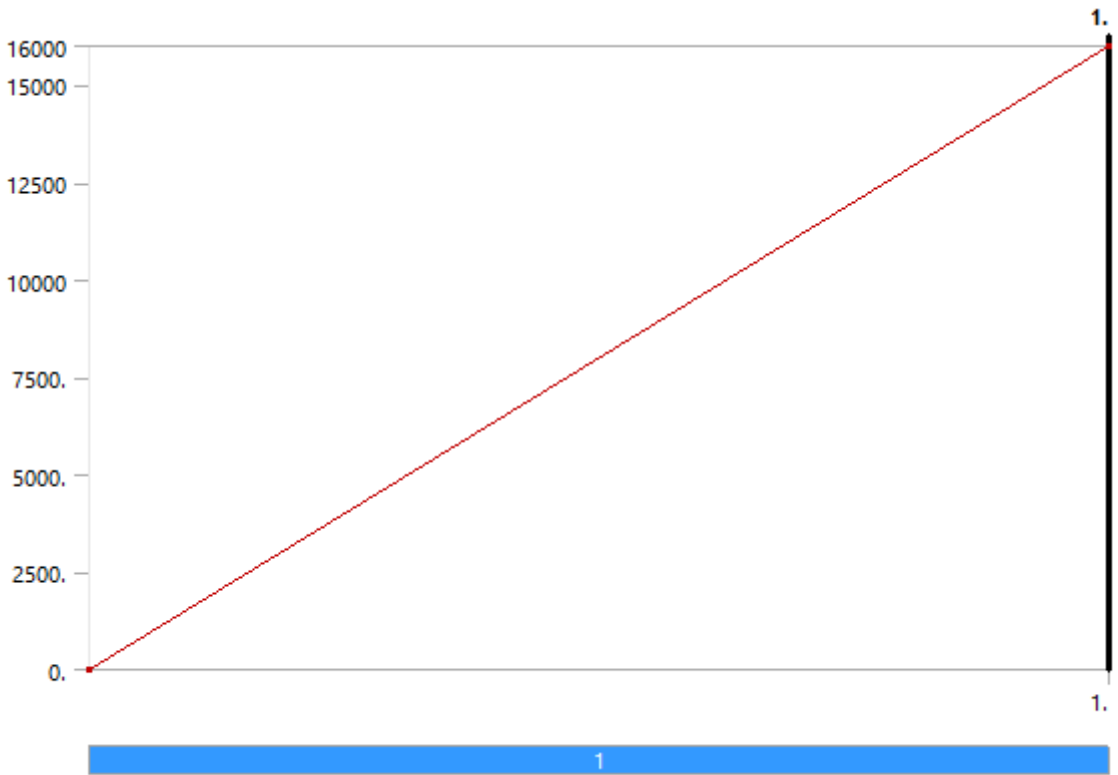


FIGURE 2
Model (B4) > Static Structural (B5) > Hydrostatic Pressure

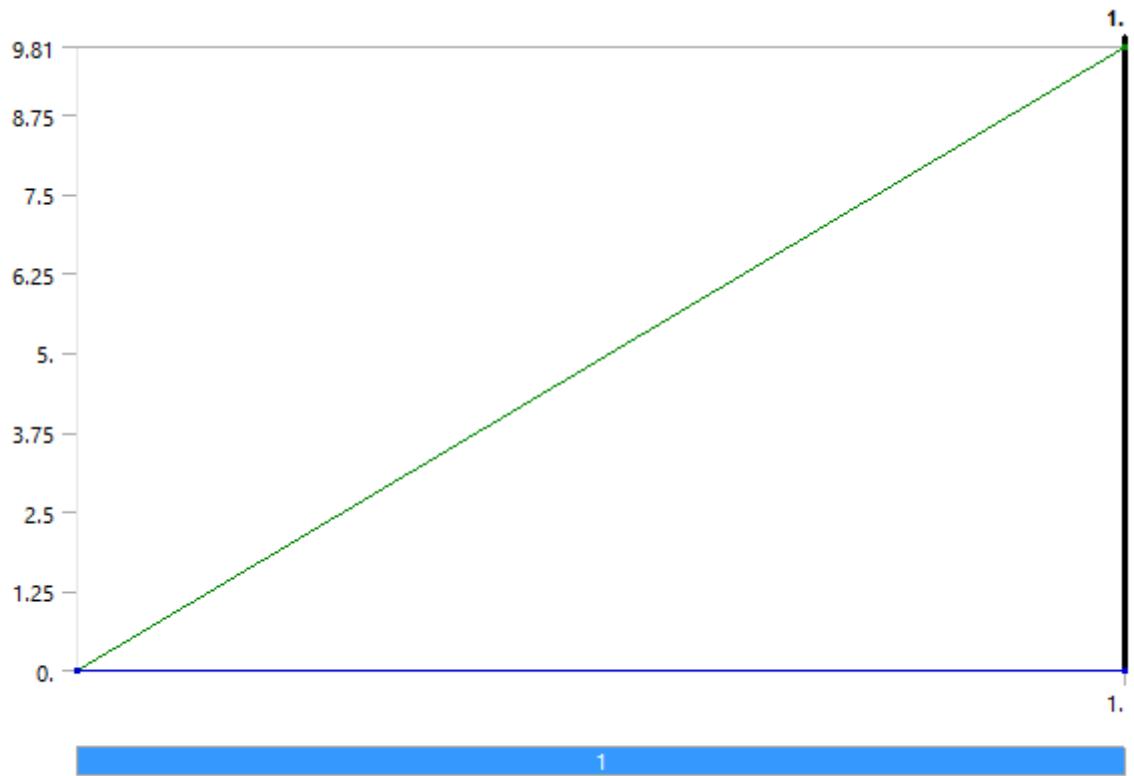


FIGURE 3
Model (B4) > Static Structural (B5) > Pressure 2

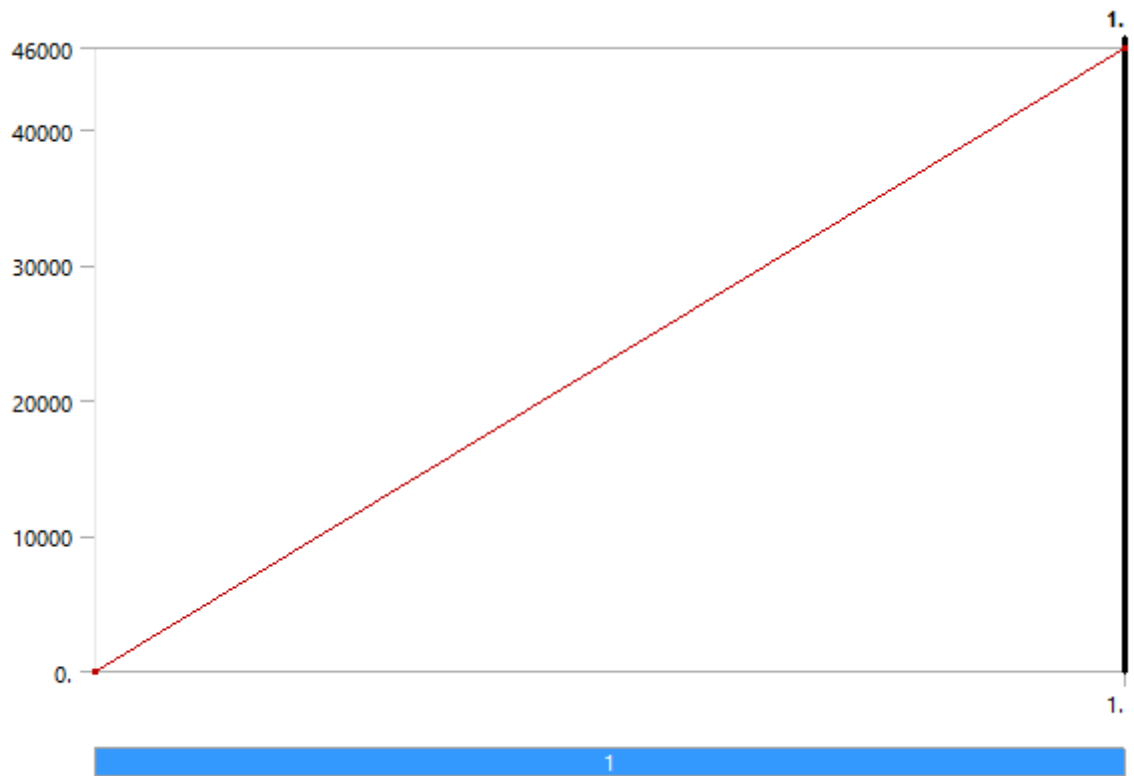


FIGURE 4
Model (B4) > Static Structural (B5) > Pressure 3

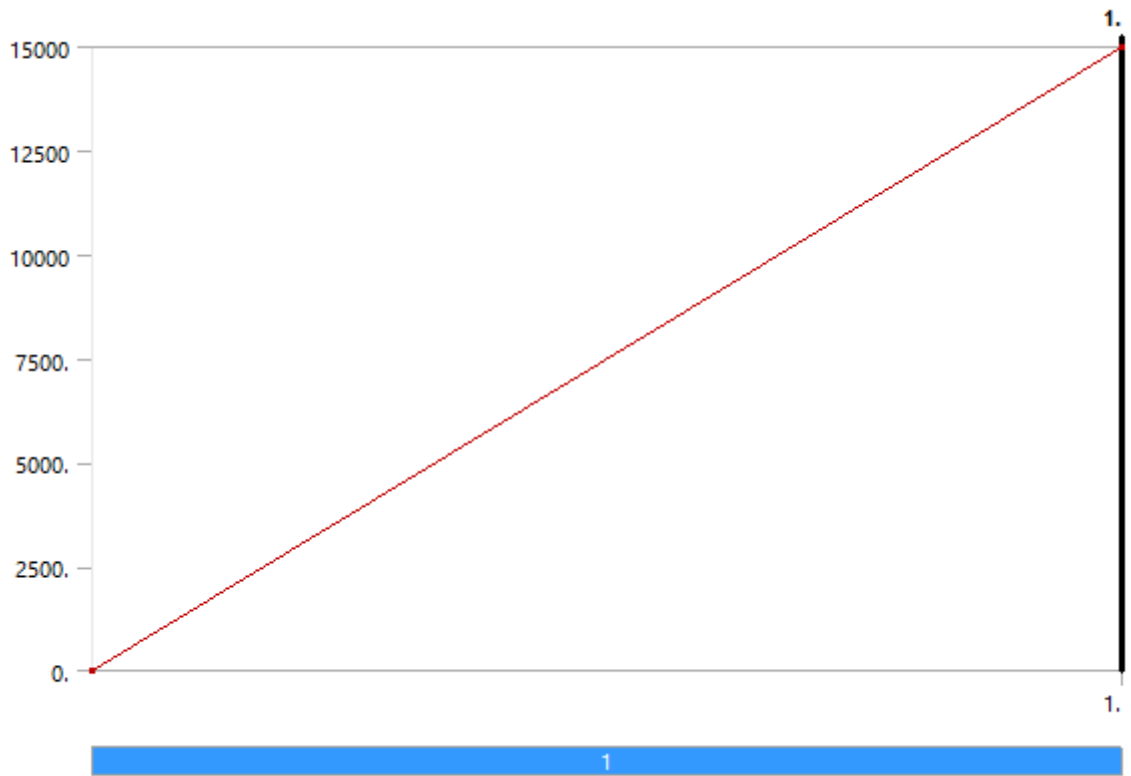


FIGURE 5
Model (B4) > Static Structural (B5) > Pressure 4

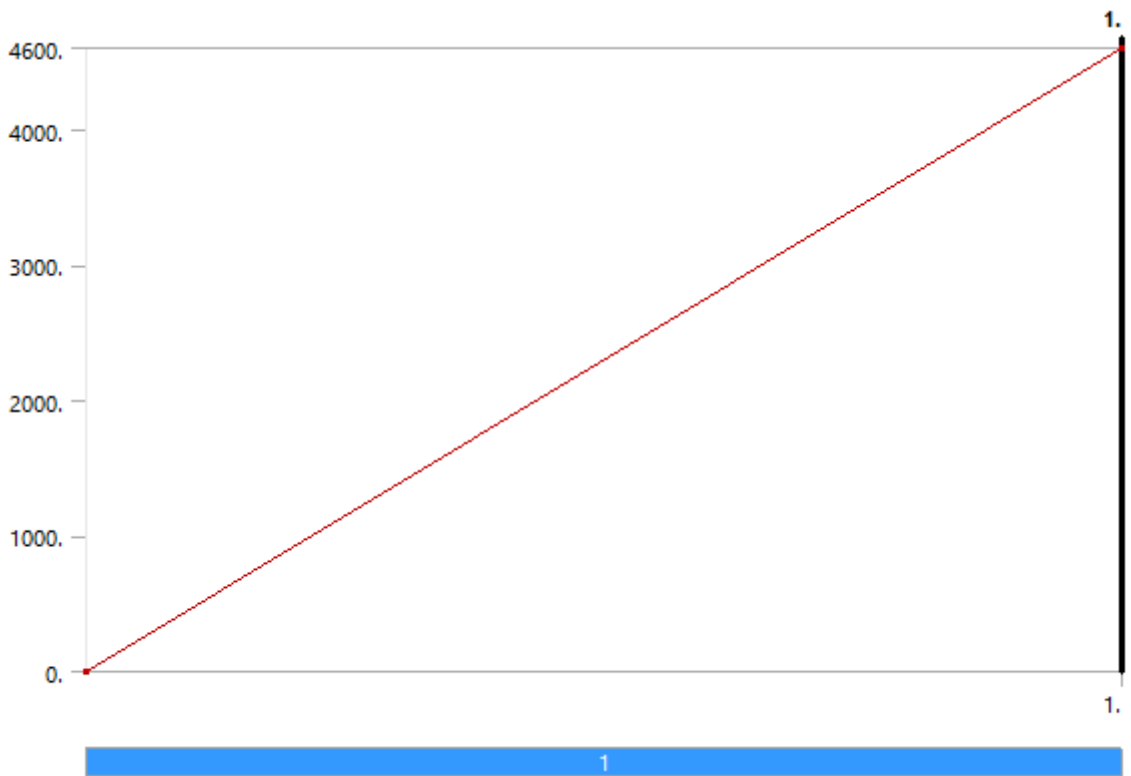


FIGURE 6
Model (B4) > Static Structural (B5) > Pressure 5

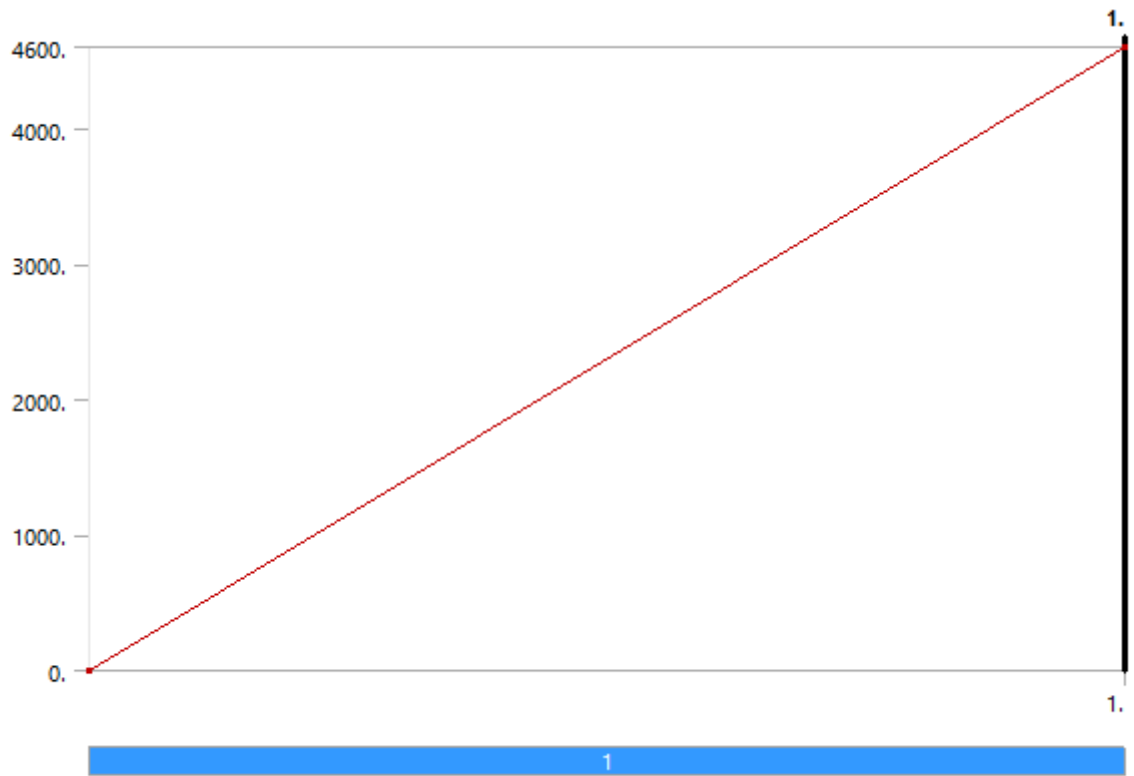
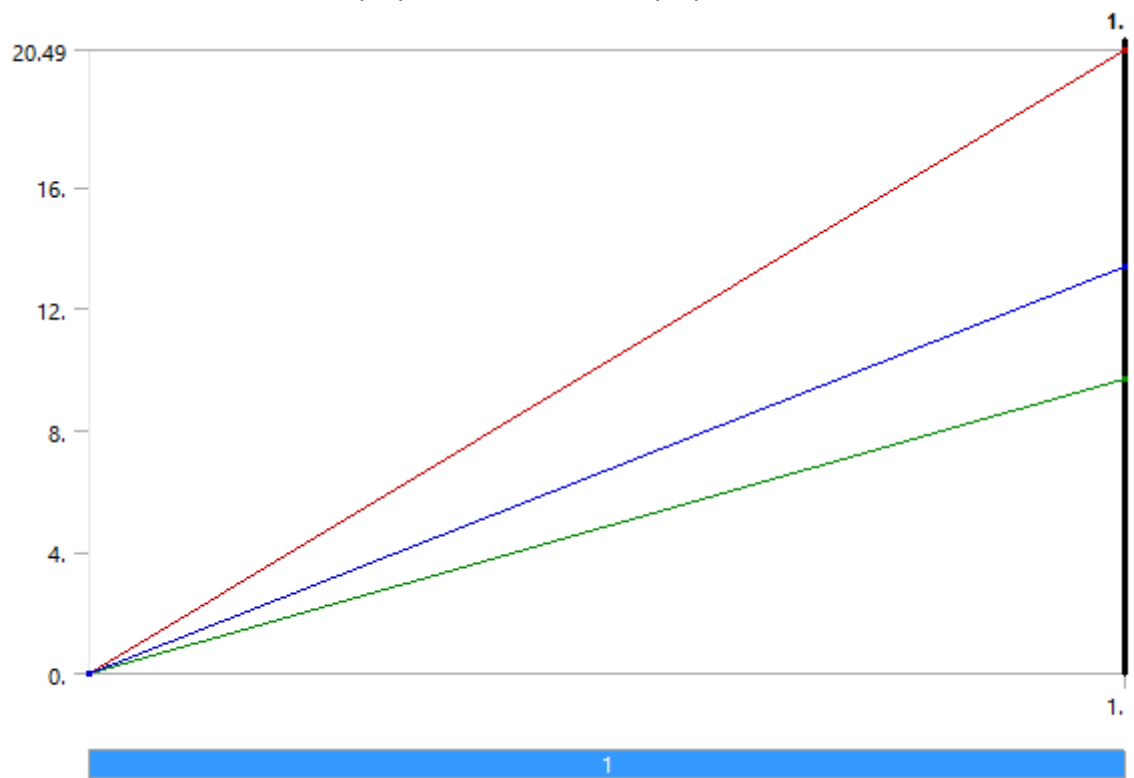


FIGURE 7
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force



Solution (B6)

TABLE 24
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

TABLE 25
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 26
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Results

Object Name	<i>Total Deformation</i>	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Results		
Minimum	0. m	6.8324e-007 Pa
Maximum	0.00256 m	1.6771e+008 Pa
Minimum Occurs On	PIEZA1-1	PASADOR-2
Maximum Occurs On	Rampa(2)-1	Rampa-1
Minimum Value Over Time		
Minimum	0. m	6.8324e-007 Pa
Maximum	0. m	6.8324e-007 Pa
Maximum Value Over Time		
Minimum	0.002156 m	1.6771e+008 Pa
Maximum	0.002156 m	1.6771e+008 Pa

Information	
Time	1. s
Load Step	1
Substep	1
Iteration Number	1
Integration Point Results	
Display Option	Averaged
Average Across Bodies	No

TABLE 27
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Probes

Object Name	<i>Joint Probe</i>	<i>Joint Probe 2</i>	<i>Joint Probe 3</i>	<i>Joint Probe 4</i>	<i>Joint Probe 5</i>
State	Solved				
Definition					
Type	Joint Probe				
Boundary Condition	Revolute - PASADOR-2 To ARM-1	Revolute - PASADOR-3 To ARM-1	Revolute - PASADOR-4 To ARM-1	Revolute - PASADOR-2 To PIEZA1-1	Revolute - PASADOR-3 To PIEZA1-1
Orientation Method	Joint Reference System				
Suppressed	No				
Options					
Result Type	Total Force				
Result Selection	All				
Display Time	End Time				
Results					
X Axis	-8753.1 N	1.799. N	7753.1 N	2.799. N	574.05 N
Y Axis	34117 N	2.3247 N	-34125 N	4.3247 N	2352.7 N
Z Axis	-2437.6 N	1.0761 N	2234.5 N	2.0761 N	126.54 N
Total	35706 N	2.3351 N	34370 N	5.5541 N	2425.1 N
Maximum Value Over Time					
X Axis	-8753.1 N	1.799. N	7753.1 N	2.799. N	574.05 N
Y Axis	34117 N	2.3247 N	-34125 N	4.3247 N	2352.7 N
Z Axis	-2437.6 N	1.0761 N	2234.5 N	2.0761 N	126.54 N
Total	35706 N	2.3351 N	34370 N	5.5541 N	2425.1 N
Minimum Value Over Time					
X Axis	-8753.1 N	1.799. N	7753.1 N	2.799. N	574.05 N
Y Axis	34117 N	2.3247 N	-34125 N	4.3247 N	2352.7 N
Z Axis	-2437.6 N	1.0761 N	2234.5 N	2.0761 N	126.54 N
Total	35706 N	2.3351 N	34370 N	5.5541 N	2425.1 N
Information					
Time	1. s				
Load Step	1				
Substep	1				
Iteration Number	1				

Material Data

Structural Steel

TABLE 33
Structural Steel > Constants

Density	7850 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	434 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	60.5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1.7e-007 ohm m

TABLE 34
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 35
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 36
Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 37
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
4.6e+008

TABLE 38
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 39
Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3.999e+009	10	0
2.827e+009	20	0
1.896e+009	50	0
1.413e+009	100	0
1.069e+009	200	0
4.41e+008	2000	0
2.62e+008	10000	0
2.14e+008	20000	0
1.38e+008	1.e+005	0
1.14e+008	2.e+005	0
8.62e+007	1.e+006	0

TABLE 40
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9.2e+008	-0.106	0.213	-0.47	1.e+009	0.2

TABLE 41
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010

TABLE 42
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000