

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE
MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA NAVAL**



**DISEÑO DE UNA EMBARCACIÓN TIPO CATAMARÁN
POLIVALENTE PARA RESOLVER EL PROBLEMA DE
CONTAMINACIÓN POR DERRAMES DE HIDROCARBUROS
Y POR RESIDUOS PLÁSTICOS EN EL MAR PERUANO**

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

HANNY ARACELLY RUIZ RIOS

Chiclayo, 17 de julio de 2018

**“DISEÑO DE UNA EMBARCACIÓN TIPO CATAMARÁN
POLIVALENTE PARA RESOLVER EL PROBLEMA DE
CONTAMINACIÓN POR DERRAMES DE HIDROCARBUROS
Y POR RESIDUOS PLÁSTICOS EN EL MAR PERUANO”**

POR:

HANNY ARACELLY RUIZ RIOS

**Presentada a la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de
INGENIERO NAVAL**

APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR

**Msg. Wilson Jiménez Zuloeta
PRESIDENTE**

**Ing. Edwin Juárez Marchena
SECRETARIO**

**Dr. Manuel Urcia Larios
ASESOR**

DEDICATORIA

A mi madre y a mi tía Zulema por sus grandes esfuerzos y sacrificios para educarme y convertirme en lo que soy. A mis hermanas y a mi padre, por ser el motor y motivo para lograr mis metas. A Gustavo por apoyarme durante el proceso de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme brindado oportunidades de vida, dándome fortaleza y valentía para seguir adelante. Al Profesor A. Francescutto, por toda la ayuda brindada, y por su manera de enseñar. Al Dr. M. Urcia por ser una persona con mucha paciencia y orientación en toda la carrera. Y a los profesores de la escuela de Ingeniería Naval de la USAT, Ing. Juárez e Ing. Jiménez, por su apoyo incondicional.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	12
II. MARCO TEÓRICO	14
2.1. Antecedentes del problema	14
2.2. Fundamentos teóricos	16
2.2.1 Definiciones fundamentales de un buque	16
2.2.2 Estabilidad	17
2.2.3. Evolución del Proyecto.....	18
2.2.4. Diseño de la carena, dimensiones principales	19
2.2.5. Registros de clasificación	20
2.2.6. Pesos y desplazamientos.....	20
2.2.7. Propulsión en un buque	20
2.2.8. Materiales	22
III. ANÁLISIS Y DISEÑO	24
3.1. Autonomía.....	24
3.2. Consideraciones iniciales.....	24
3.3. Dimensiones principales	24
3.4. Determinación de formas	27
3.5. Hidrostática	28
3.6. Francobordo y compartimentación	34
3.7. Planos generales.....	38
3.8. Escantillonado y estructuras	39
3.8.1. Datos para el escantillonado	39
3.8.2. Materiales	40
3.8.3. Cálculos	40
3.9. Resistencia y potencia.....	47
3.9.1. Selección del motor	50
3.10. Equipamiento y funcionamiento del sistema	52
3.11. Estima de pesos	57
IV. RESULTADOS	58
4.1. Estabilidad.....	58
4.1.1 Criterios de estabilidad	58
4.1.2. Estabilidad a diferentes condiciones de carga.....	59
4.1.3. Resultados de estabilidad	65
V. PLANO DE CARGAS	66
VI. CONCLUSIONES	68
VII. RECOMENDACIONES	69
VIII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
IX. ANEXOS.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Cronología de los derrames de petróleo.....	15
Tabla N° 2. Dimensiones Iniciales	24
Tabla N° 3. Base de datos de embarcaciones similares.....	24
Tabla N° 4. Dimensiones obtenidas	27
Tabla N° 5. Dimensiones principales finales	28
Tabla N° 6. Datos Hidrostáticos I.....	29
Tabla N° 7. Datos Hidrostáticos II	29
Tabla N° 8. Características Hidrostáticas a distintos ángulos de escora a Máxima Carga	34
Tabla N° 9. Propiedades Mecánicas de Acero Naval ASTM 36.....	40
Tabla N° 10. Resultados de Resistencia y Potencia	47
Tabla N° 11. Especificaciones Técnicas del Boom	52
Tabla N° 12. Propiedades Específicas del carrete	53
Tabla N° 13. Especificaciones Técnicas del inflador	54
Tabla N° 14. Especificaciones técnicas de Lamor Minimax 12.....	55
Tabla N° 15. Plano de cargas.....	57
Tabla N° 16. Primera condición de carga.....	59
Tabla N° 17. Características en la primera condición de carga.....	60
Tabla N° 18. Segunda condición de carga.....	62
Tabla N° 19. Características en la segunda condición de carga	63
Tabla N° 20. Conclusión de la primera condición de carga	65
Tabla N° 21. Conclusión de la segunda condición de carga	65
Tabla N° 23. Informes de la contaminación por basura	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1. Estabilidad transversal en Catamarán.....	18
Figura N° 2. Espiral de Proyecto.....	19
Figura N° 3. Formas del casco	28
Figura N° 4. Ubicación de los tanques y compartimentación	37
Figura N° 5. Plano de formas	38
Figura N° 6. Cuadernas de la embarcación polivalente	46
Figura N° 7. Simulación en Max Surf de olas a una velocidad de 12 nudos	49
Figura N° 8. Simulación de Olas bajo la línea de flotación a 12 nudos	49
Figura N° 9. Simulación de olas vista de planta.....	50
Figura N° 10. Volvo Penta IPS400MC	50
Figura N° 11 Potencia del motor seleccionado	51
Figura N° 12. Datos Generales del motor.....	51
Figura N° 13. Sistema Boom.....	52
Figura N° 14. Booms de Contención Automático.....	53
Figura N° 15. Carrete para el boom.....	53
Figura N° 16. Inflador para el boom.....	54
Figura N° 17.Lamor Minimax 12.....	55
Figura N° 18. Brazos Hidráulicos para recojo de basura	56
Figura N° 19. Bocas para el sistema de recojo de basura.....	56
Figura N° 20. Curva de momento adrizante y momento escorante.....	58
Figura N° 21. Derrame de petróleo en el mar peruano 2013.....	74
Figura N°22. Derrame de petróleo en el mar peruano 2017.....	74
Figura N° 23. Residuos plásticos en el mar.....	75
Figura N° 24. Basura en el mar	75

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1. Relación L - B	25
Gráfico N° 2. Relación L- T	26
Gráfico N° 3. Relación B -T	27
Gráfico N° 4. Curvas Hidrostáticas	31
Gráfico N° 5. Curva de los Coeficientes	32
Gráfico N° 6. Curvas Cruzadas KN.....	33
Gráfico N° 7. Curva de Potencia – Velocidad.....	48
Gráfico N° 8. Curva de estabilidad GZ	61
Gráfico N°9. Curva de Estabilidad GZ.....	64
Gráfico N° 10. Plano de cargas primera condición	66
Gráfico N° 11. Plano de cargas segunda condición.....	67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1. Derrame de Hidrocarburos en el mar peruano	74
Anexo N° 2. Contaminación por residuos plásticos en el mar peruano	75
Anexo N° 3. Aceleración Vertical	76
Anexo N° 4. Presión en el fondo del catamarán	77
Anexo N° 5. Presión para la parte lateral del catamarán	78
Anexo N° 6. Presión de la cubierta mojada	78
Anexo N° 7. Presión de la cubierta	79
Anexo N° 8. Presión de Mamparos	79
Anexo N° 9. Espesores mínimos	79
Anexo N° 10. Cargas Longitudinales del Catamarán	79
Anexo N° 11. Momento de Inercia	80
Anexo N° 12. Código de estabilidad. Condición N°1	81
Anexo N° 13. Código de estabilidad. Condición N°2	82
Anexo N° 14. Plano línea de formas	83
Anexo N° 15. Plano de disposición general	84
Anexo N° 16. Plano disposición de tanques. Bajo cubierta	85
Anexo N° 17. Plano de estructuras	86

RESUMEN

Considerando que la seguridad en el mar, y del ambiente, ya no es más un tema ajeno, en esta investigación se propone una solución a las distintas emergencias que ocurren en el mar. Consiste en el diseño de una embarcación tipo catamarán polivalente con la función principal, de lucha contra la contaminación marina por derrames de hidrocarburos y por residuos plásticos; y otras posibles funciones como la asistencia y el remolque a embarcaciones en emergencia, salvamento de personas, etc. En el presente trabajo se analizan las distintas emergencias ocurridas en el mar, entre las cuales, las más sobresalientes son los desechos de basura, y los constantes derrames de petróleo registrados en los últimos años. Por ello se realiza la propuesta de diseño en software Naval, obteniendo como resultado una embarcación semi desplazante, a la que se realiza el análisis de estabilidad, análisis de pesos y análisis de estructuras respetando las normas y los Registros de Clasificación. De ese modo, se espera un control más específico en el recojo de desechos y limpieza del mar en la actualidad, y en un futuro por los posibles derrames de hidrocarburos o las diferentes emergencias que se puedan presentar.

Palabras claves: Polivalente, catamarán, residuos plásticos, hidrocarburos.

ABSTRACT

Considering that safety at sea, and the environment, is no longer a foreign issue, this research proposes a solution to the different emergencies that occur at sea. It consists of the design of a multi-purpose catamaran craft with the main function, to combat marine pollution from oil spills and plastic waste; and other possible functions such as assistance and towing to vessels in emergency, rescue of people, and other maritime operations. In the present work, the different emergencies occurring at sea are analyzed, among which, the most outstanding are garbage waste, and the constant oil spills registered in recent years. Therefore, the design proposal is made in Naval software, obtaining as a result a semi-displacement vessel, to which the analysis of stability, weights and structures is carried out, respecting the norms and the Classification Registers. In this way, a more specific control is expected in the waste collection and cleaning of the sea at present, and in the future by the possible spills of hydrocarbons or the different emergencies that may arise.

Keywords: Polyvalent, catamaran, plastic waste, hydrocarbons.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el interés por el cuidado del medio ambiente marino es uno de los temas de globalización con más interés, pues el mar proporciona muchos factores que benefician a la humanidad [1]. Además es el recurso más importante del planeta que permite la subsistencia tanto de los seres humanos como para los animales, por lo que es fundamental visualizar si se realiza un trabajo ideal de cuidado y protección [2].

En el Perú, las personas ven el mar como un medio de sustento y desarrollo. Por ello existen responsables de velar por la seguridad para la vida humana en el mar y la prevención de la contaminación marina como es La Dirección General de Capitanías y Guardacostas que se basa en las normativas de la OMI, a través del SOLAS y el MARPOL. Sin embargo los recursos para este tipo de emergencias no son los adecuados. Afortunadamente las emergencias en el mar no han sido de gran magnitud. Uno de los desastres que se registró como el peor evento en el 2008, fue el derrame de hidrocarburos por la explosión del BAP “Supe” en la bahía de Zorritos, en el Norte Peruano [3]. Al transcurrir de los años han seguido las emergencias en el mar, en el 2010 buque libanés causa derrame de petróleo cerca de la Bahía de Paracas [4]. Una mala conexión de la manguera para el suministro del crudo originó un derrame de decenas de litros de petróleo en Colán (Piura), afectando la fauna Marina [5]. El deceso de los mamíferos se habría suscitado por un derrame de petróleo de la empresa Savia Perú [6]. En el 2013 se produce Rotura de una tubería de la empresa Savia provocó que el hidrocarburo llegara al mar de los balnearios Punta Lobos y Batería Primavera, en Talara [7]. Los últimos eventos registrados son del año 2016, 15 pescadores artesanales paralizaron sus actividades debido a otro derrame de petróleo registrado en la playa El Diablo ubicada en el Puerto de Ilo, en la región de Moquegua [8]. Y el más reciente registrado en el 2017 la cual los moradores y pescadores de la Caleta de Cabo Blanco, en el distrito de El Alto, provincia de Talara, en la región Piura, denunciaron un nuevo derrame de crudo de petróleo en el mar, lo cual significa un serio atentado contra el medio ambiente [9]. Se observa en la tabla N° 1 la cronología de los derrames ocurridos.

Sin embargo las emergencias en el mar no solo se dan por derrames de hidrocarburos, sino también por posibles incendios en altamar, búsqueda de personas, rescate, salvataje, [3, p.48] y la más preocupante, la contaminación por desechos industriales, “basura”. Ya que es un problema de gran extensión por que daña la variabilidad del clima que afecta a los ciclos del agua tales como la oscilación del sur de niño y la oscilación del norte atlántico, y por ende afecta a la sociedad [2, p.4]. En un análisis que presenta la Revista Peruana de Biología, muestra que en cuatro playas arenosas de la costa peruana hay presencia de micro plásticos que podrían estar afectando hábitats marinos [10]. Ricardo Jiménez, representante de WSPA Sudamérica dijo “Las botellas y bolsas plásticas, latas, cuerdas y todo tipo de desechos que las personas lanzan a mares y ríos son contaminantes y causan sufrimiento a miles de animales que lo habitan”, y esta problemática es de un alcance global. De acuerdo con estadísticas de la organización ecologista Greenpeace, 6,4 millones de toneladas de basura son vertidas en los océanos anualmente. Entre el 60% y el 80% son materiales plásticos. [11] El tipo de plástico con mayor presencia en el mar, ríos y lago es la

botella de bebidas gaseosas (13%); le siguen las bolsas de basura (9%) y luego están los pedazos de plástico en su mayoría provenientes del sector construcción (9%). El plástico es consumido por la fauna marina, que lo confunde con sus alimentos causándole asfixia o intoxicación, detalló Arturo Alfaro, presidente de la ONG Vida. [12] También determinó que “El plástico es el principal contaminante, que está matando o dañando a miles de especies marinas en el Pacífico Sur, incluidas especies en peligro de extinción como son las tortugas marinas, ballenas y cubriendo extensiones de fondo marino que destruyen el hábitat de la flora y fauna que vive en ese lugar. El plástico está presente en las playas, en el fondo marino y flotando en el mar, pero lamentablemente en el Perú no hay un eficiente sistema de gestión de los residuos sólidos y estamos muy atrasados en temas de reciclaje de plástico y otros materiales” [13] Entre los resultados de ONG Vida, se tiene que las bolsas plásticas y botellas fueron los artículos que más se hallaron en nuestro litoral el 2014. Las playas de Lima y el Callao lideran el ranking de balnearios donde se recogieron más artículos de plástico. Puerto Chancay, Carquín, Santa Rosa Grande, La Isla y Servimar, Puerto Supe, Las Conchitas, Chorrillos, Chancayllo, San Pedro Pucusana, Los Yuyos y Conchán, en Lima, sumaron 65 mil artículos. Las playas de La Libertad alcanzaron 11 mil desechos, seguidas de las de Piura con 10 mil, Ica con 8 mil y las de Lambayeque con 7 mil desechos de plástico reunidos durante las acciones de limpieza. [14] Según investigadores holandeses, entre 1,15 y 2,41 millones de toneladas de plásticos se vierten cada año en los mares, procedentes de la contaminación humana en los ríos de todo el mundo; es decir, unos 50 kg por segundo. Son la causa de la muerte cada año de cerca de un millón de aves marinas, de unos 100,000 mamíferos marinos y de innumerables peces. Antonio Guterres, secretario general de la ONU describió de manera alarmista la situación de los océanos. [15] Ver en anexo N° 1, imágenes y un cuadro resumen.

Siendo analizada la situación problemática y los acontecimientos, se demuestra que se necesitan implementos para resolver el problema que es de ámbito mundial y por ende hacen falta embarcaciones más especializadas para el cuidado y la protección en el ámbito Naval. Por lo que es importante tener embarcaciones polivalentes para que puedan atender las emergencias de contaminación ya mencionadas.

Por ello, se consideró que diseñar una embarcación polivalente para emergencias de contaminación en el mar peruano reducirá las problemáticas de seguridad de las personas y el hábitat marino ya que cumplirá con las funciones de recojo de petróleo, limpieza del mar mediante el recojo de basura, remolcar embarcaciones que no tengan propulsión propia, salvamento, etc. Para esto, primero se realiza el análisis del estado actual de las emergencias en el mar peruano que han sucedido, para que así, la propuesta del diseño sea validada. Se hace la propuesta de una embarcación semidesplazante con un número de froude de 0.51, con velocidad de 12 nudos que amplía los estándares y exigencias nacionales para atacar los diferentes tipos de acontecimientos. Luego se realiza el análisis del diseño insertado en el programa Max Surf, obteniéndose datos con respecto a la resistencia al avance que nos permitirá seleccionar el motor y el sistema de propulsión más adecuado. El tipo de material propuesto será Acero ASTM A36, y el diseño de las estructuras se realizarán respetando las normas y registros de clasificación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

En la investigación “La contaminación del mar por residuos industriales en el marco internacional”, tiene como finalidad abordar la problemática de la contaminación hídrica por residuos o desecho industriales. Por lo que es fundamental las preguntas de ¿Qué entendemos por contaminación y basura marina?, ¿Existe mecanismos idóneos para evitar la contaminación marina por residuos industriales en el marco internacional? ¿Existen medidas idóneas adoptadas en el ámbito regional para eludir la contaminación marina por residuos industriales? Greenpeace en relación a la basura marina afirma “La basura ha sido conceptualizada como cualquier material sólido, persistente, manufacturado o procesado que ha sido vertido o eliminado en el ambiente marino o costero”. Es por eso que es importante el tema de la contaminación marina debido a su efecto que tiene para el ecosistema acuático mundial y la repercusión que el mar tiene en los seres humanos, flora y fauna del planeta. El objetivo de esta investigación es el análisis del marco de protección internacional y regional frente a la contaminación marina donde aborda tres capítulos, el primero trata sobre la importancia de la ONU en relación con los tratados internacionales que acatan la contaminación marina. El segundo es realizar un análisis de protección marina. Y el tercero trata sobre la protección ambiental en el marco europeo. Por consiguiente después de haberse analizado los tres capítulos, se concluye que la contaminación hídrica por residuos industriales al tener una regulación internacional a través de los convenios ha sido un paso clave para todo el ambiente en su totalidad. También que es una temática que debe ser abordada en todos los países del mundo ya que la contaminación genera un grave daño para el planeta [2, p. 1-31].

En el artículo “La protección ecológica del medio marino peruano frente a escenarios de riesgos y siniestros originados por derrames o vertidos de hidrocarburos del petróleo transportados por vía marítima” indica que el uso inadecuado del medio marino incide en la pobreza, subdesarrollo y en el deterioro de la calidad de vida de las personas, la cual se viene reflejando en distintas regiones del Mundo. Describe que la llave maestra a los problemas de contaminación marina por vertidos de hidrocarburos, no es solo un tema o una solución política, sociológica o empresarial, sino especialmente tecnológicas y científicas. Por ello la pregunta, ¿Qué efectos podría tener en el litoral peruano, la contaminación por hidrocarburos?, pues Goldberg hace la referencia que el petróleo derramado después de su penetración en el océano se dispersa por el efecto con la naturaleza, vientos y corrientes oceánicas. Y pueden ser incalculable los daños que causarían en el litoral de Perú donde existe una diversidad de ecosistemas. El daño puede ser a su vez, por reparación imposible, que conllevaría mucho tiempo y dinero. Y es que la conservación de un ambiente marino sano, pero sobretodo su recuperación, significa para los Estados destinar recursos que resultan limitados o no disponibles, esto llevará a que la solución más disponible sea la tecnología marina para acometer el tratamiento al ambiente y las especies de flora y fauna afectadas por la contaminación. Se concluye que la protección ecológica del medio marino peruano y de la riqueza de sus ecosistemas se debe sostener mediante normativas internas y en la cooperación internacional científica

y tecnológica que el estado y la sociedad puedan estar preparados frente a escenarios de emergencia [1, p. 35 -52].

A continuación se muestra en la tabla N°1 el resumen de los derrames de hidrocarburos en el mar peruano.

Tabla N°1. Cronología de los derrames de petróleo

Año	Lugar	Petróleo derramado	Periódico Informante
2010	Paracas	100 galones	RPP Noticias
2011	Colán	Decenas de litros	La República
2012	Piura - Colán		El Comercio
2013	Piura - Talara	200 barriles	Gestión
2014	Tumbes - Zorritos	500 litros	El Comercio
2014	Tumbes - Zorritos	1/4 de barril	El Comercio
2015	Callao - La punta		El Comercio
2016	Moquegua - Ilo		La República
2017	Piura - Talara		El correo

Elaboración propia

Datos: Prensa nacional

En la investigación de “Lineamientos para una propuesta de plan de manejo ambiental para la Bahía de Talara” tiene como objetivo dar a conocer las medidas de prevención y conservación ambiental en la Bahía de Talara, para evitar una posible contaminación marítima por sustancias contaminantes y mitigar contingencias inesperadas que se puedan presentar en el desarrollo de las actividades productivas. El deterioro ambiental, tales como: las actividades pesqueras, las actividades petroleras y la urbanización acelerada no planificada de la ciudad de Talara que pertenece al Mar Peruano se ve amenazada por las fuentes contaminantes de origen antropogénico desde el año 2010. En las actividades petroleras, las empresas dedicadas a este rubro, deberán establecer un programa de manejo de desechos líquidos y sólidos industriales. Ya que así ante casos de emergencia o derrames se aplicará el Plan de Contingencias que dará aviso a las autoridades correspondientes, para el control, recojo y recuperación de hidrocarburos ya sea por barreras, skimmers o sorbentes. En conclusión la toma de medidas de seguridad de acuerdo con cada área productiva, mitigarán las amenazas de contaminación ambiental [16].

En este documento “Un nuevo barco anti-polución para el servicio fluvial, portuario y costero” muestra una embarcación nueva con un diseño para la lucha contra la contaminación, con características para ser utilizada como una embarcación polivalente. Se construyó para trabajo multipropósitos en obras portuarias, lucha contra incendios, remolcador, etc. Su nombre es “CARANGIDE” opera separando el aceite del agua. Este sistema trabaja con escobillas que separan el aceite de bandas hidrofóbicas o que no son removibles. Transfiere el aceite recolectado en tanques de almacenamiento donde se separa del agua. Esta operación se puede realizar en dos fases distintas, el primero es rodear el hidrocarburo derramado que se lleva a cabo con un agarre flotante que recoge los residuos del mar y la segunda fase los recoge a bordo. Para la

construcción de esta embarcación se presentaron las siguientes características, construcción simple y económica, empleo alternativo por ser polivalente, uso de tanques y contenedores para la transferencia inmediata de los líquidos contaminantes, velocidad adecuada para llegar a la zona contaminada, excelentes cualidades de maniobrabilidad para trabajar en áreas estrechas [17].

“Los buques polivalentes. Una necesidad ante las emergencias del mar” en el presente documento se detalla la problemática de la presencia de posibles escenarios de emergencia en el litoral peruano, la cual enfoca la necesidad de contar con un plan de salvamento que incluya la participación de buques polivalentes, preparados para el combate de derrames de petróleo y/o químicos, combate de incendios y remolque que debería complementarse con Patrulleras Oceánicas, provistas de lanchas de interdicción y aeronaves que permitan el rescate colectivo de personas en altamar. Explica que la Marina de Guerra cuenta con naves bastantes veloces pero no hay equipamiento ni personal preparado para hacer frente a un derrame de hidrocarburos, ni tampoco brindar apoyo efectivo en un incendio, etc. Y una alternativa ante estas necesidades se ha propuesto en países vecinos como es Chile y Colombia, que son buques multipropósitos, pero la desventaja de estos buques es su velocidad ya que solo alcanza de 15 a 20 nudos, además es muy costosa la construcción y mantenimiento [3, p. 45-50]

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1 Definiciones fundamentales de un buque

Como definición de buque o embarcación se tiene que es considerado como un flotador que se mueve sumergido parcialmente en un líquido, agua salada o dulce; y debe satisfacer las siguientes condiciones: flotabilidad, estabilidad, velocidad, navegabilidad, maniobrabilidad. Las dimensiones de un buque son aquellas medidas que dan una idea del espacio que éste ocupa, son tres las dimensiones principales:

- Eslora (L): Distancia medida horizontalmente en el sentido longitudinal del buque.
- Manga (B): Distancia medida horizontalmente en el sentido transversal del buque.
- Puntal (D): Es la dimensión vertical de un buque.
- Calado (T): Profundidad que alcanza en el agua la parte sumergida de una embarcación. [18]

Su clasificación de los buques según el número de sus cascos es:

- Monocasco: De un solo casco, son utilizados para un transporte rápido, tienen buena navegabilidad y buen rendimiento, pero no asegura la estabilidad.
- Catamarán: Nace de la unión de dos cascos individuales, que pueden tener forma simétrica y asimétrica ofrece buenas velocidades y buenas cualidades de estabilidad.
- Trimarán: Nace de la unión de tres cascos, uno central y dos laterales más pequeños. Todos unidos por una armadura rígida. [19]

Su clasificación según su régimen de velocidades

Muller Graf divide tres regímenes de velocidades con el fin de comprender mejor

algunos diseños de casco. [20]

➤ Desplazantes $0,1 < Fn < 0,6$

Algunas conclusiones concernientes a la resistencia de avance de los catamaranes:

Para $0,3 < Fn < 0,6$; un catamarán con cascos simétricos tiene la mayor resistencia a la interferencia sobre los catamaranes con las formas de cascos asimétricos. La mayor interferencia ocurre en $Fn = 0.48$

➤ Semi – desplazante $0,6 < Fn < 1,2$

Para catamaranes a esta velocidad, los componentes de resistencia debido a la presencia de los dos cascos están aumentando rápidamente. Los componentes de resistencia incluyen la resistencia a la fricción adicional, debido a la velocidad de flujo más alto entre los cascos.

➤ Planeadoras $1,2 < Fn$

A velocidades altas, la interferencia entre la zona que la embarcación planea y las olas, es despreciable, ya que prácticamente no existe.

Su clasificación según su destinación de la embarcación

- Para paseos cortos
- Para turismo prolongado
- Embarcaciones deportivas
- Buques polivalentes: Polivalente significa que tiene varias funciones, su polivalencia en tres aspectos principales:
 - ✓ En el salvamento de personas.
 - ✓ En la lucha contra la contaminación marina, ya que poseen capacidad de recogida de residuos en la mar.
 - ✓ En la asistencia y el remolque a buques y otras operaciones marítimas.

Se pueden utilizar como plataformas de apoyo a operaciones marítimas pues disponen de un sistema de posicionamiento dinámico, de espacios específicamente habilitados y dotados para el trabajo de buceadores, de equipos auxiliares, central de comunicaciones, etc. Otros elementos tales como el radar seadark, la cámara de visión nocturna (FLIR), equipos contra incendios, y sistemas diferentes de recogida de residuos de hidrocarburos, además de la posibilidad de aplicación de dispersantes completan la dotación que garantiza su operatividad y adecuación a cualquier tipo de emergencia. Se trata de buques con dedicación exclusiva al servicio de Salvamento Marítimo. [21]

2.2.2 Estabilidad

La ley física fundamental por la cual un cuerpo puede flotar, es el Principio de Arquímedes, la cual establece que todo cuerpo completo o parcialmente

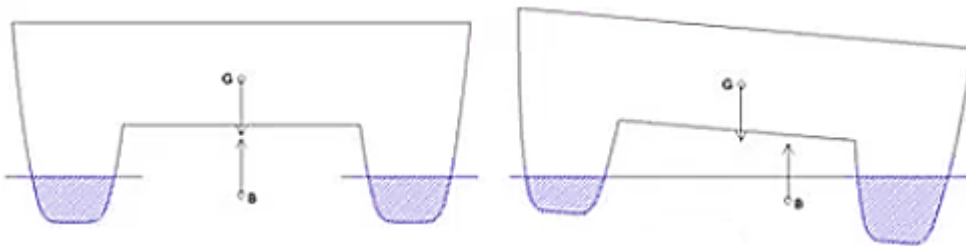
sumergido recibe un empuje vertical hacia arriba igual al peso del volumen que desplaza, esta fuerza pasa por el centro de carena, y depende de la densidad del líquido desplazado. Todo buque para que flote, el empuje debe ser igual al peso. [22].

El comportamiento del catamarán en el mar, debe ser tal que se asegure su integridad en cualquier situación en la que pueda encontrarse.

2.2.2.1. Estabilidad transversal de un catamarán

Es mucho mayor que la de un buque monocasco, la razón es que un catamarán requiere la mitad de calado de un monocasco para garantizar su estabilidad. Para que exista equilibrio se debe cumplir que desplazamiento igual a empuje y, centro de gravedad y de carena en la misma vertical.

Figura N°1. Estabilidad transversal en Catamarán



Elaboración Clements T.
Datos: "Catamaran Concepts"

En la figura de la izquierda el centro de empuje (B) está situado en la misma vertical que el centro de gravedad (G), esto indica que se encuentra en equilibrio. [22]

2.2.3. Evolución del Proyecto

Una embarcación es el producto del trabajo de diferentes ramas de la ingeniería y carreras afines. El proceso de producción del proyecto de un buque es un proceso iterativo. Esto se ve representado gráficamente en la espiral de proyecto. Ver Fig. N°1. Dentro de las etapas del diseño de la nave, se encuentran el diseño conceptual, el diseño preliminar, diseño contractual y el diseño detallado. La última etapa se da en la fase de construcción, por lo que solo se explicará las tres etapas anteriores.

- **Diseño Conceptual:** En esta etapa los requerimientos y condiciones de navegación son los detalles y características de la embarcación. Las dimensiones principales, las formas del casco, el desplazamiento, la estabilidad y flotabilidad, los planos generales, detalles de los interiores y para las estructuras se debe tener en cuenta qué registro de clasificación ha requerido el armador, para hacer el dimensionamiento.

El objetivo principal del diseño conceptual, es obtener aproximadamente un costo de la embarcación, para poder darle una idea al armador de cuánto

le va a costar, y en base a esto decidir si es factible o no desde el punto de vista económico del armador, o si se deben hacer modificaciones para alcanzar esta rentabilidad.

- **Diseño Preliminar:** En esta etapa se optimizan las características principales de la embarcación, algunas características principales no deberían ser modificadas, como por ejemplo: Las dimensiones principales, la potencia instalada y el peso muerto.

Figura N° 2. Espiral de Proyecto



Elaboración H. González

Datos: "Introducción a la construcción del buque I"

- **Diseño Contractual:** En esta etapa se refina por última vez el proyecto. Se hacen pruebas en canales de experiencias, se hacen cálculos de comportamiento en el mar y maniobrabilidad, se calculan detalladamente todas las estructuras, se seleccionan todos los materiales, se estiman los pesos finales y el centro de gravedad y los planos generales definitivos. [23].

2.2.4. Diseño de la carena, dimensiones principales

Para el diseño de la carena se utilizan softwares de diseño inicial como: Aveva Marine, Max Surf, etc. Con este paquete se puede realizar todo el diseño conceptual de una nave. Tiene programas que se utilizan para definir la geometría de la embarcación, como Lines, Surface, Compartiment. Programas para cálculos de hidrostática (Hydrostatics) e hidrodinámica (Powering, Seakeeping, Manoeuvring, Dynamic Positioning). Para realizar las dimensiones principales

(Eslora, Manga, Calado, Puntal), pero antes se seleccionan teniendo en cuenta una base de datos de embarcaciones que ya existen mediante una relación L/B y B/T.

2.2.5. Registros de clasificación

Las Sociedades de Clasificación son organizaciones no gubernamentales que desarrollan normativas con la misión de buscar el interés general así como las necesidades de sus clientes, promoviendo la seguridad de la vida humana y la protección del entorno natural marino por medio del desarrollo y verificación de estándares para el diseño, construcción y mantenimiento de buques y plataformas offshore. Así mismo se usan para el dimensionamiento de las estructuras.

Entre las normas internacionales que existen está el American Bureau of Shipping (ABS), o el Bureau Veritas que son utilizados para el escantillonado de la embarcación; Criterio de código de Estabilidad (IMO); MARPOL; SOLAS; etc. [24]

2.2.6. Pesos y desplazamientos

El peso total del buque se subdivide en peso muerto y peso en rosca.

$$W_{TOTAL} = W_{rosca} + W_{muerto}$$

El peso en rosca W_{rosca} es el peso del buque tal como lo entrega el astillero al final de la construcción, sin tripulación ni carga consumible (víveres, combustible, agua, lastre, etc.). Se subdivide teniendo en cuenta las siguientes categorías. [13, p. 78]

$$W_{rosca} = W_{Est} + W_{Eqp} + W_{Maq}$$

Donde:

W_{Est} : Es el peso de estructuras

W_{Eqp} : Es el peso de equipamiento

W_{Maq} : Es el peso de maquinaria

El peso muerto W_{muerto} se divide en

$$W_{muerto} = W_{Pers} + W_{comb} + W_{Liq} + W_{pro}$$

Donde:

W_{Pers} : Es el peso de personal

W_{comb} : Es el peso del combustible

W_{Liq} : Es el peso de líquidos

W_{prov} : Es el peso de provisiones.

2.2.7. Propulsión en un buque

Para que un buque se mueva, es necesario que venza la fuerza de resistencia

ofrecida por el agua y el aire. Para resolver este problema, se tiene en cuenta la forma de la carena del buque, la máquina que brindará la potencia propulsiva, y el propulsor que transformará esta potencia en empuje. La resistencia al avance determina el empuje y la eficiencia determina la potencia. La resistencia se estudia inicialmente en aguas tranquilas y sin considerar el viento, para el cual se mantienen márgenes de corrección. La resistencia al avance es la fuerza que se opone al avance del buque. Esta fuerza puede dividirse en varias componentes.

R_F : Resistencia de fricción

R_R : Resistencia residual

R_A : Resistencia de apéndices

- Resistencia de fricción (R_F): Debido a la viscosidad, cuando un cuerpo se mueve en un fluido sin movimiento (calmo, tranquilo o quieto), una capa delgada de fluido se adhiere a la superficie del cuerpo y comienza a desplazarse a la velocidad de este cuerpo. A una cierta distancia del cuerpo, el fluido permanece quieto. Esto quiere decir, que hay una gradiente de velocidad que es mayor cerca de la superficie del cuerpo. El volumen de fluido que se desplaza con el cuerpo, se conoce como estrato límite. Debido a la existencia de esta gradiente de velocidad en el estrato límite, se generan fuerzas cortantes en el fluido, que son las responsables de la llamada resistencia de fricción.
- Resistencia residual (R_R): Esta componente es la diferencia entre la resistencia total, y la resistencia por fricción. Se subdividen así para poder hallar la resistencia total al avance del buque, a partir de los datos obtenidos de las pruebas de un modelo a escala en el canal de experiencias. Parte de esta resistencia se debe al sistema de olas que genera el buque al moverse en el agua y recibe el nombre de resistencia generadora de olas. Este sistema se origina por el campo de presión que crea el cuerpo al moverse. La energía necesaria para crearlo y mantenerlo, la da el cuerpo.
- Resistencia de apéndices (R_A) Todos los buques tienen un número de apéndices. Cada uno de ellos tiene sus propias características, y es preferible considerar la resistencia que generan separadamente, porque pueden generar cada tipo de resistencia mencionado previamente. Generalmente para buques mercantes se les considera como un porcentaje de la resistencia total del buque sin apéndices, ya que no suele superar el 15% de esta, por lo cual no es un factor crítico.

Entonces, por síntesis, llegamos a la hipótesis de William Froude:

$$R_T = R_F + R_R$$

Existen series sistemáticas para hallar la resistencia total, entre ellos: ITTC'78, Series de Holtrop, Goldhammer's & Harvald's, etc. Aplicando la fórmula para determinar la Resistencia total del catamarán, con el método de Muller Graf. [15]

$$R_{TCat} = 2 \times R_{BH} + R_{Iat} + R_{AP} + R_{AA} + R_W$$

Donde:

R_{BH} : Resistencia del casco liso de un casco

R_{Iat} : Resistencia de las interferencias del casco del catamarán

R_{AP} : Resistencia por apéndices

R_{AA} : Resistencia Aérea

R_W : Resistencia de las olas

Con la resistencia total se hallará la potencia necesaria para conseguir el motor o motores que se van a instalar en la embarcación.

- Potencia de Remolque o efectiva (KW)

$$EHP = R_T \times V$$

Donde:

EHP : Potencia Efectiva

R_T : Resistencia Total

V : Velocidad

- Potencia a la Tobera (KW)

$$P_T = \frac{EHP}{0.6}$$

Donde:

P_E : Potencia Efectiva

P_T : Potencia a la tobera

- Potencia Propulsora (KW)

$$BHP = EHP \times 1.15$$

Donde:

BHP : Potencia al eje

P_T : Potencia a la tobera

2.2.8. Materiales

Dentro de los materiales que se usan para la construcción de embarcaciones está, el aluminio, acero, fibra de vidrio, etc. En este tipo de embarcación se trabajará con acero naval.

2.2.8.1 Acero

Los grados de acero ordinario en buques de navegación marítima y el interior de las barcasas están diseñados con grados de acero ordinario y HT, grados de acero para barco que van desde el grado A hasta el EH40, según norma ASTM A 131/A 131M, “Especificación Estándar para Acero Estructural de barcos”. Buques especiales incorporan componentes más complejos y diferentes construcciones internas como en las compañías

químicas, utilizando UNS S31653 (AISI 316LN) o S32205 (acero inoxidable Duplex). El acero inoxidable Duplex ofrece la combinación de alta resistencia y resistencia a la corrosión permitiendo que puedan ser transportados más productos químicos en estos buques. [25]. El acero A36 es una aleación de acero al carbono de propósito general muy comúnmente usado en los Estados Unidos, aunque existen muchos otros aceros, superiores en resistencia, cuya demanda está creciendo rápidamente [26].

➤ **Acero A36**

Es un acero estructural al carbono, utilizado en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización. La denominación A36 fue establecida por la ASTM (American Society for Testing and Materials). El acero A36 se produce en una amplia variedad de formas, que incluyen: Planchas, perfiles estructurales, tubos, barras láminas, pletinas, ángulos, etc.

Entre las propiedades el A36, tiene una densidad de 7850 kg/m^3 (0.28 lb/in^3). El acero A36 en barras, planchas y perfiles estructurales con espesores menores de 8 pulg. (203,2 mm) tiene un límite de fluencia mínimo de 250 MPA (36 ksi), y un límite de rotura mínimo de 410 MPA. (58 ksi). Las planchas con espesores mayores de 8 pulg (203,2 mm) tienen un límite de fluencia mínimo de 220 MPA (32 ksi), y el mismo límite de rotura [26].

III. ANÁLISIS Y DISEÑO

3.1. Autonomía

La autonomía es la posibilidad de tiempo que tiene un buque de permanecer en alta mar sin ningún inconveniente. Esto es un aspecto importante que toda embarcación debe tomar en cuenta.

El catamarán polivalente operará en agua de los puertos de la Costa del mar del Perú con un total de 200 millas aproximadamente. Con una velocidad máximo de 15 nudos.

3.2. Consideraciones iniciales

Para las dimensiones principales y el material a usar se hace una estima de valores que se presentan a continuación en la Tabla N°2.

Tabla N° 2. Dimensiones Iniciales

Eslora total	15 m
Manga	5,40 m
Velocidad	12 kn
Material del casco	Acero Naval
Material de la Superestructura	Acero Naval

Elaboración Propia

3.3. Dimensiones principales

Se obtuvo una base de datos de las características principales de embarcaciones similares al de la propuesta que se muestran en la tabla N°3.

Tabla N° 3. Base de datos de embarcaciones similares

Nombres	L (Length)	B (Breadth)	D (Depth)	T (Draft)	Speed	Hull
PGCP HUARMEY	51,1	7,44	3,8	1,73	22 kn	Steel
PC ZORRITOS	12,2	4,2	1,85	0,6	25 kn	Aluminum
P/B	15	4,9	2,27	0,9	25 kn	Aluminum
Carangide II	12,1	3,6	1,8	1,1	10 kn	
Carangide	10,5	3,5	1,5			
PGCP ZAÑA	51,5	7,44	3,8	1,73	22kn	Steel
Pat.Fluviales	7,4	2,3	1,1			Steel
PC COISHCO	12,2	4,2	1,85	0,6	25 kn	Aluminum
Maria de Maeztu	39,7	12,5	5,8	4,2	12 kn	
SAR Mesana	39,7	12,5	5,8	4,2	13 kn	

Elaboración Propia

➤ **Eslora**

Haciendo un promedio en las esloras obtenidas de la base de datos, se obtiene una $L = 28$ m, con la cual se trabajó un Catamarán multipropósitos en la universidad de Trieste con asesoría de los docentes de Italia y con el programa AVEVA.

Pero por cuestiones de facilitación de aprobación de planos y trámites para su posible construcción se decide hacer un trabajo de similitud con un factor escala de $\lambda=0,5035$ de la cual se obtienen la siguiente eslora:

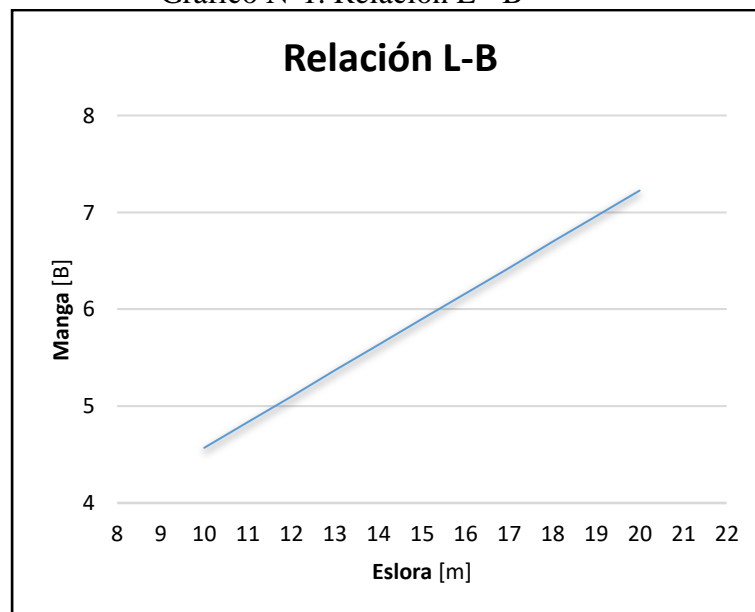
$$L \text{ (Length)} = 15 \text{ m}$$

➤ **Manga total (B)**

Haciendo el diagrama de Relación L – B, mediante la relación:

$$B = 0,2656 * L + 1,9133$$

Gráfico N°1. Relación L - B



Elaboración propia

Ingresando $L=15$ m se obtiene una $B = 5,8$ m, pero se escogerá el valor de $B= 5,45$ m.

✓ **Separación entre semicascos**

De estudios experimentales la proporción permisible entre la separación de los semicascos es $c/L_{wl} = 0,1$ y un aumento en la distancia del túnel $c/L_{wl} > (0,2 - 0,25)$. [27]

Donde:

c: Es la distancia entre amuras internas de los cascos

L_{wl} : Es la eslora de flotación.

$$0,1 \leq c/L_{wl} < (0,2 - 0,25)$$

$$0,1 \leq 2,68/14,5 < (0,2 - 0,25)$$

$$0,1 \leq \mathbf{0,18} < (0,2 - 0,25)$$

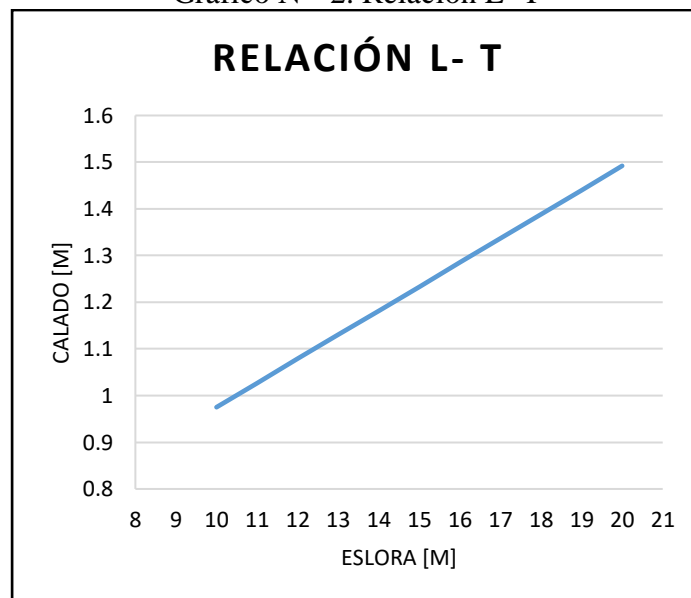
El valor de la relación c/L_{wl} de este proyecto salió 0,18; por lo que se concluye que la distancia entre semicascos del catamarán polivalente si cumple con la proporción dada por Dudbrosky.

➤ Calado

✓ Haciendo el diagrama de Relación L – T, mediante la relación:

$$T = 0,0517 * L + 0,4581$$

Gráfico N° 2. Relación L- T



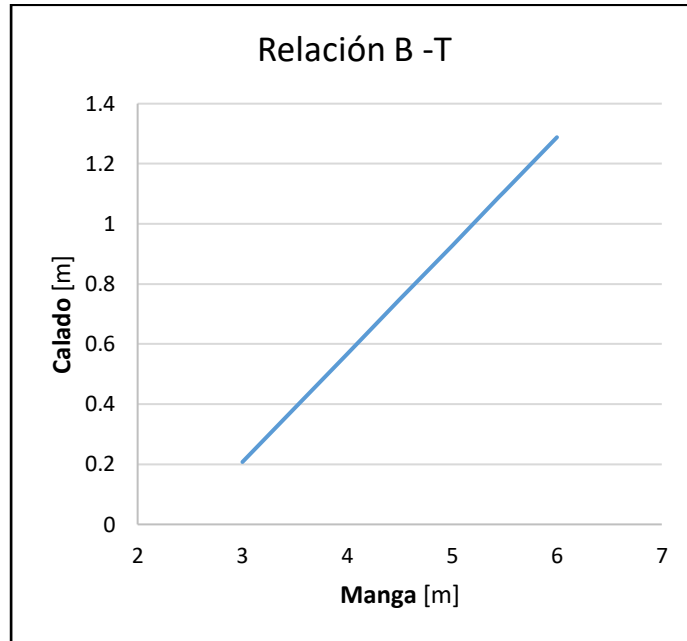
Elaboración Propia

Ingresando L=15 m se obtiene una T = 1,23 m

✓ Haciendo el diagrama de Relación B – T, mediante la relación:

$$T = 0,3602 * B - 0,873$$

Gráfico N° 3. Relación B -T



Elaboración propia

Ingresando $B=5,45$ m se obtiene una $T = 1,087$ m, **calado que se utilizará en el proyecto.**

Entre los resultados obtenidos tenemos:

Tabla N° 4. Dimensiones obtenidas

Eslora L	15 m
Manga total B_T	5,45 m
Manga de un casco b	1,41 m
Separación entre amuras internas de los cascos c	2,62 m
Puntal D	2,37 m
Calado T	1,08 m

Elaboración Propia

3.4. Determinación de formas

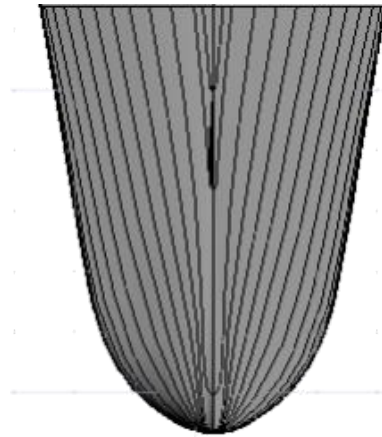
Las formas se determinan mediante las ventajas que presentan los catamaranes, entre ellas tenemos:

- ✓ La relación velocidad/ potencia y el ahorro de combustible
- ✓ Es más estable que el buque tradicional
- ✓ Presenta una excelente maniobrabilidad
- ✓ Al tener formas más finas, la formación de olas es menor.

Al momento de seleccionar las formas. Se parte por otro buque de referencia que a lo largo de su vida, y su análisis haya dado buenos resultados. [28]

Por ello se usará las formas del catamarán base, trabajado en la Universidad de Trieste con un análisis hidrodinámico completo y asesorado con los docentes de Italia.

Figura N° 3. Formas del casco



Elaboración Aveva

Con los resultados obtenidos de las dimensiones y las formas, se procede al diseño de la embarcación en el programa Max Surf. Donde se obtienen las siguientes dimensiones.

Tabla N° 5. Dimensiones principales finales

DIMENSIONES	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Eslora	L_{WL}	14,525	M
Manga	B_{WL}	5,224	M
Calado	T	1,08	M
Desplazamiento	Δ	18	Ton
Volumen desplazado	∇	17,561	m ³
Área mojada	S_m	64,157	m ²
Sección de área máxima	A_m	1,913	m ²
área del plano de flotación	A_{WL}	26,773	m ²
Coefficiente prismático	C_p	0,632	-
Coefficiente de bloque	C_b	0,47	-
Coef. de la cuaderna maestra	C_m	0,772	-
Coef. de plano de flotación	C_{WP}	0,779	-

Elaboración Max Surf

3.5. Hidrostática

Con una densidad de 1,025 Tn/m³ del agua de mar, se han realizado los cálculos hidrostáticos en el programa de Hidromax de Max Surf, los cuales sirven para analizar la estabilidad del catamarán. En las tablas N° 6 y N° 7 se muestran las

características geométricas del catamarán en función al calado. Y en el gráfico N° 4 se muestran las curvas hidrostáticas.

➤ **Características geométricas del catamarán en función del Calado**

Tabla N° 6. Datos Hidrostáticos I

	Unidades	CALADO [m]								
		0,58	0,609	0,638	0,667	0,696	0,725	0,754	0,783	0,812
Desplazamiento	[Tn]	5,78	6,358	6,969	7,603	8,256	8,925	9,608	10,3	11,01
Calado en FP	[m]	0,58	0,609	0,638	0,667	0,696	0,725	0,754	0,783	0,812
Calado en AP	[m]	0,58	0,609	0,638	0,667	0,696	0,725	0,754	0,783	0,812
Calado en LCF	[m]	0,58	0,609	0,638	0,667	0,696	0,725	0,754	0,783	0,812
Eslora WL	[m]	13,707	14,224	14,244	14,263	14,283	14,302	14,32	14,339	14,357
Manga WL	[m]	5,047	5,059	5,07	5,082	5,093	5,104	5,114	5,125	5,135
Superficie Mojada	[m ²]	33,059	35,55	37,661	39,541	41,401	43,219	45,015	46,797	48,572
Waterpl. Area	[m ²]	18,744	20,092	20,993	21,674	22,247	22,744	23,189	23,597	23,976
Coficiente Prismático		0,5	0,495	0,508	0,521	0,532	0,544	0,554	0,564	0,573
Coficiente de Bloque		0,282	0,284	0,296	0,306	0,318	0,33	0,34	0,35	0,358
Coef. De Midship área		0,287	0,292	0,296	0,3	0,304	0,308	0,312	0,315	0,318
Coef. De Waterpl, Área		0,271	0,279	0,291	0,299	0,306	0,312	0,317	0,321	0,325
LCB from zero pt	[m]	7,246	7,144	7,037	6,937	6,846	6,764	6,692	6,627	6,57
LCF from zero pt.	[m]	6,255	5,999	5,878	5,808	5,77	5,748	5,737	5,733	5,733
KB	[m]	0,375	0,395	0,415	0,435	0,454	0,473	0,492	0,511	0,529
KG	[m]	1,076	1,076	1,076	1,076	1,076	1,076	1,076	1,076	1,076
BMt	[m]	13,769	13,422	12,803	12,126	11,47	10,855	10,287	9,767	9,291
BML	[m]	31,942	34,377	34,232	33,151	31,901	30,583	29,292	28,063	26,912
GMt	[m]	13,067	12,741	12,141	11,484	10,848	10,252	9,703	9,202	8,745
GML	[m]	31,24	33,696	33,571	32,51	31,279	29,98	28,708	27,498	26,366
KMt	[m]	14,143	13,817	13,217	12,56	11,924	11,328	10,779	10,278	9,821
KML	[m]	32,316	34,772	34,647	33,586	32,355	31,056	29,784	28,574	27,442
Immersion (TPc)	[Ton/cm]	0,192	0,206	0,215	0,222	0,228	0,233	0,238	0,242	0,246
MTc tonne.m	[Ton.m]	0,12	0,143	0,156	0,165	0,172	0,178	0,184	0,189	0,194

Elaboración Propia
Datos Max Surf

Tabla N° 7. Datos Hidrostáticos II

	Unidades	CALADO [m]								
		0,841	0,87	0,899	0,928	0,957	0,986	1,015	1,044	1,073
Desplazamiento	[Tn]	11,73	12,46	13,2	13,94	14,7	15,46	16,24	17,02	17,81
Calado en FP	[m]	0,841	0,87	0,899	0,928	0,957	0,986	1,015	1,044	1,073
Calado en AP	[m]	0,841	0,87	0,899	0,928	0,957	0,986	1,015	1,044	1,073

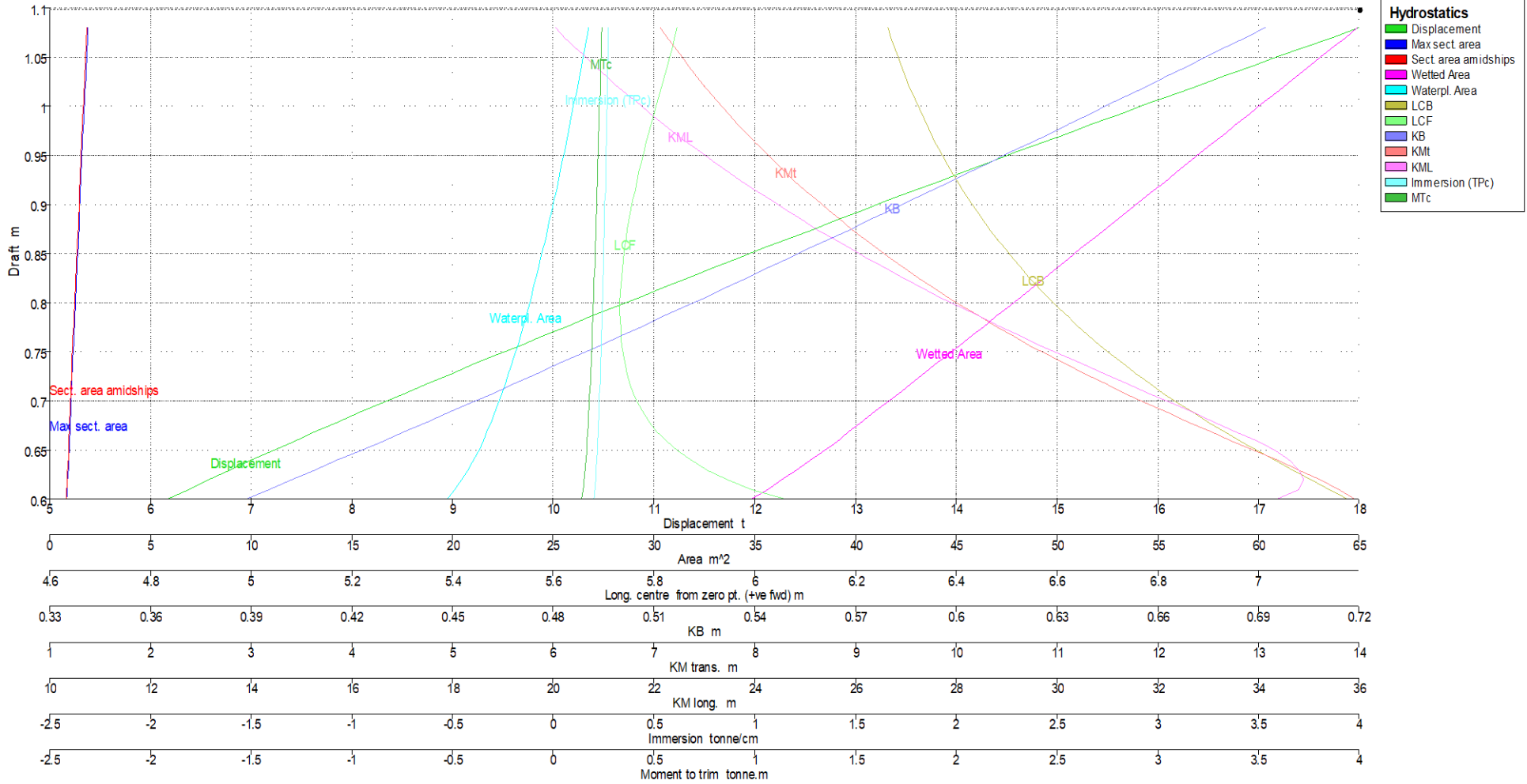
Calado en LCF	[m]	0,841	0,87	0,899	0,928	0,957	0,986	1,015	1,044	1,073
Eslora WL	[m]	14,375	14,393	14,411	14,429	14,447	14,466	14,484	14,502	14,52
Manga WL	[m]	5,146	5,157	5,167	5,177	5,187	5,195	5,204	5,213	5,221
Superficie Mojada	[m ²]	50,342	52,109	53,876	55,642	57,409	59,177	60,947	62,72	64,494
Waterpl. Area	[m ²]	24,333	24,667	24,986	25,291	25,585	25,871	26,151	26,429	26,706
Coefficiente Prismático		0,581	0,589	0,597	0,603	0,61	0,616	0,621	0,626	0,631
Coefficiente de Bloque		0,368	0,376	0,384	0,392	0,4	0,408	0,414	0,42	0,428
Coef. De Midship área		0,321	0,324	0,327	0,33	0,333	0,335	0,344	0,347	0,349
Coef. De Waterpl. Area		0,329	0,332	0,336	0,339	0,341	0,344	0,347	0,35	0,352
LCB from zero pt	[m]	6,519	6,473	6,433	6,397	6,365	6,337	6,311	6,289	6,269
LCF from zero pt.	[m]	5,738	5,746	5,756	5,768	5,782	5,796	5,812	5,827	5,843
KB	[m]	0,548	0,566	0,583	0,601	0,619	0,636	0,653	0,671	0,688
KG	[m]	1,076	1,076	1,076	1,076	1,076	1,076	1,076	1,076	1,076
BMt	[m]	8,856	8,457	8,091	7,754	7,443	7,157	6,892	6,648	6,422
BML	[m]	25,835	24,828	23,891	23,017	22,203	21,447	20,742	20,09	19,485
GMt	[m]	8,328	7,947	7,598	7,279	6,986	6,717	6,47	6,243	6,034
GML	[m]	25,307	24,317	23,399	22,542	21,745	21,007	20,32	19,685	19,097
KMt	[m]	9,404	9,023	8,674	8,355	8,062	7,793	7,546	7,319	7,11
KML	[m]	26,383	25,393	24,475	23,618	22,821	22,083	21,396	20,761	20,173
Immersion (TPc)	[Ton/cm]	0,249	0,253	0,256	0,259	0,262	0,265	0,268	0,271	0,274
MTc tonne.m	[Ton.m]	0,198	0,202	0,206	0,21	0,213	0,217	0,22	0,223	0,227

Elaboración Propia
Datos Max Surf

➤ Curvas Hidrostáticas

Las curvas nos muestran el comportamiento del casco de la embarcación, a diferentes calados. Se muestran en el gráfico N°4

Gráfico N° 4. Curvas Hidroestáticas

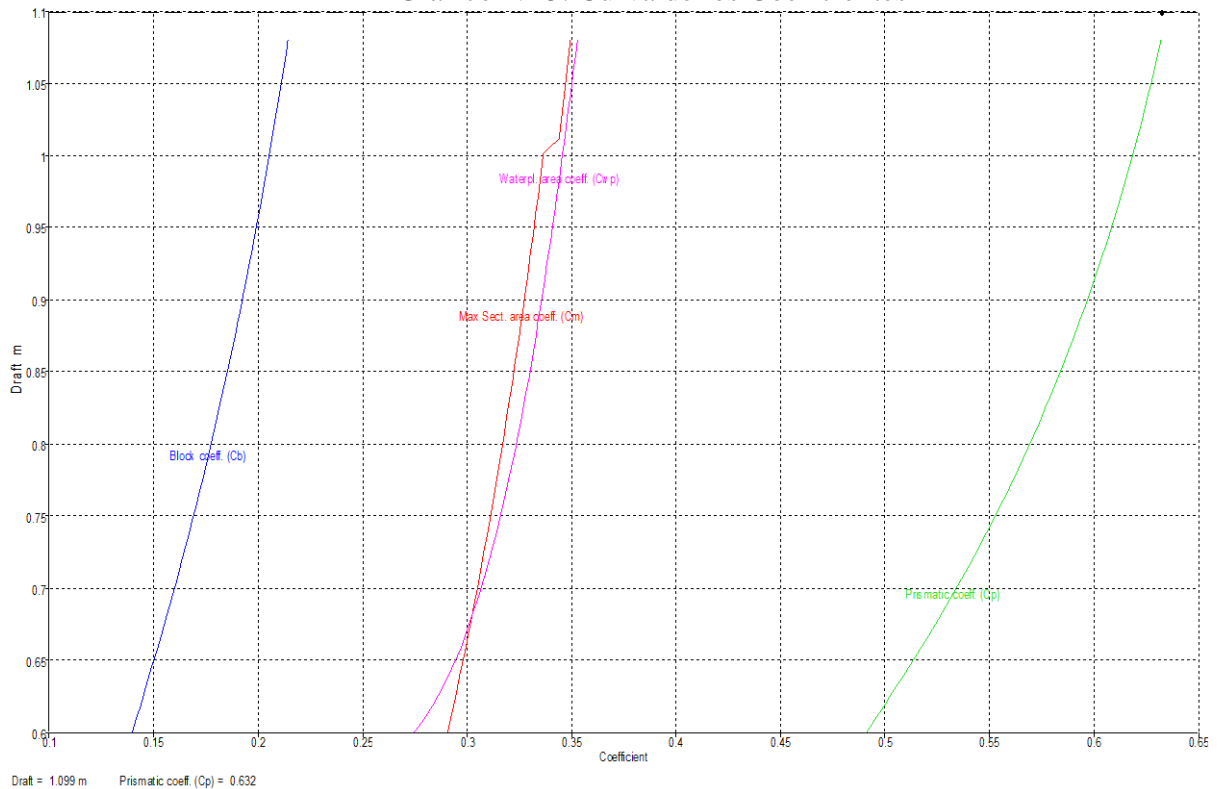


Draft = 1.099 m Displacement = 18.000 t

Elaboración y datos Max Surf

➤ **Relación Calado – Coeficientes**

Gráfico N° 5. Curva de los Coeficientes



Elaboración y Datos Max Surf

➤ **Curvas Cruzadas**

Las curvas cruzadas son aquellos brazos adrizantes que se miden a diferentes desplazamientos con un $KG = 0$. En la Tabla N° 8 se muestran el KN para diferentes ángulos de escora en función del desplazamiento. Se debe tener en cuenta que cuando el ángulo de escora es mayor a 9° , el metacentro ya no se ubica en crujía, por ello es que no se puede emplear la teoría de estabilidad a pequeños ángulos basada en el concepto de altura metacéntrica. Sin embargo, la fórmula con la que se trabaja en escoras pequeñas y grandes sigue siendo válido.

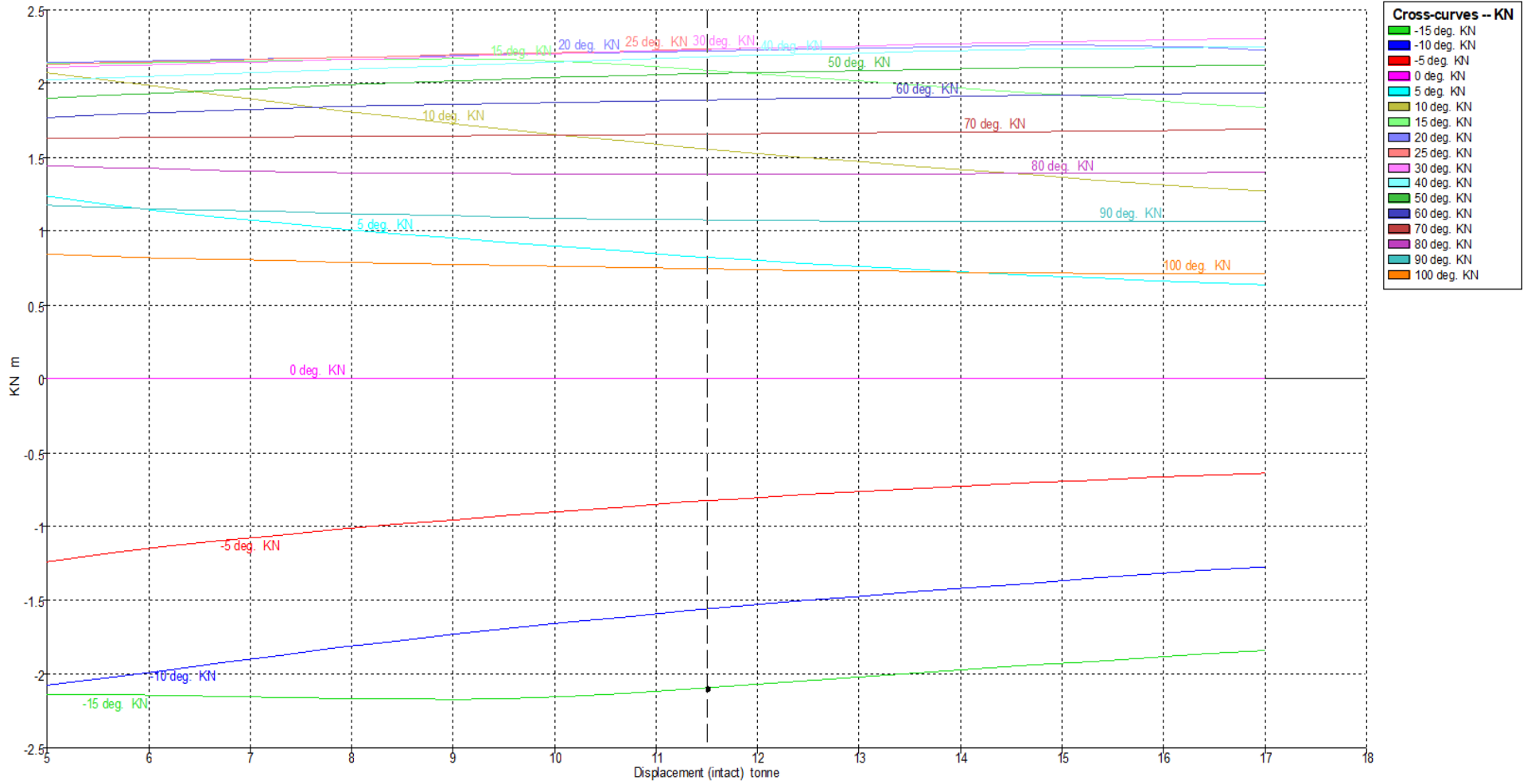
$$M_{O_{Adrizante}} = \Delta \cdot GZ$$

Donde:

$$GZ = GM \cdot \sin\theta$$

$$GZ = KN - KG \cdot \sin$$

Gráfico N° 6. Curvas Cruzadas KN



-15 deg. KN = -2.090 m Displacement (intact) = 11.500 tonne

Elaboración y Datos Max Surf

✓ **Cálculos de curvas cruzadas**

Tabla N° 8. Características Hidrostáticas a distintos ángulos de escora a Máxima Carga

Desplazamiento [Ton]	LCG [m]	KN												
		5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°
5	7.375	1.238	2.074	2.132	2.138	2.13	2.107	2.02	1.9	1.77	1.631	1.445	1.18	0.8
5.571	7.281	1.185	2.026	2.138	2.146	2.14	2.118	2.04	1.92	1.79	1.633	1.434	1.16	0.8
6.143	7.182	1.138	1.974	2.143	2.154	2.15	2.13	2.05	1.94	1.806	1.635	1.423	1.15	0.8
6.714	7.081	1.095	1.921	2.149	2.161	2.16	2.141	2.07	1.95	1.82	1.637	1.413	1.14	0.8
7.286	6.986	1.056	1.87	2.154	2.168	2.17	2.151	2.08	1.97	1.832	1.639	1.405	1.13	0.8
7.857	6.9	1.02	1.821	2.16	2.175	2.18	2.162	2.1	1.99	1.843	1.641	1.398	1.12	0.8
8.429	6.824	0.985	1.774	2.165	2.182	2.19	2.172	2.11	2.01	1.852	1.644	1.393	1.11	0.8
9	6.756	0.953	1.729	2.17	2.189	2.19	2.183	2.12	2.02	1.86	1.646	1.389	1.11	0.8
9.571	6.695	0.922	1.686	2.165	2.197	2.2	2.193	2.14	2.03	1.868	1.649	1.386	1.1	0.8
10.14	6.641	0.892	1.646	2.148	2.204	2.21	2.204	2.15	2.04	1.875	1.652	1.385	1.09	0.8
10.71	6.593	0.862	1.607	2.126	2.211	2.22	2.214	2.16	2.05	1.881	1.655	1.384	1.08	0.8
11.29	6.549	0.834	1.571	2.1	2.218	2.23	2.224	2.18	2.06	1.887	1.657	1.383	1.08	0.8
11.86	6.51	0.808	1.536	2.074	2.225	2.24	2.235	2.19	2.07	1.893	1.66	1.383	1.07	0.7
12.43	6.475	0.783	1.502	2.046	2.232	2.25	2.245	2.2	2.08	1.898	1.663	1.384	1.07	0.7
13	6.443	0.761	1.47	2.019	2.239	2.26	2.255	2.21	2.09	1.903	1.666	1.385	1.07	0.7
13.57	6.414	0.739	1.439	1.991	2.246	2.26	2.265	2.21	2.09	1.908	1.669	1.385	1.07	0.7
14.14	6.388	0.72	1.409	1.964	2.253	2.27	2.274	2.22	2.1	1.913	1.673	1.387	1.07	0.7
14.71	6.365	0.701	1.379	1.937	2.26	2.28	2.282	2.23	2.1	1.918	1.676	1.388	1.07	0.7
15.29	6.343	0.684	1.351	1.911	2.261	2.29	2.288	2.23	2.11	1.922	1.679	1.39	1.07	0.7
15.86	6.323	0.668	1.323	1.885	2.255	2.29	2.294	2.24	2.12	1.927	1.682	1.392	1.07	0.7
16.43	6.306	0.653	1.296	1.86	2.243	2.3	2.298	2.24	2.12	1.931	1.686	1.394	1.07	0.7
17	6.289	0.639	1.271	1.836	2.227	2.3	2.301	2.25	2.12	1.935	1.69	1.397	1.07	0.7

Elaboración Propia
Datos Max Surf

3.6. Francobordo y compartimentación

❖ **Francobordo.**

Las embarcaciones menores de 20 m de eslora están excluidas de los reglamentos de Francobordo, ya que solo es obligatorio para embarcaciones grandes. Por ello se considera Francobordo a la distancia desde el calado al puente principal de cubierta. Que sería 1,28 m.

❖ **Compartimentación**

La embarcación polivalente dispondrá de un solo puente principal, y una caseta de comando. Por lo que permitirá llevar a 3 personas a bordo. Bajo la cubierta principal están los cascos simétricos donde se alojarán los motores de popa, tanques para recoger hidrocarburos, tanques de combustible, y todos los sistemas necesarios para el funcionamiento de este buque polivalente.

✓ **Mamparos estancos**

De acuerdo a la Regla 10 – Parte B: “Compartimentado y estabilidad” – Solas, se instalará un mamparo de pique de proa o de colisión que será estanco. Estará situado a una distancia de la perpendicular de proa no inferior al 5% de la eslora de la embarcación ni superior a 3 m más el 5% de la eslora del buque.

$$0,05 * L$$

$$0,05 * 14,53 = 0,725$$

La reglamentación también exige que la sala de máquinas debe estar limitada por mamparos estancos. Estará situado en la cuaderna 3, debido al tamaño del motor, y del sistema diésel eléctrico que se utilizará.

✓ **Agua Dulce**

La capacidad del agua dulce dependerá del número de personas a bordo y días de navegación. Se recomienda diario aproximadamente 0,015 Tn por persona (15 litros).

$$Capacidad_{Agua Dulce} = N^{\circ} personas \times \frac{Tn}{persona} \times N^{\circ} días$$

$$Capacidad_{Agua Dulce} = 3 \times 0,015 \times 2$$

$$Capacidad_{Agua Dulce} = 0,9 Ton$$

Por los que se instalará en cada casco un tanque de aproximadamente **0,5 Ton**, cada uno.

✓ **Tanque de aguas grises**

Todo tipo de embarcación está sujeta a normas de prevención y control de la contaminación por aguas sucias. Según normas de la MARPOL. Se considera un desecho de 0,02 ton diarios por persona.

$$Capacidad_{Ag Grises} = Desecho \times N^{\circ} días \times N^{\circ} personas$$

$$Capacidad_{Ag Grises} = 0,02 \times 2 \times 3$$

$$Capacidad_{Ag Grises} = 0,12$$

Por los que se instalará en cada casco un tanque de aproximadamente 0,06 Ton, cada uno.

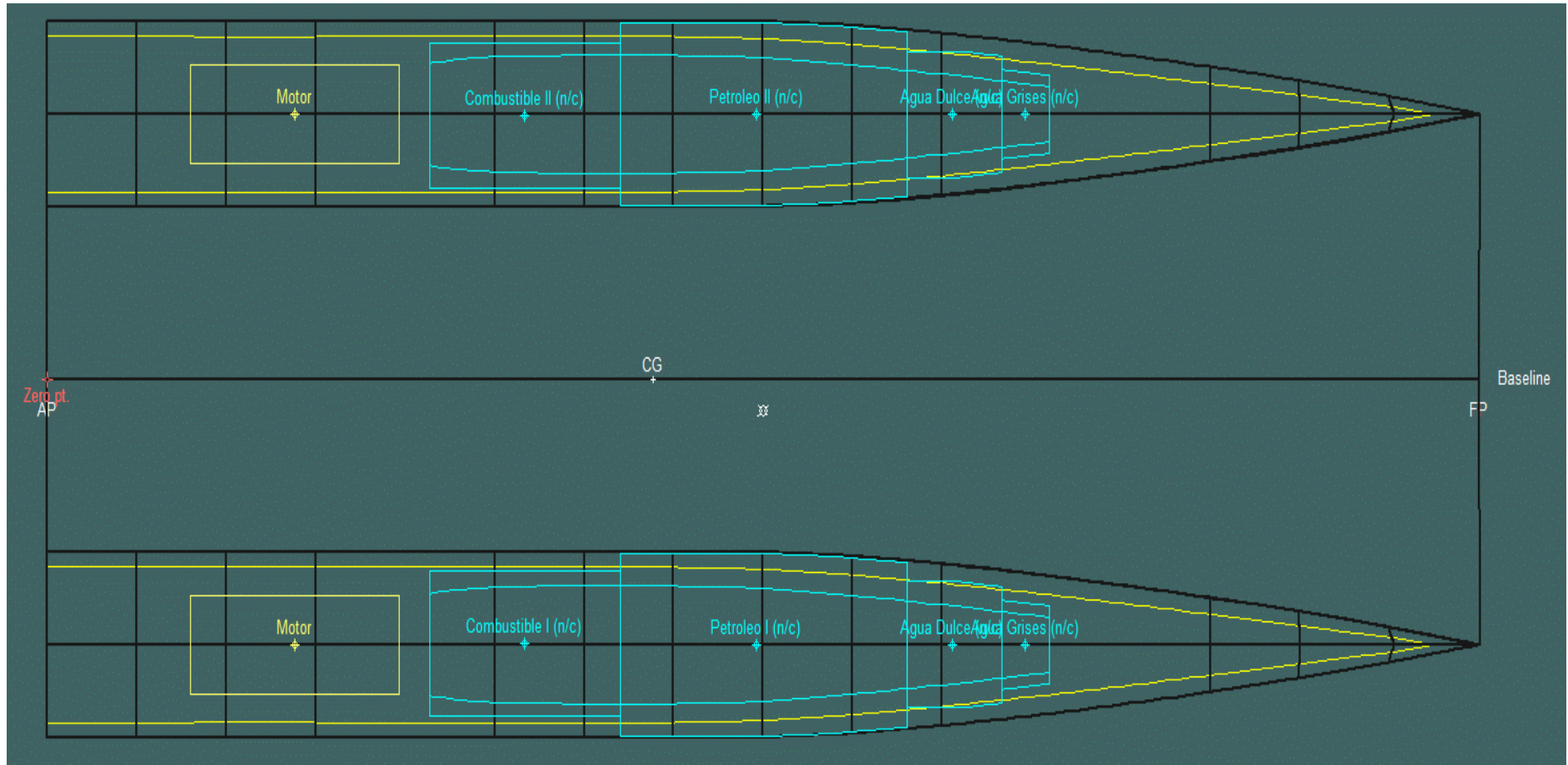
✓ **Tanque para el recojo de hidrocarburos**

De la tabla N°1 Cronología de los derrames de hidrocarburos, se obtiene que el promedio de derrames es de 8000 litros aproximadamente 8 toneladas. Por los que se instalará en cada casco un tanque de aproximadamente 5 toneladas, ya que varía con la densidad del hidrocarburo.

✓ **Tanque de Combustible**

De acuerdo a proyecto y la selección del motor, la capacidad del combustible debe ser 2880 litros aproximadamente, que se dispondrá de dos tanques para cada casco.

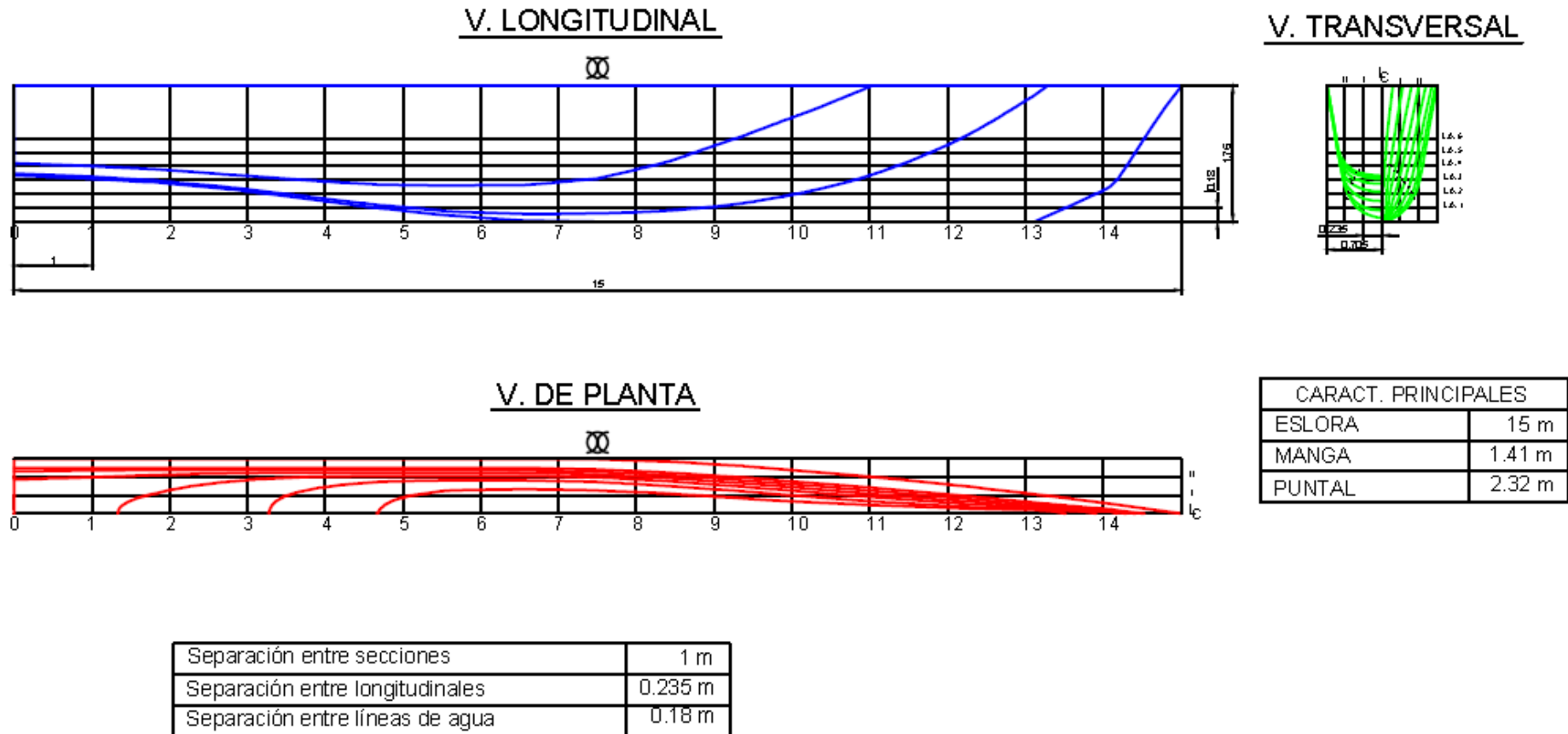
Figura N° 4. Ubicación de los tanques y compartimentación



Elaboración y datos en Max Surf

3.7. Planos generales

Figura N° 5. Plano de formas



Elaboración AutoCAD y datos Max surf

3.8. Escantillonado y estructuras

El escantillado sirve para una estimación más precisa del peso de casco, cubierta y estructura. Se utilizan los Registros de Clasificación, en este caso se usará el ABS (American Bureau of Shipping). En la parte 3 “Hull constructions and Equipment”, aplicados a embarcaciones menores de 90 metros de eslora.

3.8.1. Datos para el escantillonado

Primero se hallará los datos para el Cálculo, se encuentran en el Capítulo 1, sección 1, “definitions”.

➤ **Calado de escantillonado**

Es la distancia en metros medida verticalmente de la sección transversal medida desde la línea base a la flotación máxima de verano, en este caso se utiliza como el calado de escantillonado a la distancia del puntal a la cubierta principal, por lo que es **2,00 m**

➤ **Eslora de escantillonado**

Es la distancia en metros, medida sobre la flotación de verano desde la roda al centro de la mecha del timón. En todo caso L distancia no deberá ser menor de 96% de la eslora total para el calado de escantillonado y no necesita ser mayor del 97% de la eslora total en l flotación de verano. Como ya se ha definido es **14,5 m**

➤ **Manga**

Es la mayor manga medida en metros, que es 5,4 m

➤ **Coefficiente de bloque de escantillonado**

Es el correspondiente al calado, manga, eslora y desplazamiento, ya hallado antes que es **0,47**

➤ **Clara de cuadernas**

La separación entre cuadernas se ha dibujado en el plano de formas que es de **1 m**, pero se asumirán también las separaciones de longitudinales de fondo **0,460 m**, La separación de longitudinales de costado **0,60 m**, separación de esloras de cubierta **0,60 m** y la separación de baos **0,60 m**.

En conclusión, los datos para el cálculo son:

- Eslora de escantillonado 14,5 m
- Separación de cuadernas 1 m
- Calado 2,32 m
- Manga 5,4 m
- Coeficiente de bloque 0,47

3.8.2. Materiales

El material que se usará para la construcción, será el Acero ASTM A131 para el casco del hacer y el Acero A36 para refuerzos, a continuación se muestran en la tabla N° 9 los valores de las propiedades mecánicas [29], que servirán para los cálculos de escantillonado.

Tabla N° 9. Propiedades Mecánicas de Acero Naval ASTM 36

Resistencia a la tracción:	58,000 - 80,000 psi [400-550 MPa]
Min. Punto de fluencia:	36,000 psi [250 MPa]
Elongación en 8":	20% min
Elongación en 2":	23% min

Elaboración y Datos: Phione Limited

3.8.3. Cálculos

Se trabaja en la sección 3-2-1/3 RESISTENCIA PRIMARIA DEL CÁLCULO, PARA MULTICASCO del ABS.

❖ Cargas Longitudinales del Catamarán

Están determinadas por las ecuaciones en la parte 3-2-1/3.1 del ABS:

Módulo de la sección maestra

Se encuentra más detallado en anexo N° 10

$$SM = C_1 C_2 L^2 B (C_b + 0.7) K_3 C Q \text{ cm}^2 - m$$

$$SM = 39,15 \cong 40 \text{ cm}^2 - m$$

Momento de Inercia

Se encuentra más detallado en anexo N° 11

$$I = \frac{L}{QC} \frac{SM}{K} \text{ cm}^2 - m$$

$$I = 15,66 \text{ cm}^3 - m$$

❖ Cargas Transversales del Catamarán

Están determinadas por las ecuaciones en la parte 3-2-1/3.3 del ABS:

$$M_{tb} = k_1 \Delta B_{cl} (1 + n_{cg}) \quad kN - m$$

$$M_{tt} = k_2 \Delta L (1 + n_{cg}) \quad kN - m$$

$$Q_1 = k_1 \Delta (1 + n_{cg}) \quad kN - m$$

Donde:

M_{tb} : Momento de flexión transversal que actúa sobre la estructura transversal que conecta los cascos.

M_{tt} : Momento torsional que actúa sobre la estructura transversal que conecta los cascos.

Q_1 : Fuerza de corte vertical que actúa sobre la estructura transversal que conecta los cascos.

k_1 : 2,5 (Valor obtenido del ABS)

k_2 : 1,25 (Valor obtenido del ABS)

Δ : Desplazamiento en toneladas

B_{cl} : Distancia entre las líneas centrales de los cascos (m)

L : Longitud en metros de la eslora ya definida anteriormente

n_{cg} : Aceleración vertical, definida en Anexo N°3.

Reemplazando:

$$M_{tb} = k_1 \Delta B_{cl} (1 + n_{cg}) \quad kN \cdot m$$

$$M_{tb} = (2,5)(17,81)(3,99)(1 + 0,079)$$

$$M_{tb} = 191,8 \text{ kN} - m$$

$$M_{tt} = k_2 \Delta L (1 + n_{cg}) \quad kN - m$$

$$M_{tt} = (1,25)(17,81)(14,5)(1 + 0,079)$$

$$M_{tt} = 346,1 \text{ kN} - m$$

$$Q_1 = k_1 \Delta (1 + n_{cg}) \quad kN - m$$

$$Q_1 = (2,5)(17,81)(1 + 0,079)$$

$$Q_1 = 48,07 \text{ kN} - m$$

❖ Cálculos de resistencia transversal para catamaranes

El análisis directo para validar el escantillonado, se aplica lo siguiente en asociación con 3-2-1/3.5.3. Independientemente del método de análisis utilizado, las tensiones de diseño son las siguientes

$$\sigma_a = \text{Momento de flexión del diseño transversal para el acero } 0,66\sigma_y \\ N/mm^2$$

$$\sigma_{ab} = \text{Momento de torsión } 0,75\sigma_y \text{ para el acero } N/mm^2$$

$$\tau_a = \text{Esfuerzo cortante transversal del diseño } 0,38\sigma_y \text{ para el acero } \\ N/mm^2$$

$$\sigma_y = \text{Mínimo límite elástico } N/mm^2 = 250$$

$$\sigma_u = \text{Mínimo esfuerzo de tensión o compresión } N/mm^2 = 400$$

$$L_i = \text{Tramo medio de la estructura transversal cm.}$$

❖ Presiones de diseño en el fondo para multicascos

En la parte 3-2-2/3.7 del ABS se hallan la presión de diseño de Slamming y la presión hidrostática con las siguientes fórmulas:

Presión de Slamming en el fondo:

$$P_{bxx} = \frac{N_1 \Delta}{L_w N_h B_w} [1 + n_{cg}] F_D F_V \quad kN/m^2$$

$$P_{bxx} = \mathbf{18,94 \text{ kN/m}^2}$$

Presión hidrostática:

$$P_d = N_3 (H_S - y) \quad kN/m^2$$

$$P_d = \mathbf{11,96 \text{ kN/m}^2}$$

Se muestran los cálculos más a detalle en el anexo N°4

❖ Presión del diseño lateral para Multicascos

En la parte 3-2-2/3.9 del ABS se hallan la presión de diseño de Slamming y la presión hidrostática con las siguientes fórmulas:

Presión de Slamming en el fondo:

$$P_{sxx} = \frac{N_1 \Delta}{L_w N_h B_w} [1 + n_{xx}] \left[\frac{90 - \beta_{sx}}{90 - \beta_{sx}} \right] F_D \quad kN/m^2$$

$$P_{sxx} = \mathbf{13,01 \text{ kN/m}^2}$$

Presión hidrostática:

$$P_d = N_3 (H_S - y) \quad kN/m^2$$

$$P_d = \mathbf{11,96 \text{ kN/m}^2}$$

Se muestra los cálculos detallados en el anexo N° 5

❖ Presión de diseño de la cubierta mojada de catamaranes

En la parte 3-2-2/3.11 del ABS se hallan la presión de diseño con la siguiente fórmula:

$$p_{wd} = 30N_1 F_D F_1 V V_1 \left(1 - \frac{0.85h_a}{h_{1/3}}\right) kN/m^2$$
$$p_{wd} = 62,70 kN/m^2$$

Se muestra los cálculos detallados en el anexo N° 6

❖ Presión de diseño de la cubierta

En la parte 3-2-2/3.13 del ABS la presión de diseño P_d viene detallada en el anexo N° 7.

$$P_d = 16,72 kN/m^2$$

❖ Presión de diseño de mamparos

En la parte 3-2-2/3.19 del ABS la presión de diseño P_t viene detallada en el anexo N° 8.

Presión para los mamparos del tanque y mamparos estancos

$$P_t = N_3 h = 4,508 kN/m^2$$

❖ Planchas

Parte 3-2-4/1. Esta sección se aplica a embarcaciones que tienen una velocidad en nudos mayor que $2,36\sqrt{L}$, donde L es la eslora de cálculo en m.

$$12 \text{ nudos} > 2,36\sqrt{L}$$
$$12 \text{ nudos} > 2,36\sqrt{L}$$
$$12 \text{ nudos} > 8,95$$

❖ Espesores mínimos

Parte 3-2-4/3.3.3. El espesor del casco, de la cubierta y de los mamparos no debe ser menor que el obtenido mediante las siguientes ecuaciones (Más detalle en anexo N° 9):

- i. Fondo del casco

$$t_s = 0,44\sqrt{Lq_s} + 2,0 \text{ mm}$$
$$t_s > 5 \text{ mm}$$

Por cuestiones de diseño y cumpliendo el reglamento se tomará **6 mm.**

ii. Lados del casco

$$t_s = 0,40\sqrt{Lq_s} + 2,0 \text{ mm}$$
$$t_s > 4 \text{ mm}$$

Por cuestiones de diseño y cumpliendo el reglamento se tomará **5 mm.**

iii. Cubierta

$$t_s = 0,40\sqrt{Lq_s} + 1,0 \text{ mm}$$
$$t_s > 4 \text{ mm}$$

Por cuestiones de diseño y cumpliendo el reglamento se tomará **5 mm.**

iv. Cubiertas inferiores, mamparos, otros locales

$$t_s = 0,35\sqrt{Lq_s} + 1,0 \text{ mm}$$
$$t_s > 3 \text{ mm}$$

Por cuestiones de diseño y cumpliendo el reglamento se tomará **5 mm.**

❖ Estructura del doble fondo

La vagra central

Parte 3-2-4/1.3. **La altura** de la vagra se define de la siguiente fórmula:

$$h_g = 32B + 190\sqrt{d}$$

Donde:

h_g : Altura en mm

B : Manga 1,41 m

d : Calado de escantillonado 2,32

$$h_g = 32(1,41) + 190\sqrt{2,32}$$
$$h_g = 334,5 \text{ mm}$$

Por razones de diseño, y cumpliendo con lo que solicita el reglamento se considerará una altura de **50 cm.**

El espesor de la vagra se define de la siguiente fórmula:

$$t = 0,056L + 5,5 \text{ mm}$$

Donde:

L : Eslora de escantillonado

$$t = 0.056(14.4) + 5.5$$

$$t = 6,30 \text{ mm}$$

Por lo que se toma como espesor de la vagra central **8 mm**

Las vagras laterales

Parte 3-2-4/1.5. Por el espacio del casco del catamarán no es necesario usar vagras laterales.

La varenga

Parte 3-2-4/1.7 Las varengas serán igual al espesor de la vagra central de **8 mm**, pero serán intercaladas de tres en tres con varengas de espesores de **6 mm**. **La altura será de 50 cm**.

❖ Cuadernas ordinarias

Parte 3-2-5/3.1. El módulo de sección SM, para cada cuaderna transversal, no debe ser menor de siguiente fórmula.

$$SM = 7,8 \times c \times h \times s \times l^2$$

Dónde:

c: 0,915 valor obtenido del ABS

h: 0,748 valor obtenido del ABS

s: 1 m espacio entre cuadernas

l: 1,2

Entonces:

$$SM = 7,8 \times 0,915 \times 0,748 \times 1 \times 12^2$$

$$SM = 7,68 \text{ cm}^3$$

❖ Baos

El módulo de sección SM, para cada cuaderna transversal, no debe ser menor de siguiente fórmula.

$$SM = 7,8 \times c \times h \times s \times l^2$$

Dónde:

c: 1 valor obtenido del ABS

h: 1,019 valor obtenido del ABS

s: 2 espacio entre baos

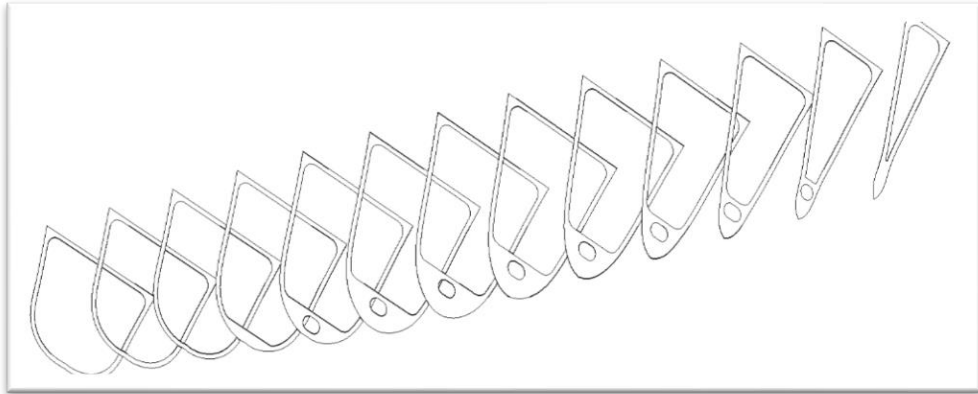
l: 2,105 valor obtenido del ABS

Entonces:

$$SM = 7,8 \times 1 \times 1,019 \times 2 \times 2,105^2$$

$$SM = 70,43 \text{ cm}^3$$

Figura N° 6. Cuadernas de la embarcación polivalente



Elaboración Max Surf
Datos Propios

3.9. Resistencia y potencia

Determinación de la Resistencia Total y la Potencia del catamarán mediante Software de Max Surf con el programa Hull Speed.

Tabla N° 10. Resultados de Resistencia y Potencia

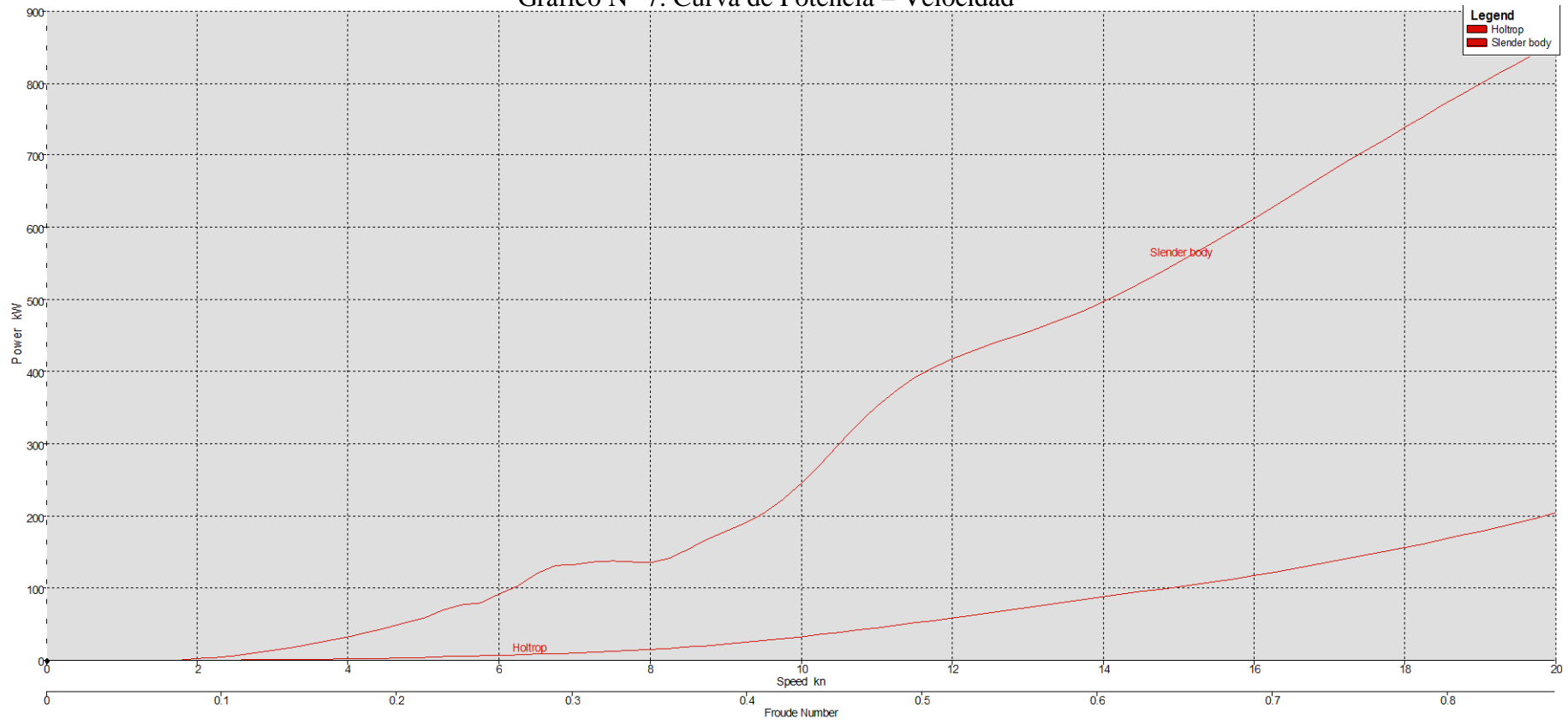
Velocidad (kn)	Número de Froude LWL	Número de Froude Vol.	Resistencia Holtrop (kN)	Potencia Holtrop (kW)	Resistencia Slender body (kN)	Potencia Slender body (kW)
0	0	0	--	--	--	--
0,5	0,022	0,051	0	0,005	0	0,002
1	0,043	0,102	0,1	0,04	0	0,021
1,5	0,065	0,153	0,2	0,128	0,1	0,097
2	0,086	0,204	0,3	0,291	1,9	1,99
2,5	0,108	0,255	0,4	0,549	5,2	6,677
3	0,129	0,306	0,6	0,921	8,7	13,45
3,5	0,151	0,357	0,8	1,423	12,2	22,041
4	0,172	0,408	1	2,071	15,9	32,635
4,5	0,194	0,459	1,2	2,881	19,3	44,771
5	0,216	0,51	1,5	3,869	22,9	58,842
5,5	0,237	0,561	1,8	5,056	27	76,513
6	0,259	0,612	2,1	6,469	29,7	91,576
6,5	0,28	0,663	2,4	8,165	36	120,427
7	0,302	0,714	2,8	10,218	36,9	133,049
7,5	0,323	0,765	3,3	12,562	35,8	137,984
8	0,345	0,816	3,7	15,17	32,8	135,166
8,5	0,366	0,867	4,2	18,25	35,2	153,876
9	0,388	0,918	4,8	22,169	38,5	178,384
9,5	0,41	0,969	5,6	27,176	41,7	203,593
10	0,431	1,02	6,3	32,613	47,7	245,343
10,5	0,453	1,071	7,1	38,475	55,5	299,965
11	0,474	1,122	7,9	44,76	62,2	351,932
11,5	0,496	1,173	8,7	51,462	66,1	391,186
12	0,517	1,224	9,5	58,574	67,7	418,029
12,5	0,539	1,275	10,3	66,089	68,1	437,623
13	0,56	1,326	11	73,704	68,1	455,303
13,5	0,582	1,377	11,7	80,954	68,3	474,364
14	0,604	1,428	12,2	88,028	69	496,9
14,5	0,625	1,479	12,7	94,986	70,1	522,669
15	0,647	1,53	13,2	101,891	71,4	551,059

Elaboración y datos Max Surf

Se elegirá la potencia de Slender body, ya que a criterio es la más requerida para todo el sistema que irá a bordo en la embarcación polivalente.

Se obtiene la gráfica N° 7 de Potencia y velocidad mediante los datos obtenidos en la tabla N°8.

Gráfico N° 7. Curva de Potencia – Velocidad

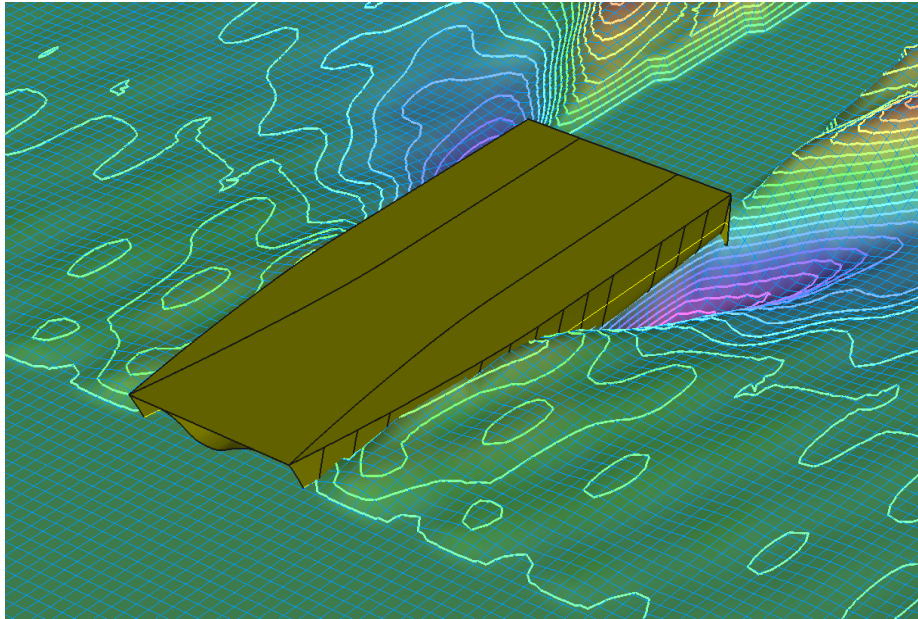


Holtrop = 0.001 kW Speed = 0.000 kn

Elaboración y datos Max Surf

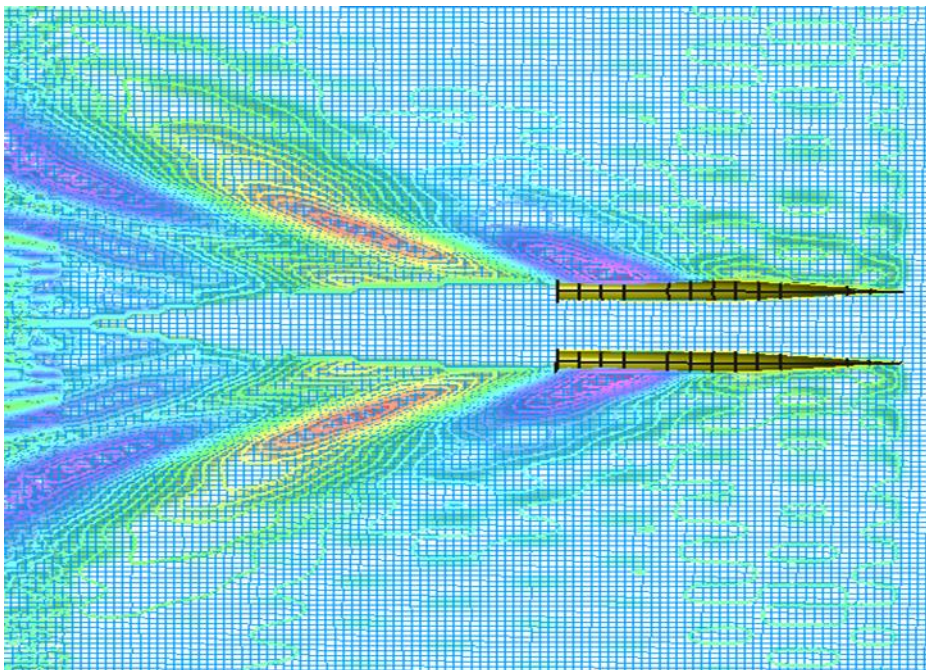
En las figuras N° 7, N° 8 y N° 69, se observan la simulación de olas del catamarán 3D en el programa Hullspeed.

Figura N° 7. Simulación en Max Surf de olas a una velocidad de 12 nudos



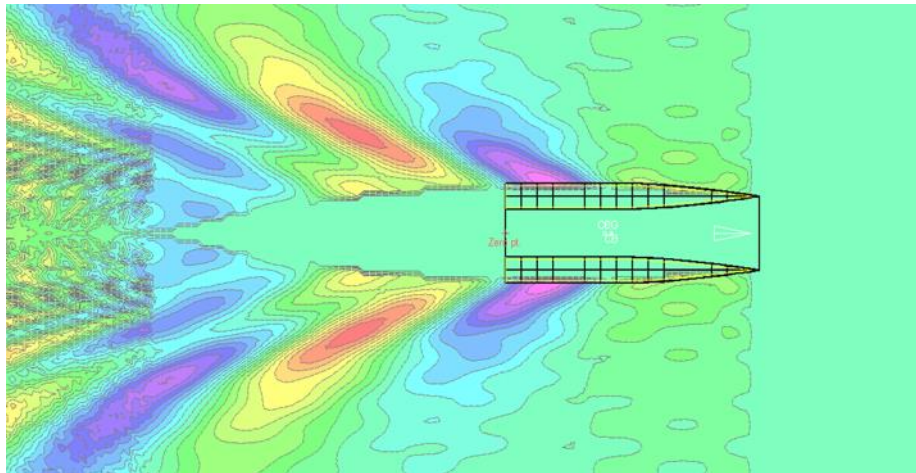
Fuente propia
Elaboración Max Surf

Figura N° 8. Simulación de Olas bajo la línea de flotación a 12 nudos



Fuente propia
Elaboración Max Surf

Figura N° 9. Simulación de olas vista de planta.



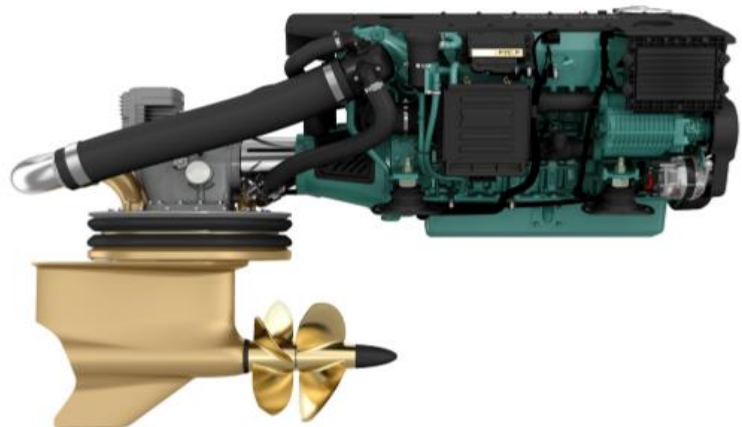
Fuente propia
Elaboración Max Surf

3.9.1. Selección del motor

Según la potencia obtenida que es de 418 kW, se decide utilizar dos motores marinos Volvo Penta IPS400MC/450 que estarán ubicados en popa de cada casco del catamarán, el que se muestra en la figura N°9.

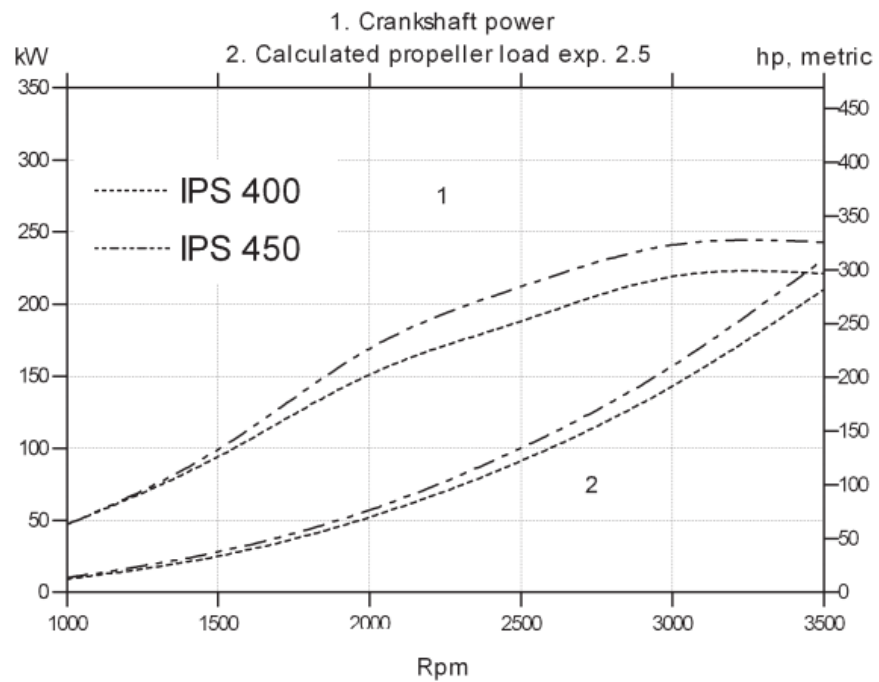
El Volvo Penta IPS400MC es un paquete adaptado, equipado en combinación con la unidad propulsora IPS1, hélices dobles contrarrotantes y el sistema de control electrónico de la embarcación o EVC (Electronic Vessel Control), este paquete ofrece una excelente maniobrabilidad, una gran autonomía y bajas emisiones de escape [30].

Figura N° 10. Volvo Penta IPS400MC



Elaboración y Fuente Volvo Penta

Figura N° 11 Potencia del motor seleccionado



Elaboración y datos: Volvo Penta

Figura N° 12. Datos Generales del motor

System designation	IPS400MC	IPS450
Engine displacement, l (in ³)	5.5 (336)	5.5 (336)
Configuration	in-line 6	in-line 6
Crankshaft power, kW (hp) @ 3500 rpm	221 (301)	243 (330)
Propshaft power, kW (hp) @ 3500 rpm	210 (286)	230 (314)
Aspiration	Turbo, aftercooler	Turbo, aftercooler
Rating	R4*	R4*
Package weight, kg (lb)	863 (1903)	863 (1903)
Propeller series	T2-T10, TS3-TS6	T2-T10, TS3-TS6
Voltage	12 V	12V or 24V

Elaboración y datos: Volvo Penta

3.10. Equipamiento y funcionamiento del sistema

El sistema para recojo de petróleo derramado, será mediante booms, que irán en un carrete en la embarcación a popa.

El diseño del Boom Lamor de Contención Automático hace posible almacenar hasta 600 metros en un carrete de almacenaje compacto. Mientras se lo despliega automáticamente del carrete, se inflan automáticamente por medio de una fuente de aire única conectada al extremo del boom de contención. [31, p. 32]. Se muestra en la figura N° 13, y en la tabla N° 11 se muestran las características del producto.

Figura N° 13. Sistema Boom



Fuente: Lamor

Tabla N° 11. Especificaciones Técnicas del Boom

Producto	Sección (m)	Alto (mm)	Peso (kg/m)	Francobor-do (mm)	Calado (mm)	Lastre (Kg./m)
Modelo para puerto	30	800	3.8	305	460	2,5
Modelo para alta mar	30	1090	6	460	640	3,6
Modelo para aguas profundas	30	1630	6.8	610	910	3,6

Elaboración y datos: Lamor

Una vez inflado el boom, el diseño interno patentado separa las automáticamente las cámaras de flotación se muestra en la figura N° 14. Cada cámara individual de flotación se encuentra aislada. En el supuesto de que una de las cámaras se dañe o se desinflen, las cámaras adyacentes no serán afectadas y permanecerán infladas. [31, p.32]

Figura N° 14. Booms de Contención Automático



Fuente: Lamor

Los carretes han sido diseñados para almacenar booms. El marco del carrete incluye los canales de elevación e izado de cuatro puntos como estándar para su fácil manipulación, tanto en tierra como en alta mar. [31, p 41]. Se muestra en la figura N° 15 y las especificaciones técnicas en la tabla N° 12.

Figura N° 15. Carrete para el boom



Fuente: Lamor

Tabla N° 12. Propiedades Específicas del carrete

CARRETES DE BOOM	HSR 1514	HSR 1817	HSR 1822	HSR 1830
Largo, mm	2020	2400	2900	3654
Ancho, mm	1627	1800	1800	1800
Alto, mm	1800	2100	2100	2100
Peso, Kg.	500	704	790	840
Diámetro del carrete, mm	1500	1800	1800	1800
Ancho interno del carrete, mm	1400	1700	2200	3000
Material del carrete, carretel	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Material del marco	Acero	Acero	Acero	Acero
Canales elevadores	Sí	Sí	Sí	Sí

Elaboración y datos: Lamor

El inflador, el motor y el rotor de hoja de metal con aspas curvas hacia atrás están dentro de una carcasa de acero pintado. El DAB 200 tiene una presión de descarga preestablecida para que el boom de petróleo no se dañe durante el proceso de inflado. [31, p. 43]

Figura N° 16. Inflador para el boom



Fuente: Lamor

Tabla N° 13. Especificaciones Técnicas del inflador

INFLADORES	HAB 200	DAB 200	LPP 14 con HAB 200
Largo, mm	550	1170	1200
Ancho, mmv	410	540	860
Alto, mm	600	780	830
Peso, Kg.	40	85	256
Flujo de aire, m ³ /h	400	400	400
Presión de aire, bar	0,1	0,1	0,1
Requerimiento hidráulico, l/min	25-40	-	-
Caudal hidráulico, l/min	25-40	-	20
Presión hidráulica, bar	150	-	210
Capacidad del tanque de aceite hidráulico, l			30
Potencia del motor, kw	-	3.5	14
Capacidad del tanque de combustible, l	-	5	-

Elaboración y datos: Lamor

Para el recojo de petróleo se utilizará el producto Lamor Minimax 12 es un skimmer ligero, portátil tipo succión, diseñado para recuperar petróleo de líneas costeras, puertos, ríos y lagos. El LMM 12 usa el bien probado sistema de rueda de cepillos, que combina alta capacidad de recuperación de petróleo con una tasa baja de recolección de agua libre. El LMM 12 ha probado su eficiencia en operaciones continuas de recuperación en cientos de derrames de petróleo en todas las condiciones y tipos de derrames. Además, se encuentra certificado por Bureau Veritas. El LMM12 es enteramente hidráulico y está provisto con una unidad de potencia diésel hidráulica y todo el equipo adicional necesario. La unidad debe estar conectada a una bomba de succión o sistema de vacío. Opcionalmente, la unidad de potencia puede ser operada con electricidad, gasolina o diésel. [31, p.8]

Figura N° 17.Lamor Minimax 12



Fuente: Lamor

Tabla N° 14. Especificaciones técnicas de Lamor Minimax 12

Largo, mm	840
Ancho, mm	665
Alto, mm	370
Peso, Kg.	28
Calado, mm	120
Capacidad certificada, m³/h	45,4*
Agua libre recolectada, %	<5
Caudal hidráulico (solo el skimmer), l/min	1-3
Presión hidráulica, bar	60-100
Requerimiento de potencia, kW	0,3

Elaboración y datos: Lamor

Para el sistema de recojo de basura se instalará unas bocas situadas frente a la proa de la embarcación. Estas bocas capturan cualquier objeto mientras la embarcación va navegando.

Figura N° 18. Brazos Hidráulicos para recojo de basura



Elaboración y fuente: Beach Trotters

Las bocas están formadas por un marco de tubo de acero inoxidable y unas redes de 2 metros cúbicos de capacidad donde se filtra el agua, quedando los residuos dentro de la red. Una vez situadas ambas en posición de trabajo, forman un frente de 4,2 metros de ancho.

Figura N° 19. Bocas para el sistema de recojo de basura



Elaboración y fuente: Beach Trotters

Las bocas van unidas a los brazos hidráulicos articulados de soporte, los cuales realizan dos movimientos sincronizados que permiten situar las bocas al frente de la embarcación de forma rápida y perfecta, y a la vez recogen la basura hacia los contenedores que estarán en cubierta. Se muestran en las figuras N° 18 y 19. [32]

3.11. Estima de pesos

En la tabla N°15 se muestra el plano de cargas general que tiene la embarcación polivalente. Donde se incluye el casco, estructura y superestructura, la tripulación el equipamiento y sistema, etc.

Tabla N° 15. Plano de cargas

	Item	Cantidad	Peso Unitario	Peso Total (Ton)		
Peso en Rosca	Casco y Estructura	1	7,5	7,5		
	Superestructura	1	2	2		
	Tripulación	3	0,075	0,225		
	Equipos y Sistema					
	Boom	25	0,006	0,15		
	Carrete	1	0,704	0,704		
	Inflador	1	0,085	0,085		
	Minimax	4	0,028	0,112		
	Brazos hidráulicos	2	0,4	0,4		
	Adicionales	1	0,3	0,3		
	Motor IPS babor	1	0,863	0,863		
Motor IPS Er	1	0,863	0,863			
Equipamiento	1	1,4	1,4			
Peso muerto	Tanq. Combust. Babor	1	2,3	2,3		
	Tanq. Combust. Er	1	2,3	2,3		
	Tanq. Aguas grises Br	1	0,06	0,06		
	Tanq. Aguas grises Er	1	0,06	0,06		
	Tanq. Agua dulce Br	1	0,5	0,5		
	Tanq. Agua dulce Er	1	0,5	0,5		
	Tanq. De petróleo Br	1	5	5		
	Tanq. De petróleo Er	1	5	5		
					30,292	ton

Elaboración y datos propios

IV. RESULTADOS

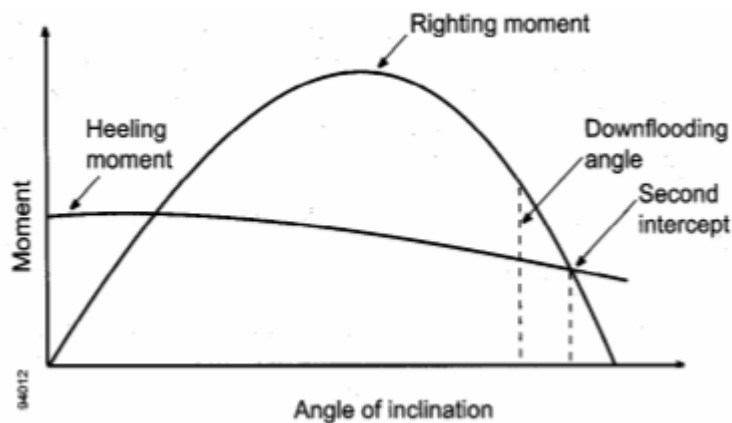
4.1. Estabilidad

4.1.1 Criterios de estabilidad

Para asegurar la navegación del catamarán, los resultados obtenidos de la embarcación serán comparados con los criterios de Organización Marítima Internacional (OMI). En la Resolución MSC 85/26/Add.1 ANNEX 2 Page 30 para embarcaciones con propósitos especiales [33] se recomienda los siguientes criterios:

- ❖ For surface and self-elevating units the area under the righting moment curve to the second intercept or down-flooding angle, whichever is less, should be not less than 40% in excess of the area under the wind heeling moment curve to the same limiting angle.
- ❖ For column-stabilized units the area under the righting moment curve to the angle of down-flooding should be not less than 30% in excess of the area under the wind heeling moment curve to the same limiting angle.
- ❖ The righting moment curve should be positive over the entire range of angles from upright to the second intercept.

Figura N° 20. Curva de momento adrizante y momento escorante



Elaboración y fuente IMO

Para los buques de pasaje en la Resolución parte A-749 se recomiendan los siguientes criterios:

- ❖ El área bajo la curva de brazos adrizantes (curva de brazos GZ) no será inferior a 0.055 m.rad hasta un ángulo de escora $\theta = 30^\circ$ ni inferior a 0.09 m.rad hasta un ángulo de escora de $\theta = 40^\circ$, o hasta el ángulo de inundación θ_f si este es inferior a 40° . Además, el área situada bajo la curva de brazos adrizantes (curva de brazos GZ) entre los ángulos de escora de 30° y 40° o de 30° y θ_f , si este ángulo es inferior a 40° , no será inferior a 0,03 m.rad.

- ❖ El valor del brazo adrizante GZ será como mínimo de 0,20 m a un ángulo de escora igual o superior a 30°
- ❖ El valor del brazo adrizante máximo corresponderá a un ángulo de escora preferiblemente superior a 30° pero no inferior a 25°.
- ❖ La altura metacéntrica inicial G_{M0} no será inferior a 0,15 m.

Debido a que no existe un reglamento específico para este tipo de embarcación se mezclarán ambos criterios, la cual respalde una estabilidad adecuada para el tipo de embarcación propuesto. Se dan las tablas de estabilidad en conclusiones. Y se muestra más detallado en anexos N° 12 y N° 13.

4.1.2. Estabilidad a diferentes condiciones de carga

➤ PRIMERA CONDICIÓN: SALIENDO DE PUERTO

Se realizarán los cálculos en el programa Max Surf en el área de Stability. En esta condición el catamarán saldrá con el 100% de provisiones, 100% de combustible, 100% de pasajeros, 100% de agua dulce. Se muestra en la tabla N° 16 los datos de los pesos, y las características en la tabla N° 17.

Tabla N° 16. Primera condición de carga

Item	Cantidad	Peso Unitario	Peso Total	X	Y	Z
Casco y Estructura	3	7.5	7.5	6.311	0	1.168
Personas	100%	0.075	0.225	9.5	0	3
Combustible I	100%	2.722	2.722	5.001	2.013	1.064
Petróleo II	0%	4.24	0	7.429	-2.02	0.4
Combustible II	100%	2.722	2.722	5.001	-2.013	1.064
Agua Grises	0%	0.091	0	10.243	2.02	0.4
Agua Dulce	100%	0.634	0.634	9.485	2.019	0.83
Agua Grises	0%	0.091	0	10.243	-2.02	0.4
Agua Dulce	100%	0.634	0.634	9.485	-2.019	0.83
Carrete	100%	0.5	0.5	3.8	0	2.9
Petróleo I	0%	4.24	0	7.429	2.02	0.4
Motor	1	0.863	0.863	2.593	2.02	0.835
Motor	1	0.863	0.863	2.593	-2.02	0.835
Equipamiento	1	0.7	0.7	2.593	2.02	0.835
Equipamiento	1	0.7	0.7	2.593	-2.02	0.835
Super Estructura	1	2	2	9.5	0	3
Boom	20	0.006	0.12	3.8	0	2.9
Minimax	1	0	0	9.5	0	3
Brazos Hidráulicos	2	0.4	0.8	13	0	2.5
Aparejos	1	0.3	0.3	14	2.02	1
Provisiones	100%	0.3	0.3	14	-2.02	1
Total, Load case (Toneladas)			21.582	6.347m	0 m	1.357 m
VCG fluid m						1.357

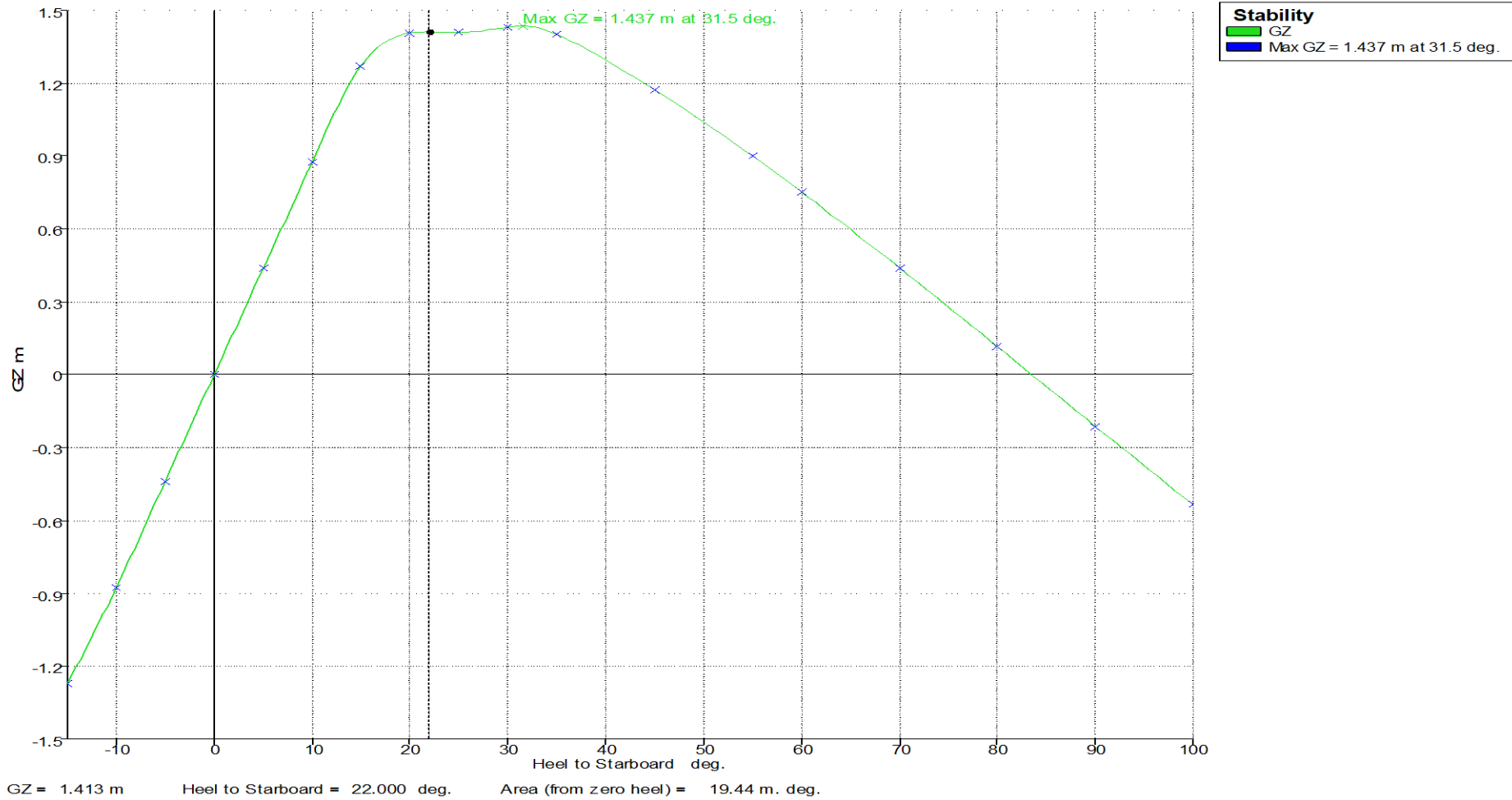
Elaboración y datos Max Surf Stability

Tabla N° 17. Características en la primera condición de carga

Heel to Starboard degrees	-10	0	10	20	30	40	50	60	70
GZ m	-0.876	0	0.876	1.408	1.432	1.174	0.753	0.116	-0.534
Area under GZ curve from zero heel m.deg	4.3831	0	4.3713	16.617	30.769	50.8453	65.377	74.1512	69.9319
Displacement t	21.58	21.58	21.58	21.58	21.58	21.58	21.58	21.58	21.58
Draft at FP m	1.243	1.287	1.243	1.394	1.471	1.574	1.623	1.946	-1.199
Draft at AP m	1.144	1.156	1.144	1.067	1.312	1.177	0.814	-1.248	-4.521
WL Length m	14.881	14.659	14.881	15.006	15.004	15.006	15.009	15.013	15.014
Beam max extents on WL m	5.345	5.265	5.345	4.271	3.341	0.897	0.865	0.764	0.689
Wetted Area m²	72.087	73.362	72.087	87.58	111.2	107.88	107.702	107.476	107.436
Waterpl. Area m²	28.275	28.136	28.275	11.992	15.635	7.488	5.927	4.909	4.682
Prismatic coeff. (Cp)	0.638	0.643	0.638	0.651	0.692	0.72	0.721	0.722	0.722
Block coeff. (Cb)	0.17	0.215	0.17	0.168	0.186	0.626	0.639	0.751	0.814
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	6.351	6.352	6.351	6.364	6.357	6.374	6.393	6.416	6.415
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	5.979	5.965	5.979	7.146	7.599	7.55	7.721	7.986	8.141
Max deck inclination deg	10.0069	0.502	10.0069	20.0329	30.004	45.0101	60.012	80.0069	99.9925
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.3785	-0.502	-0.3786	-1.2474	-0.6095	-1.519	-3.0848	-12.0224	-12.4868

Elaboracion y datos: Max Surf Stability

Gráfico N° 8. Curva de estabilidad GZ



Elaboración y datos: Max Surf Stability

➤ **SEGUNDA CONDICIÓN: PLENA CARGA**

Se realizaron los cálculos en el programa Max Surf en el área de Stability. En esta condición el catamarán saldrá con el 50% de provisiones, 50% de combustible, 100% de pasajeros, 50% de agua dulce y con el 100% de carga recogida de petróleo. Se muestra en la tabla N° 18 los datos de los pesos, y las características en la tabla N° 19. Así mismo la curva GZ se muestra en el gráfico N° 9

Tabla N° 18. Segunda condición de carga

Item	Cantidad	Peso Unitario (Ton)	Peso total (Ton)	X (m)	Y (m)	Z (m)
Combustible I	50%	2.722	1.361	5.014	2.016	0.745
Petroleo II	100%	4.24	4.24	7.457	-2.02	1.099
Combustible II	50%	2.722	1.361	5.014	-2.016	0.745
Agua Grises	50%	0.091	0.046	10.247	2.02	0.483
Agua Dulce	50%	0.634	0.317	9.486	2.02	0.634
Agua Grises	50%	0.091	0.046	10.247	-2.02	0.483
Agua Dulce	50%	0.634	0.317	9.486	-2.02	0.634
Petroleo I	100%	4.24	4.24	7.457	2.02	1.099
Lightship	1	7.5	7.5	6.311	0	1.168
Personas	3	0.075	0.225	9.5	0	3
Motor	1	0.863	0.863	2.593	2.02	0.835
Motor	1	0.863	0.863	2.593	-2.02	0.835
Equipamiento	1	1.4	1.4	2.593	2.02	0.835
Equipamiento	1	1.4	1.4	2.593	-2.02	0.835
Super Estructura	1	2	2	9.5	0	3
Boom	20	0.006	0.12	3.8	0	2.9
Minimax	1	0	0	9.5	0	3
Brazos Hidraulicos	2	0.4	0.8	13	0	2.5
Aparejos	1	0.3	0.3	14	2.02	1
Provisiones	1	0.3	0.3	14	-2.02	1
Carrete	1	0.1	0.1	3.8	0	2.9
Total, Load case			27.798	6.607 m	0 m	1.232 m
VCG fluid						1.253

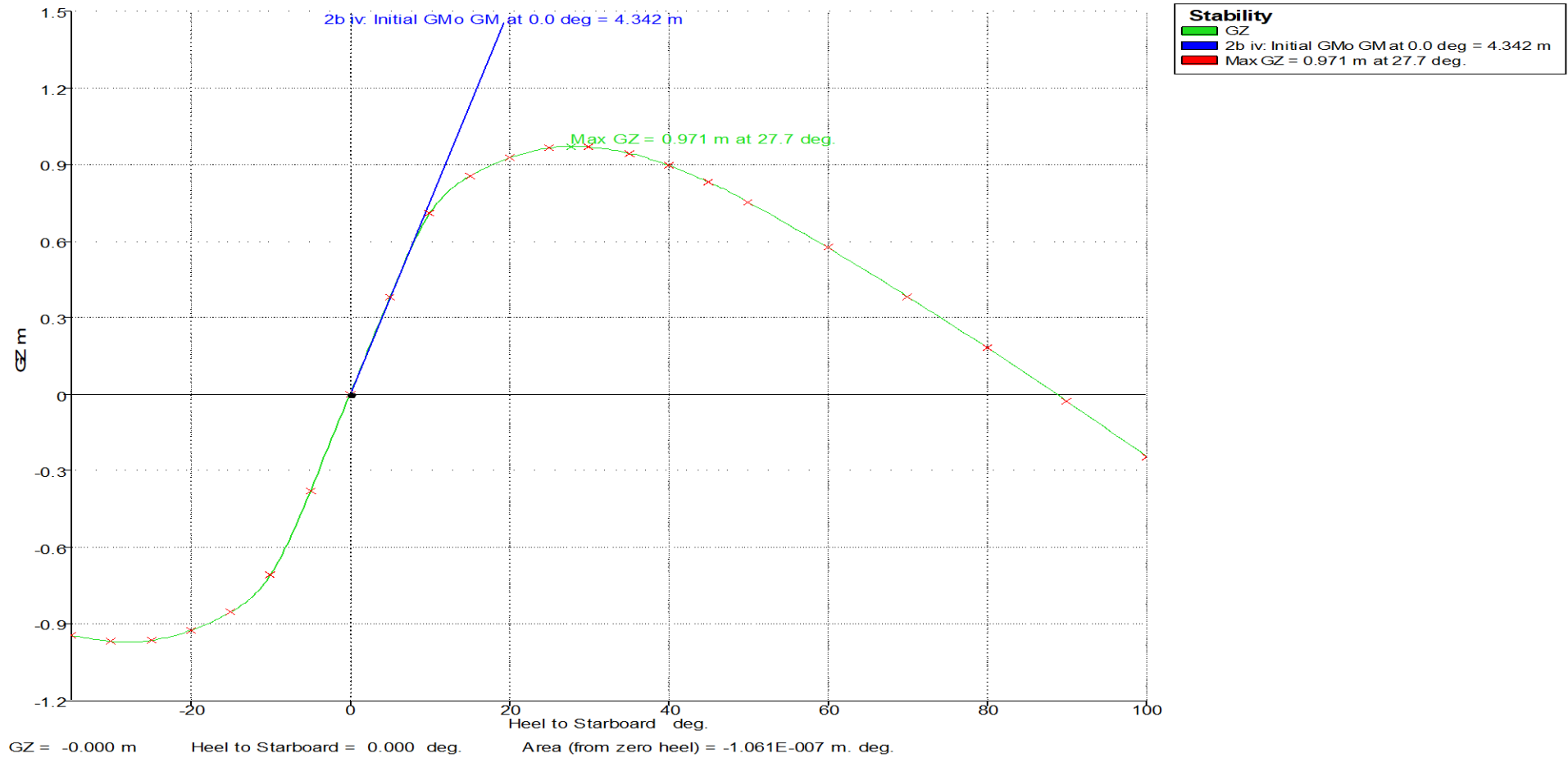
Elaboración y datos Max Surf Stability

Tabla N° 19. Características en la segunda condición de carga

Heel to starboard degrees	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
GZ m	-0,965	-0,854	-0,379	0.379	0.854	0.965	0.944	0.831	0.574
Area under GZ curve from zero heel m.deg	16.8942	7.6931	0.9507	0.9507	7.6922	16.8933	26.528	35.4612	46.0703
Displacement t	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8
Draft at FP m	1.827	1.665	1.593	1.593	1.664	1.827	2.188	2.873	4.713
Draft at AP m	1.519	1.315	1.257	1.257	1.316	1.519	1.773	2.061	2.708
WL Length m	15.006	15.008	15.01	15.01	15.007	15.006	15.008	15.016	15.039
Beam max extents on WL m	3.093	4.207	5.351	5.351	4.205	3.093	2.627	2.315	2.014
Wetted Area m²	139.144	124.152	92.648	92.647	124.187	139.143	145.269	153.066	165.625
Waterpl. Area m²	21.022	24.806	36.846	36.846	24.821	21.024	14.515	11.086	11.156
Prismatic coeff. (Cp)	0.687	0.676	0.661	0.661	0.676	0.687	0.703	0.717	0.738
Block coeff. (Cb)	0.237	0.206	0.197	0.197	0.207	0.237	0.237	0.231	0.226
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	6.619	6.617	6.615	6.614	6.616	6.618	6.626	6.644	6.684
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	6.47	7.431	7.117	7.117	7.431	6.47	6.705	7.147	8.421
Max deck inclination deg	25.0213	15.0541	5.1599	5.1598	15.0537	25.0212	35.021	45.0419	60.0736
Trim angle (+ve by stern) deg	-1.1767	-1.3358	-1.2809	-1.2806	-1.3304	-1.1745	-1.5831	-3.0979	-7.6115

Elaboracion y datos: Max Surf Stability

Gráfico N°9. Curva de Estabilidad GZ



Elaboración y datos: Max Surf Stability

4.1.3. Resultados de estabilidad

❖ PRIMERA CONDICIÓN DE CARGA

Se muestra en la tabla N°20, que la embarcación polivalente si cumple con todas las condiciones antes mencionadas. Se muestra a más detalle y con los datos obtenidos del programa Max Surf en anexos N° 12.

Tabla N° 20. Conclusión de la primera condición de carga

HSC multihull, intact + Solas Special purpose	Valor	Criterio	
Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	30.7697	> 0.055	Pass
Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	13.894	> 0.03	Pass
Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	44.6637	> 0.09	Pass
Position of max GZ >= 15deg	31.5	> 15	Pass
Initial GM to be at least 0.35 metres	4.342	> 0.35	Pass
Maximum GZ to be at least 0.20 metre at 30 degrees or above	1.437	> 0.2	Pass

Elaboración Propia

Datos Max Surf

❖ SEGUNDA CONDICIÓN DE CARGA

Se muestra en la tabla N°21, que la embarcación polivalente si cumple con todas las condiciones antes mencionadas. Se muestra a más detalle y con los datos obtenidos del programa Max Surf en anexos N° 13.

Tabla N° 21. Conclusión de la segunda condición de carga

HSC multihull, intact + Solas Special purpose	Valor	Criterio	
Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	21.739	> 0.055	Pass
Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	9.3986	> 0.03	Pass
Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	31.1376	> 0.09	Pass
Position of max GZ >= 15deg	27.7	> 15	Pass
Initial GM to be at least 0.35 metres	4.342	> 0.35	Pass
Maximum GZ to be at least 0.20 metre at 30 degrees or above	0.968	> 0.2	Pass

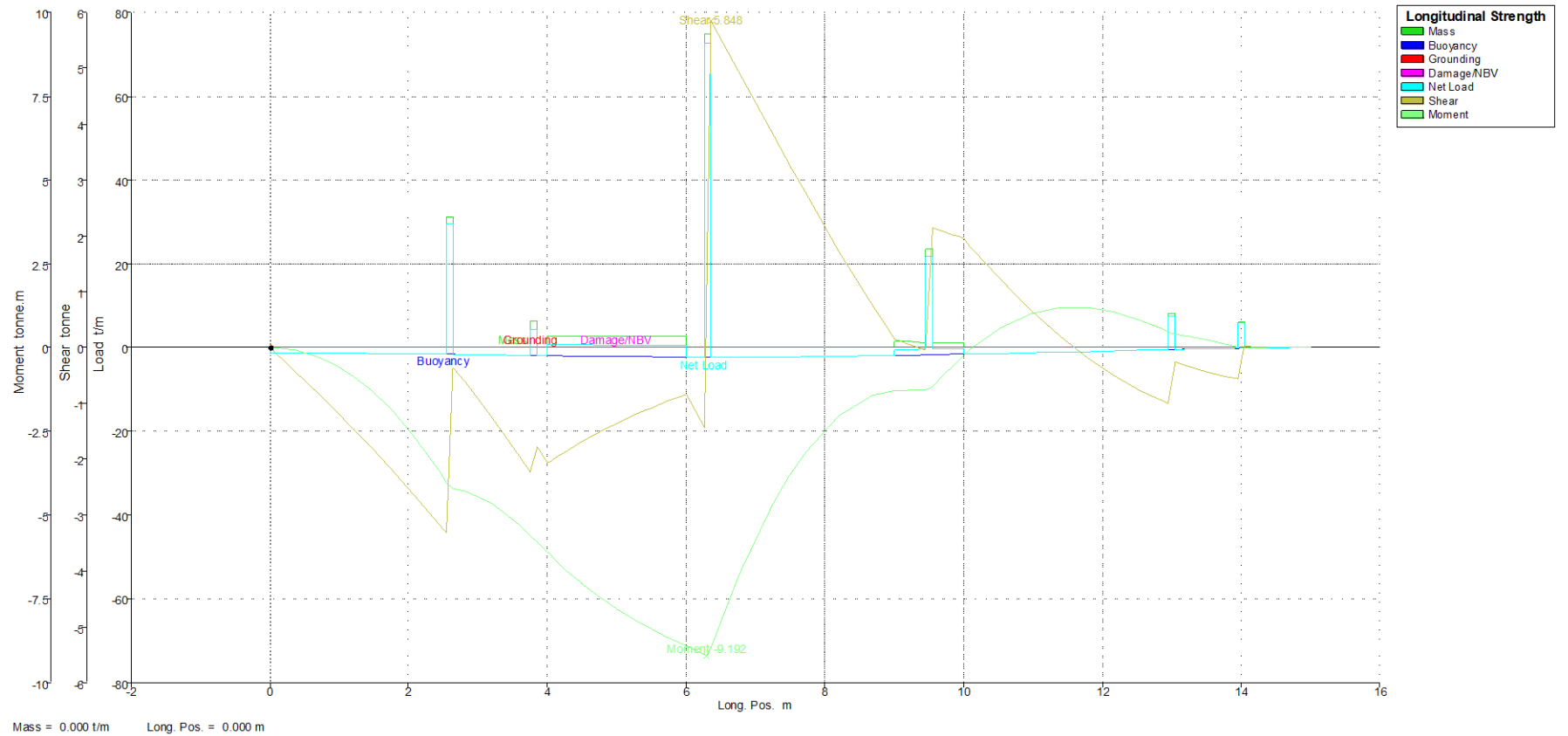
Elaboración Propia

Datos Max Surf

V. PLANO DE CARGAS

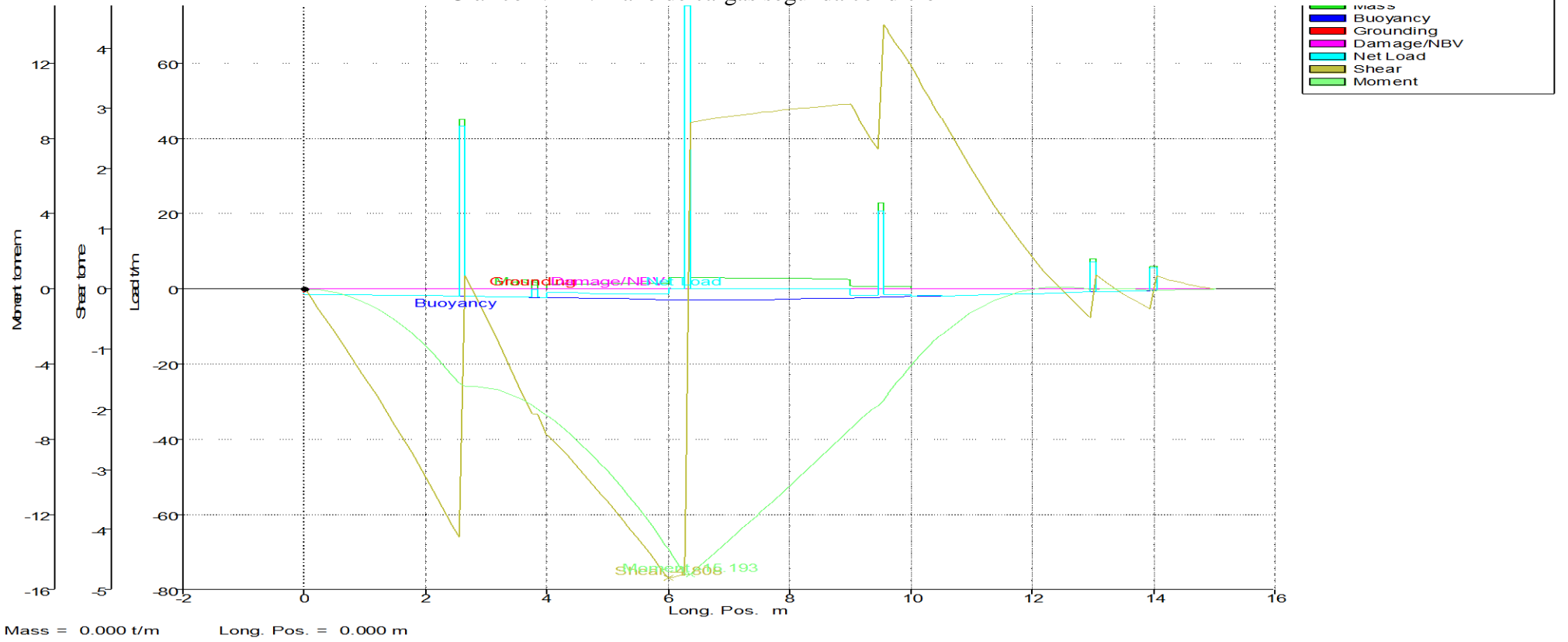
➤ PRIMERA CONDICIÓN: SALIENDO DE PUERTO

Gráfico N° 10. Plano de cargas primera condición



➤ SEGUNDA CONDICIÓN: MÁXIMA CARGA

Gráfico N° 11. Plano de cargas segunda condición



Elaboración y datos: Max Surf

VI. CONCLUSIONES

- ❖ Se determinó que actualmente no existe una embarcación con la implementación adecuada para solucionar posibles derrames de hidrocarburos en el mar, ya que no hay respuesta ante estos desastres que afecta la fauna y la flora marina. Afectando primordialmente el consumo humano de peces en la población.
- ❖ La propuesta de diseño se basó en una embarcación polivalente, que cumple varias funciones, entre las principales son atender los eventos de derrames de petróleo que ocurren en el mar y la limpieza de basura.
- ❖ Se determinó que la embarcación con una eslora de 15 metros y una velocidad de 12 nudos, es adecuada para las funciones que se propone. Por lo que es una embarcación semidesplazante y es adecuada por el suficiente espacio para los sistemas necesarios a bordo.
- ❖ Para la estabilidad del catamarán se determina el análisis mezclando los reglamentos de buques pasajeros y buques para propósitos especiales, ya que no existe un reglamento específico para el tipo de embarcaciones polivalentes. Resultando un diseño positivo en todos sus parámetros.

VII. RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda hacer el análisis de costo beneficio de la propuesta
- ❖ Se recomienda hacer un análisis y un diseño más detallado de los brazos hidráulicos para el sistema de limpieza de basura.
- ❖ Se recomienda hacer más a detalle los sistemas a bordo de la embarcación, como es el sistema de achique, lastre, agua, aguas grises, eléctrico, etc.
- ❖ Se recomienda hacer un detalle más a fondo de los costos, especificando el tiempo de construcción, y cada detalle que se requerirá.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] César L. Candela Sánchez, “La protección ecológica del medio marino peruano frente a escenarios de riesgos y siniestros originados por derrames o vertidos de hidrocarburos del petróleo transportados por vía marítima”, foro Jurídico, no 05, pp. 35. [En línea]. Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/forojuridico/article/view/18404/18644> [Accedido: 13-oct-2017]
- [2] Daniel Santillan Soler, “La contaminación del mar por residuos industriales en el marco internacional”, pp. 1, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/handle/usmp/2380>. [Accedido: 13-oct-2017]
- [3] Emiliano Romero T, “Los buques polivalentes. Una necesidad ante las emergencias del mar”, pp 45-46, 2014. [En línea]. Disponible en: <http://virtual.esup.edu.pe/handle/ESUP/81>. [Accedido: 13-oct-2017].
- [4] “Rpp Noticias”, “Buque libanés causa derrame de petróleo cerca de la Bahía de Paracas”, 22 de febrero, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://rpp.pe/peru/actualidad/buque-libanes-causa-derrame-de-petroleo-cerca-de-la-bahia-de-paracas-noticia-244583>. [Accedido: 18-sep-2017].
- [5] “La República”, “Derrame de petróleo mata aves y peces en Colán”, 14 de abril, 2011. [En línea]. Disponible en: <http://larepublica.pe/archivo/533326-derrame-de-petroleo-mata-aves-y-peces-en-colan>. [Accedido: 18-sep-2017].
- [6] “El Comercio”, “Piura: investigarán muerte de lobos marinos y delfines en Colán”, 20 de enero, 2012. [En línea]. Disponible en: http://archivo.elcomercio.pe/ciencias/planeta/piura-investigaran-muerte-lobos-marinos-delfines-colan-noticia-1363468?ref=flujo_tags_516878&ft=nota_4&e=titulo. [Accedido: 18-sep-2017].
- [7] “Gestión”, “Piura: Derrame de 200 barriles de petróleo afecta playas de Lobitos”, “Sección Política” 04 de julio, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://gestion.pe/politica/piura-derrame-200-barriles-petroleo-afecta-playas-lobitos-2070372>. [Accedido: 18-sep-2017]
- [8] M. Lopez, “Derrame de petróleo ocasiona graves daños ambientales en la costa sur del Perú”, “La República”, 5 de agosto, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://larepublica.pe/sociedad/791577-derrame-de-petroleo-ocasiona-graves-danos-ambientales-en-la-costa-sur-de-peru>. [Accedido: 17-sep-2017].
- [9] Y. Barrientos. “Derrame de crudo de petróleo se habría producido en mar de Cabo Blanco”, “Correo”, 26 de enero. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://diariocorreo.pe/edicion/piura/piura-derrame-de-crudo-de-petroleo->

- se-habria-producido-en-mar-de-cabo-blanco-726966/. [Accedido: 18-sep-2017].
- [10] S. Purca y A. Henostroza”, Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú”, “Revista Peruana de Biología”, vol. 24, no 1, pp. 101-106, 2017. [En línea] Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1950/195050541012.pdf>. [Accedido: 13-sep-2017].
- [11] “El Comercio”, Miles de ejemplares marinos mueren cada año por basura en los océanos”, 18 de febrero, 2013. [En línea] Disponible en: <https://elcomercio.pe/blog/vidayfuturo/2013/02/miles-de-ejemplares-marinos-mu> [Accedido: 01-dic-2017]
- [12] J. León, “El 45% de restos que se tira a mares y ríos es plástico y causa la muerte de las especies”, “La República”, 06 de abril, 2013. [En línea] Disponible en: <http://larepublica.pe/sociedad/702352-el-45-de-restos-que-se-tira-a-mares-y-rios-es-plastico-y-causa-la-muerte-de-las-especies> [Accedido: 01-dic-2017]
- [13] “Correo”, “Atentado a la ecología: Plástico está matando la vida marina en el Perú”, 08 de septiembre, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://diariocorreo.pe/ciudad/atentado-a-la-ecologia-plastico-esta-matando-la-vida-marina-en-el-peru-616295/>. [Accedido: 01-dic-2017]
- [14] M. Chinchay, “De Tumbes a Tacna, 300 mil objetos de plástico contaminan el mar y las playas”, “La República”, 18 de enero, 2015. [En línea] Disponible en: <http://larepublica.pe/sociedad/849228-de-tumbes-a-tacna-300-mil-objetos-de-plastico-contaminan-el-mar-y-las-playas> [Accedido: 01-dic-2017]
- [15] “RPP Noticias”, “Los ríos vierten 50 kilos de plástico al mar cada segundo, según estudio”, 08-jun-2017. [En línea]. Disponible en: <http://rpp.pe/mundo/actualidad/los-rios-arrojan-50-kilos-de-plastico-al-mar-cada-segundo-segun-estudio-noticia-1056618> [Accedido: 01-dic-2017]
- [16] A. Vallejo y R. Guerrero, “Lineamientos para una propuesta de plan de manejo para la Bahía de Talara”, pp. 1-5, 2016. [En línea] Disponible en: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/handle/minam/1949>. [Accedido: 18-sep-2017]
- [17] F. Apollonio, I. Zotti, “A new antipollution ship for river, harbour and coastal service”, “Third international congress on marine technology athens’84”, pp. 27-35, 1984.
- [18] A. Bonilla,” El buque y sus dimensiones” *Teoría del Buque*, España, pp. 25-28, 1979.

- [19] C. Cosmidis, “Progetto Generale di un Catamarano innovativo da 87m e estudio della stabilita dinámica”, Universidad degli studi di Trieste, pp. 11, 2003.
- [20] M. Peteghem, “Resistance Prediction for Cruising Motor Catamarans”, Ship Hydromechanics, 2009. [En línea] Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Koen_Geurts/publication/205117931_Resistance_Prediction_of_Cruising_Motor_Catamarans/links/0edae7471b2192bf1f69c8e0/Resistance-Prediction-of-Cruising-Motor-Catamarans.pdf [Accedido 09-oct-2017]
- [21] “Qué es un buque polivalente”, Salvamento Marítimo 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.salvamentomaritimo.es/sm/flota-y-medios/medios-maritimos/buques-polivalentes-2/?id=2243> [Accedido: 23-oct-2017]
- [22] Clements T., “Catamaran Concepts”, vessel stability 2009. [En línea] Disponible en: <https://catamaranconcepts.com/2009/06/15/stability/> [Accedido: 25-oct-2017]
- [23] H. González, “Introducción a la construcción del buque I”, 01-jun-2011. [En línea] Disponible en: <http://arquitecturabuque.blogspot.pe/2011/07/introduccion-la-construccion-del-buque.html> [Accedido: 09-nov-2011]
- [24] ABS Ships, “ABS Vessels Records” 2017. [En línea] Disponible en: <https://ww2.eagle.org/en/rules-and-resources/abs-vessel-information.html> [Accedido: 24-oct-2017].
- [25] “Acero naval en buques”, Lincoln Electric 2012. [En línea] Disponible en: <http://www.lincolnelectric.com/es-es/industries/shipbuilding/Documents/shipbuilding-Industry-es.pdf> [Accedido: 31-oct-2017].
- [26] “Acero naval en buques”, Wikipedia 2017. [En línea] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Acero_A36 [Accedido: 31-oct-2017].
- [27] Drubrovsky V. y Lyahovitsky A., “Multi hull Ships”, Backbone Publishing Company, 2001.
- [28] Velasco R., “Formas diversas de sección de catamaranes”, “Cuaderno 1 Memoria” 2010. [En línea] Disponible en: http://oa.upm.es/5706/1/PFC_ROQUE_VELASCO_SOPRANIS.pdf [Accedido: 04-nov-2017]
- [29] “Acero Naval A36”, PHIONE Limited, The Steel specialist. [En línea] Disponible en: <http://www.spanish.phione.co.uk/products/general-structure-and-welding-steel/astm-structural-steel/astm-a36> [Accedido: 19-nov-2017]

- [30] “Motores Marinos”, Volvo Penta 2017. [En línea] Disponible en: <http://www.volvopenta.es/marinecommercial/es-es/products/propulsion-mc/ranges/volvo-penta-ips-propulsion-mc/ips400mc/ips400mc.html> [Accedido: 14-nov-2017]
- [31] “Booms”, Soluciones para escenarios seleccionados, Lamor Product Reel. [En línea] Disponible en: <http://cn.lamor.com/pdf-books/productreel-1-2012-sp/Lamor%20Product%20ReelSpanish.pdf> [Accedido: 19-nov-2017]
- [32] “Embarcaciones para limpiar el mar”, Beach Trotters. [En línea] Disponible es: <http://www.beach-trotters.com/embarcacion-limpieza-barcos-de-limpieza-ficha-p-barco-limpieza-t-1243> [Accedido: 21-nov-2017]
- [33] “RESOLUTION MSC.267 (85)”, IMO, 2008. [En línea] Disponible en: [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Maritime-Safety-Committee-\(MSC\)/Documents/MSC.267\(85\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Maritime-Safety-Committee-(MSC)/Documents/MSC.267(85).pdf) [Accedido: 21-nov-2017]

IX. ANEXOS

Anexo N°1. Derrame de Hidrocarburos en el mar peruano

Año	Lugar	Petroleo derramado	Periódico Informante
2010	Paracas	100 galones	RPP Noticias
2011	Colán	Decenas de litros	La República
2012	Piura - Colán		El Comercio
2013	Piura - Talara	200 barriles	Gestión
2014	Tumbes - Zorritos	500 litros	El Comercio
2014	Tumbes - Zorritos	1/4 de barril	El Comercio
2015	Callao - La punta		El Comercio
2016	Moquegua - Ilo		La República
2017	Piura - Talara		El correo

Elaboración propia

Datos: Prensa nacional

Figura N° 21. Derrame de petróleo en el mar peruano 2013



Fuente: Gestion 2013 (gestión.pe)

Elaboración: USI – Diario Gestión

Figura N°22. Derrame de petróleo en el mar peruano 2017



Fuente: Correo 2017

Anexo N° 2. Contaminación por residuos plásticos en el mar peruano

Tabla N° 22. Informes de la contaminación por basura

Año	Periódico Informante	Título
2013	El comercio	Miles de ejemplares marinos mueren cada año por basura en los océanos
2013	La Republica	El 45% de restos que se tira a mares y ríos es plástico y causa la muerte de las especies
2015	Correo	Atentado a la ecología: Plástico está matando la vida marina en el Perú
2015	La Republica	De Tumbes a Tacna, 300 mil objetos de plástico contaminan el mar y las playas
2017	RPP Noticias	Los ríos vierten 50 kilos de plástico al mar cada segundo según estudio

Elaboración propia

Datos: Prensa nacional

Figura N° 23. Residuos plásticos en el mar



Fuente: Correo, 2015

Figura N° 24. Basura en el mar



El secretario general de la ONU, António Guterres, describió de manera alarmista la situación de los océanos. | **Fuente:** Foto: AFP

Anexo N° 3. Aceleración Vertical

DEFINICIÓN DE LA ACELERACIÓN VERTICAL

n_{cg} : Aceleración vertical de la embarcación determinada por una prueba modelo, cálculo teórico o por la siguiente fórmula que utiliza las aceleraciones verticales más altas 1/100 promedio en LCG.

$$n_{cg} = N_2 \left[\frac{12 h_1}{B_w} + 1.0 \right] \tau [50 - \beta_{cg}] \frac{V^2 (B_w)^2}{\Delta}$$

Donde:

N_2 : 0.0078 (Dato obtenido del ABS)

Δ : Desplazamiento en Toneladas, 1781 Kg

B_w : Máxima manga en metros **5.22 m**

$\frac{h_1}{3}$: Altura de ola significativa de diseño para las áreas de operación previstas, m, mostradas en la siguiente tabla de la sección **3-2-2/Tabla 5**, sería **4.5 m**.

Motor Yacht Design Significant Wave Heights, $h_{1/3}$ (1 October 2016)

<i>Notation</i>	<i>Operational Design Condition $h_{1/3}$</i>	<i>Maximum Design Condition ⁽¹⁾ $h_{1/3}$</i>
Yachting Service and Commercial Yachting Service	4.0 m (13.1 ft)	6 m (19.7 ft)
Restricted Yachting Service ⁽²⁾	3.5 m (11.5 ft)	4.5 m (14.8 ft)

Notes:

- 1 Speed, V , for Maximum Design Condition to be taken as 10 knots.
- 2 $h_{1/3}$ for restricted yachting service notation **Yachting Service R** is in association with a maximum operational limit of 200 nautical miles from a place of refuge. See also 1-1-3/1.3.

τ : En general no debe tomarse a menos de 4 ° para $L < 50$ m.

β_{cg} : Generalmente no debe tomarse menos de 10 ° ni más de 30 °

V : Velocidad máxima de diseño en aguas calmas, **12 nudos**

Reemplazando los valores en la fórmula, tenemos

$$n_{cg} = N_2 \left[\frac{12 h_1}{B_w} + 1.0 \right] \tau [50 - \beta_{cg}] \frac{V^2 (B_w)^2}{\Delta} = \mathbf{0.079} \cong \mathbf{1 g' s}$$

Anexo N° 4. Presión en el fondo del catamarán

❖ Presiones de diseño en el fondo para multicascos

Presión de Slamming en el fondo:

$$P_{bxx} = \frac{N_1 \Delta}{L_w N_h B_w} [1 + n_{cg}] F_D F_V \quad kN/m^2$$

Donde:

n_{cg} : Aceleración vertical, definida en Anexo N°1

B_w : Máxima manga de un casco en m.

N_h : Número de cascos

N_1 : 0.1 (Valor obtenido del ABS)

Δ : Desplazamiento en toneladas

L_w : Eslora de flotación antes definida

F_D : Factor de área de diseño, definido en Anexo N°2

F_V : Factor de la distribución de la aceleración vertical, definido en Anexo N°2

$$P_{bxx} = \frac{0.1(17810)}{(14.5)(2)(1.41)} [1 + 0.0796](0.4)(1) \quad kN/m^2$$

$$P_{bxx} = \mathbf{18.94 \text{ kN/m}^2}$$

Presión hidrostática:

$$P_d = N_3(H_S - y)$$

Donde:

N_3 : 9.8 (Valor obtenido del ABS)

H_S : $0.083 L + d$ En metros, pero no debe ser menor de $D + 1.22$

y : Distancia sobre la línea de base de la ubicación que se considera en m

$$P_d = 9.8(3.54 - 2.32)$$

$$P_d = \mathbf{11.96 \text{ kN/m}^2}$$

Anexo N° 5. Presión para la parte lateral del catamarán

❖ Presión del diseño lateral para multicascos

Presión de Slamming

$$P_{sxx} = \frac{N_1 \Delta}{L_w N_h B_w} [1 + n_{xx}] \left[\frac{90 - \beta_{sx}}{90 - \beta_{cg}} \right] F_D \quad kN/m^2$$

Donde:

n_{xx} : $n_{cg} k_V$

B_w : Máxima manga de un casco en m.

N_h : Número de cascos

N_1 : 0.1 (Valor obtenido del ABS)

Δ : Desplazamiento en toneladas

L_w : Eslora de flotación antes definida

F_D : Factor de área de diseño, definido en Anexo N°2

β_{sx} : No debe ser mayor que 55°

β_{cg} : Generalmente no debe tomarse menos de 10 ° ni más de 30 °

$$P_{sxx} = \frac{0.1(17810)}{(14.5)(2)(1.41)} [1 + 0.079] \left[\frac{90 - 30}{90 - 10} \right] 0.4 \quad kN/m^2$$
$$P_{sxx} = 13.01 \quad kN/m^2$$

Anexo N° 6. Presión de la cubierta mojada

❖ Presión de diseño de la cubierta mojada de catamaranes

$$p_{wd} = 30 N_1 F_D F_1 V V_1 \left(1 - \frac{0.85 h_a}{h_{1/3}} \right) kN/m^2$$

Donde:

N_1 : 0.1 (Valor obtenido del ABS)

F_D : Factor de área de diseño, definido en Anexo N°2

F_1 : 1 Factor obtenido del ABS

V : 12 nudos

h_a : Distancia vertical en m.

$h_{\frac{1}{3}}$: Altura de ola de diseño para las áreas de operación

V_1 : Impacto relativo de velocidad, viene dado de:

$$\frac{4h_{1/3}}{\sqrt{L}} + 1 = 5.74 \quad m/s$$

$$p_{wd} = 30(0.1)(0.4)(1)(12)(5.74) \left(1 - \frac{0.85(1.28)}{4.5}\right) kN/m^2$$

$$p_{wd} = 62.70$$

Anexo N° 7. Presión de la cubierta

❖ Presión de diseño de la cubierta

<i>Location</i>	<i>kN/m²</i>
Main Weather Deck	0.20L + 4.5
Superstructure and deckhouse decks forward of 0.25L	
Superstructure and deckhouse decks elsewhere Internal decks (included in hull-girder section modulus)	0.10L + 4.5
Internal accommodation only decks (not included in hull-girder section modulus.)	3.4

$$P_d = 0.10L + 4.5 + 3.4 + 0.20 + 4.5$$

$$P_d = 16.72 kN/m^2$$

Anexo N° 8. Presión de Mamparos

❖ Presión de diseño de mamparos

$$P_t = N_3 h$$

Donde:

N_3 : 9.8 (Valor obtenido del ABS)

h : 0.46 (Valor obtenido del ABS)

$$P_t = 9.8 * 0.46 = 4.508 kN/m^2$$

Anexo N° 9. Espesores mínimos

$$t_s = 0.44\sqrt{Lq_s} + 2.0 mm$$

Donde:

L : Eslora en m

q_s : 1 para un acero ordinario, no debe ser menor de 0.72

Anexo N° 10. Cargas Longitudinales del Catamarán

❖ Cargas Longitudinales del Catamarán

Módulo de la sección maestra

$$SM = C_1 C_2 L^2 B (C_b + 0.7) K_3 C Q \text{ cm}^2 - m$$

Donde:

$$C_1 = 0.44L + 3.75 = 4.38$$

$$C_2 = 0.01$$

$$L = 14.4 \text{ m}$$

$$B = 4.64$$

$$C_b = 0.46$$

$$K_3 = 0.70 + 0.30 \left[\frac{v}{\sqrt{L}} \right]$$

$C = 1$ para yates de acero

$$Q = 0.72$$

$$\mathbf{SM = 39.15 \text{ cm}^2 - m}$$

Anexo N° 11. Momento de Inercia

$$I = \frac{L}{QC} \frac{SM}{K} \text{ cm}^2 - m$$

Donde:

$$L = 14.4 \text{ m}$$

$$Q = 0.72$$

$$C = 1$$

$$SM = 39.15$$

$K = 50$ de tabla del ABS

$$\mathbf{I = 15.66 \text{ cm}^2 - m}$$

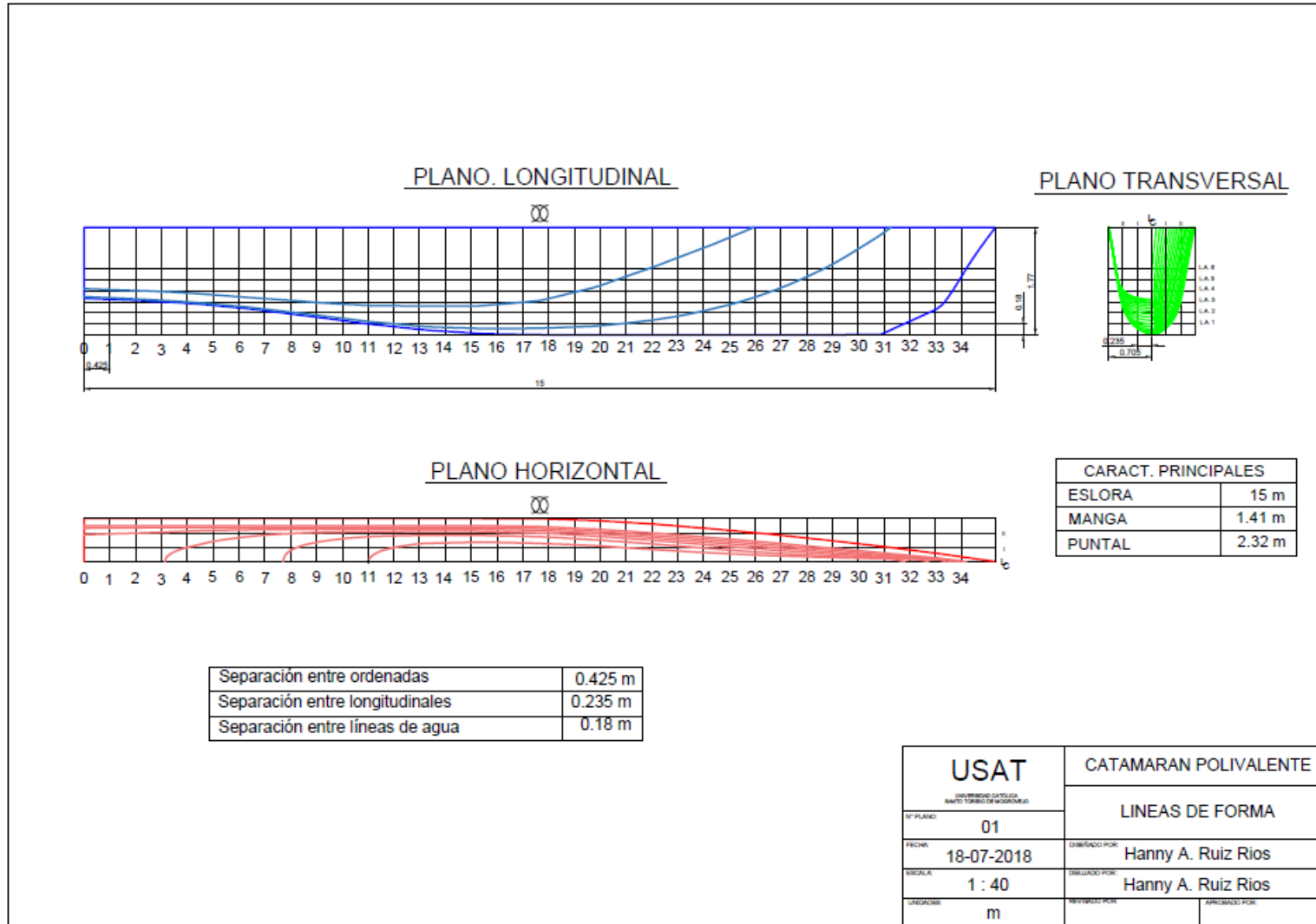
Anexo N° 12. Código de estabilidad. Condición N°1

Código	Criterio	Valor	Unidades	Actual	Estado
HSC multi, intact	2b i: Area 0 to 30				Pass
	spec. heel angle	30	Deg	30	
	angle of vanishing stability	83.5	Deg		
	shall not be less than (\geq)	3.1513	m.deg	30.7697	Pass
HSC multi, intact	2b i: Area 0 to 40				Pass
	spec. heel angle	40	Deg	40	
	angle of vanishing stability	83.5	Deg		
	shall not be less than (\geq)	5.1566	m.deg	44.6637	Pass
HSC multi, intact	2b i: Area 30 to 40				Pass
	spec. heel angle	30	Deg	30	
	spec. heel angle	40	Deg	40	
	angle of vanishing stability	83.5	Deg		
	shall not be less than (\geq)	1.7189	m.deg	13.894	Pass
HSC multi, intact	2b ii: Max GZ at 30 or greater				Pass
	spec. heel angle	30	Deg	30	
	spec. heel angle	90	Deg		
	angle of max. GZ	31.5	Deg	31.5	
	shall not be less than (\geq)	0.2	M	1.437	Pass
HSC multi, intact	2b iii: Angle of maximum GZ				Pass
	shall not be less than (\geq)	25	Deg	31.5	Pass
SOLAS, II-1/8	8.2.4.a Maximum GZ (intermediate stages)				Pass
	angle of max. GZ	31.5	Deg	31.5	
	shall be greater than ($>$)	0.05	M	1.437	Pass
SOLAS, II-1/8	8.2.4.b Range of positive stability (intermediate stages)				Pass
	angle of vanishing stability	83.5	Deg	83.5	
	shall be greater than ($>$)	7	Deg	83.5	Pass
Regulation 25A 2b	2b iv: Initial GMo				Pass
	shall not be less than (\geq)	0.15	M	4.342	Pass

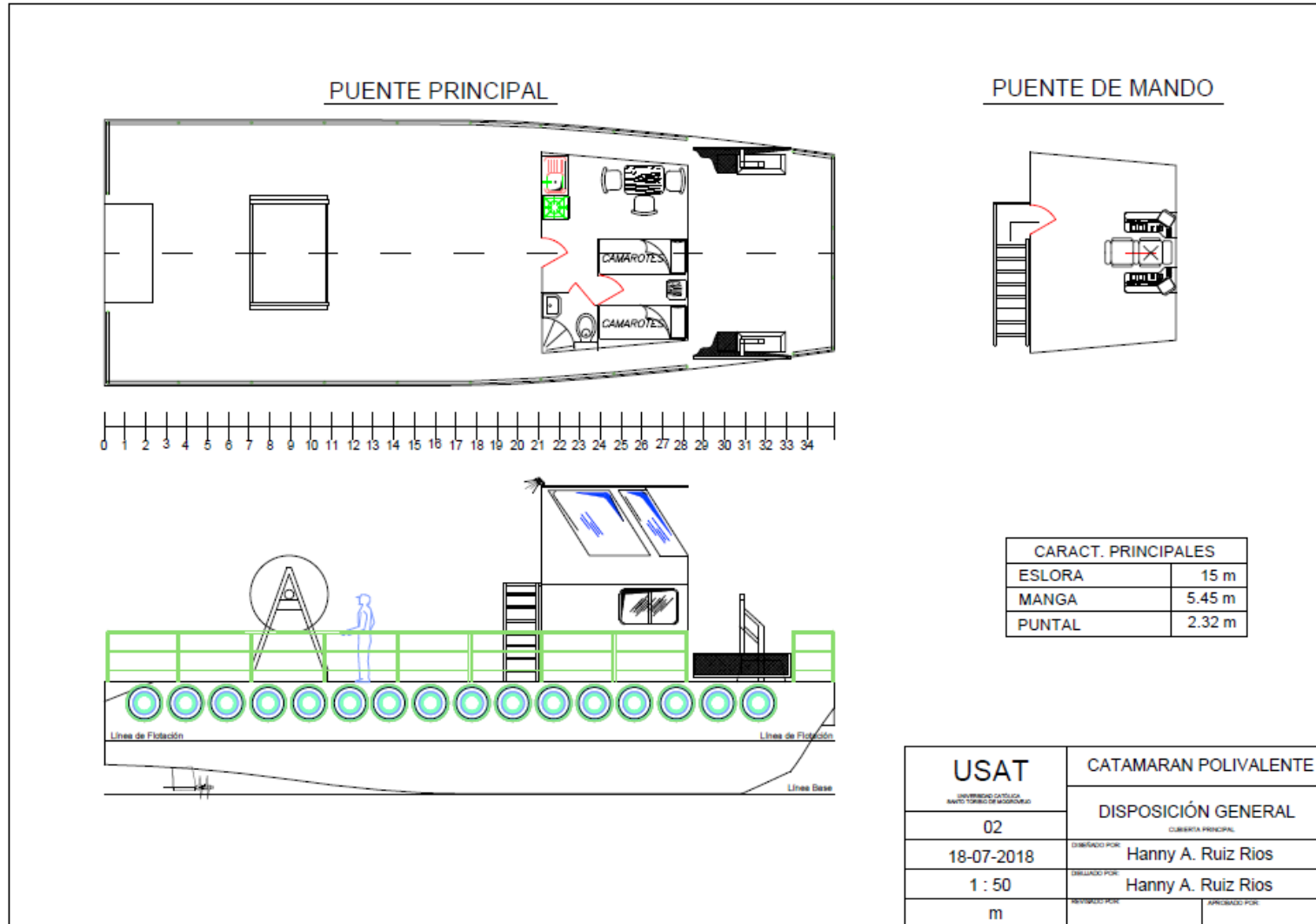
Anexo N° 13. Código de estabilidad. Condición N°2

Código	Criterio	Valor	Unidades	Actual	Estado
Regulation 27 - Intact stability	27.1.1 Initial GMo in port				Pass
	shall not be less than (\geq)	0.15	M	4.342	Pass
HSC multi, intact	2b i: Area 0 to 30				Pass
	spec. heel angle	30	Deg	30	
	shall not be less than (\geq)	3.1513	m.deg	21.739	Pass
HSC multi, intact	2b i: Area 0 to 40				Pass
	spec. heel angle	40	deg	40	
	shall not be less than (\geq)	5.1566	m.deg	31.138	Pass
HSC multi, intact	2b i: Area 30 to 40				Pass
	spec. heel angle	30	deg	30	
	spec. heel angle	40	deg	40	
	shall not be less than (\geq)	1.7189	m.deg	9.3986	Pass
HSC multi, intact	2b ii: Max GZ at 30 or greater				Pass
	spec. heel angle	30	deg	30	
	spec. heel angle	90	deg	90	
	shall not be less than (\geq)	0.2	m	0.968	Pass
HSC multi, intact	2b iii: Angle of maximum GZ				Pass
	shall not be less than (\geq)	25	deg	27.7	Pass
Regulation 27 - Intact stability	27.1.2.4 Initial GMo at sea				Pass
	shall not be less than (\geq)	0.15	m	4.342	Pass

Anexo N° 14. Plano línea de formas



Anexo N° 15. Plano de disposición general



Anexo N° 16. Plano disposición de tanques. Bajo cubierta

