

Propuesta de Metodología de Diseño Conceptual de embarcaciones tipo FSV para el Caribe Colombiano

Jonhatan Primera Escalante

Universidad Tecnológica de Bolívar
Programa de Ingeniería Mecánica
Cartagena de Indias D.T y C, Colombia
2016

(Esta página es dejada en blanco intencionalmente)

Propuesta de Metodología de Diseño Conceptual de embarcaciones tipo FSV para el Caribe Colombiano

Jonhatan Primera Escalante

Tesis presentada como requisito para optar el título de:
Ingeniero Mecánico

Director

PhD, Jairo Humberto Cabrera Tovar
Doctor en Ingeniería Naval y Oceánica



Universidad Tecnológica de Bolívar
Programa de Ingeniería Mecánica
Cartagena de Indias D.T y C, Colombia
2016

Resumen

Se desarrollará una propuesta de metodología diseño Conceptual de una embarcación de apoyo a plataformas offshore tipo FSV para suplir las necesidades de carga y personal de las futuras operaciones que se realizarán en el yacimiento de gas natural denominado Orca 1, ubicado a 40 km de la costa guajira, bloque Tayrona. La propuesta se basa en la evaluación de análisis de estabilidad y resistencia al avance para diferentes configuraciones de líneas de forma, usando como criterio de selección las condiciones de estabilidad, dando así una forma de casco apropiada para enfrentar las condiciones del Caribe colombiano.

Palabras claves: Bloque Tayrona, FSV, Mar caribe, Offshore, Orca 1.

Abstract

It will develop a proposal of methodology of a Conceptual design of an offshore support Vessels, type FSV to meet the needs of cargo and personal of future operations to be performed in the field so-called natural gas Orca 1 located at 40 km from the coast of Guajira, Tayrona block. The proposal is based on an evaluation of an analysis of stability and resistance to different configurations of lines of form, using as selection criteria the conditions of stability, thus giving a hull form appropriate to deal the conditions of the Colombian Caribbean.

Keywords: Tayrona Block, FSV, Caribbean Sea, Offshore, Orca 1

Nota de Aceptación

Ph.D, Jairo Humberto Cabrera Tovar
Director de proyecto

Jurado

Jurado

Cesión de derechos patrimoniales

Cordial Saludo

Manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado ***Propuesta de Metodología de Diseño Conceptual de embarcaciones tipo FSV para el Caribe Colombiano***, producto de mi actividad académica para optar el título de ***Ingeniero Mecánico*** de la misma institución.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la mencionada ley. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la misma ley. En concordancia, suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entrego al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

Atentamente

Jonhatan Primera Escalante

Señores

Universidad Tecnológica de Bolívar

Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Mecánica

Comité evaluador de trabajos de grado

Cordial Saludo

Por medio de la presente, permito someter a su consideración el Trabajo de Grado titulado ***Propuesta de Metodología de Diseño Conceptual de embarcaciones tipo FSV para el Caribe Colombiano***, requisito para optar el título de Ingeniero Mecánico.

Atentamente

Jonhatan Primera Escalante

Señores

Universidad Tecnológica de Bolívar

Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Mecánica

Comité evaluador de trabajos de grado

Cordial Saludo

Por medio de la presente, permito informarles que el Trabajo de Grado titulado ***Propuesta de Metodología de Diseño Conceptual de embarcaciones tipo FSV para el Caribe Colombiano***, ha sido desarrollado de acuerdo a los objetivos.

Como director del proyecto considero que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

Atentamente,

Jairo H: Cabrera Tovar, PhD.

DEDICATORIA

Este proyecto de grado es dedicado especialmente a mi familia, mis padres y mis hermanos quienes fueron los principales motores e inspiración para que todos los días pensara en terminar este documento y lograr cumplir los objetivos

A todas aquellas personas que me acompañaron durante mi proceso de formación profesional, fuimos un grupo que desde el principio se mantuvo unido, y cada día aumentaba el lazo de amistad.

A Dios todopoderoso forjador de mi camino, padre celestial, el que siempre me acompaña, en los caminos claros y oscuros.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente al Doctor en ingeniería naval Jairo Humberto Cabrera Tovar, con su compañía, logre desarrollar conocimientos nuevos en el sector naval y Offshore, gracias a él este trabajo fue posible, mis más sinceros agradecimientos esta persona quien ha dedicado tanto de su tiempo, y confió en mi persona, en que podríamos sacar este trabajo adelante.

Mis compañeros estudio, que posteriormente se volvieron mis amistades, Carlos Antonio Camacho Cueter, Edgar Baena Guerra, José Antonio Chagüi Díaz, Laura Castellar Bustillo, Sebastián Muñoz Arredondo, Mauricio Fernández Arboleda, Jania Paola Uribe Caro, Lilian Leticia Miranda Romero, agradezco todo su apoyo brindado durante el transcurso no solo de este proyecto, también de toda la carrera universitaria.

CONTENIDO

Introducción	16
1. Planteamiento del Problema y Justificación.....	17
2. Objetivos	19
2.1. Objetivo General	19
2.2. Objetivos específicos	19
3. Estado del Arte	20
4. Marco Teórico	21
4.1. Gas Natural en Colombia.....	21
4.2. Embarcaciones de suministro.....	24
4.2.1. PSV (Platform supply Vessel)	25
4.2.2. AHTS (Anchor Handling Towing Supply Vessels)	25
4.2.3. MPSV (Multi-purpose service vessel).....	26
4.2.4. FSV (Fast Supply Vessels).....	26
4.2.5. SSV (Standby Safety Vessel).....	27
4.3. Yacimiento Orca-1	27
5. Metodología	28
6. Selección de Líneas de Forma	30
6.1. Embarcación Proyecto	31
6.2. Dimensiones Principales.....	32
6.3. Resistencia al avance en relación a líneas de forma	37
6.4. Peso en Rosca.....	42
6.4.1. Elementos Estructurales	42
6.4.2. Equipo y habitabilidad	44
6.4.3. Conceptos de la maquinaria.....	44

7. Dimensionamiento	46
7.1. Coeficiente de Bloque.....	47
7.2. Coeficiente Sección Media	47
7.3. Coeficiente Prismático	48
7.4. Coeficiente de Flotación	49
7.5. Longitud de centro de carena (LCB).....	49
7.6. Dimensionamiento de Tanques	50
7.6.1. Tanques de Combustible	50
7.6.2. Tanques de agua dulce.....	50
7.7. Resumen dimensionamiento	51
8. Arreglo General	53
8.1. Cuadernas	54
8.2. Pique de Proa	55
8.3. Mamparos.....	55
8.4. Doble Fondo	57
8.5. Cubiertas	59
9. Análisis de Estabilidad	61
9.1. Situación de Carga 1	64
9.2. Situación de Carga 2	66
9.3. Situación de Carga 3	68
9.4. Situación de Carga 4	70
Conclusiones	72
Bibliografía	73
Anexo. Base de datos FSV Seacor Marine	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de Gas Natural (Gas Natural Distribución)	21
Tabla 2. Campos de producción en diferentes cuencas de Colombia (UPME (Unidad de Planeación Minero Energética))	23
Tabla 3. Relaciones adimensionales de embarcaciones tipo FSV.....	33
Tabla 4. Relaciones adimensionales del proyecto	36
Tabla 5. Nomenclatura de Cascos a Estudiar	37
Tabla 6. Valor Cso por tipo de embarcación (Alvariño, Azpíroz, & Meizoso, 1997)	43
Tabla 7. Resumen características principales del proyecto (Fuente Propia)	52
Tabla 8. Número total de mamparos (Lloyd's Register)	55
Tabla 9. Valores de permeabilidad por espacios (SOLAS, 1997)	56
Tabla 10. Situaciones de Carga (OMI).....	63
Tabla 11. Situación de Carga 1	64
Tabla 12. Criterios de Estabilidad Situación de Carga 1	64
Tabla 13. Situación de Carga 2.....	66
Tabla 14. Criterios de Estabilidad Situación de Carga 2.....	66
Tabla 15. Situación de Carga 3.....	68
Tabla 16. Criterios de Estabilidad situación de Carga 3	68
Tabla 17. Situación de Carga 4.....	70
Tabla 18. Criterios de Estabilidad Situación de Carga 4	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bloque Tayrona, Pozo Orca-1 40 km de la costa Guajira (Naturgas, 2015).....	17
Figura 2. Palermo Sociedad Portuaria, Barranquilla, Colombia (Coremar).....	18
Figura 3. Comportamiento demanda en varios sectores (Castellanos, 2015)	22
Figura 4 . Reservas TPC del GN entre el año 2010 y 2023 (UPME (Unidad de Planeación Minero Energética)).....	22
Figura 5. Porcentaje producción en diferentes cuencas (UPME (Unidad de Planeación Minero Energética)).....	24
Figura 6. PSV, Platform Supply Vessel (Choust).....	25
Figura 7. Anchor Handling Towing Supply Vessel (Offshore Energy Today, 2011)	25
Figura 8. MPSV, Multi-Purpose Service Vessel (Offshore energy Today, 2013) ...	26
Figura 9. FSV, Fast supply Vessel (Choust).....	26
Figura 10. SSV, Standby Safety Vessel (Seacor Marine)	27
Figura 11. Diagrama de Flujo metodología.....	29
Figura 12. Eslora entre perpendiculares en función del peso muerto	33
Figura 13. Manga en función del peso muerto.....	34
Figura 14. Puntal en función del peso muerto	35
Figura 15. Popa tipo U, con Proa 1 (Fuente Propia)	38
Figura 16. Popa tipo U, con Proa 2 (Fuente Propia).....	38
Figura 17. Popa tipo V, con Proa 1 (Fuente Propia)	38
Figura 18. Popa tipo V, con Proa 2 (Fuente Propia)	38

Figura 19. Potencia necesaria en relación con forma de Proa y Popa	39
Figura 20. Relación de Resistencia al avance entre los dos cascos finales	40
Figura 21. Líneas de formas seleccionadas VFSV1	41
Figura 22. Coeficiente Prismático en relación a FN (Alvariño, Azpíroz, & Meizoso, 1997).....	48
Figura 23. Curva de esloras inundables	56
Figura 24. Arreglo General proyecto (Fuente Propia)	60
Figura 25. Curva GZ de estabilidad (diseño veleros multi tiempo)	61
Figura 26. Curva GZ Situación de Carga 1	64
Figura 27. Curva GZ Situación de Carga 2	66
Figura 28. Curva GZ Situación de Carga 3	68
Figura 29. Curva GZ Situación de Carga 4	70

INTRODUCCIÓN

Las operaciones offshore se han venido intensificando al transcurrir el tiempo, las aguas colombianas son actualmente reconocidas internacionalmente como una fuerte fuente de reservas de gas natural y petróleo, por lo tanto varias compañías dedicadas a las exploración y producción de estas reservas han apostado a la inversión para operar en las aguas colombianas, reconociendo así, dos de las más importantes a nivel mundial, Petrobras y Anadarko.

A finales del año 2014 y medianos del año 2015 se ha reportado con éxito la presencia de reservas de gas natural en los yacimientos Orca-1 y Kronos-1, (Pachecho, 2014), ubicados en bloque Tayrona Guajira, y bloque Fuerte Norte Coveñas, respectivamente. Por lo tanto El país se encuentra en una temprana fase de producción donde se espera que para el año 2017 ya se encuentren plenamente involucrados en esta fase. La demanda de la logística asociada con estas operaciones van aumentando cada vez más, haciendo necesario implementar infraestructura que abastezcan las necesidades que las plataformas requieran, con esto nos podemos referir a embarcaciones que son conocidas como OSVs, Offshore Support Vessels, las cuales son especialmente diseñadas para operar bajo extremas condiciones y además un diseño apropiado para transportar la mayor carga posible a las plataformas ya sea en fase de exploración, perforación o producción.

Las embarcaciones tipo FSV, Fast Supply Vessels, es una clasificación de las OSVs, nacieron con la necesidad de transporte de pasajeros y carga en el menor tiempo posible, ahorrando costos de logística asociados con helicópteros para el transporte de personal en operaciones cada vez más profundas, además, logrando combinar dos conceptos importantes, Carga y Personas, haciendo más eficiente las operaciones que se realizan en las plataformas offshore. Como segundo concepto importante de la selección de una embarcación tipo FSV, es la necesidad de atender los sitios de operación en el menor tiempo posible, esto debido a que los yacimientos se han venido encontrando cada vez en aguas más profundas, por lo tanto haciéndolas más lejanas del puerto asociado a esta operación, conocidos con el nombre de Shorebase, esto implica la utilización de embarcaciones más rápidas y como anteriormente mencionado, combine los conceptos de transporte de carga sobre cubierta y personal, denominados FSV.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El país colombiano conforme pasa el tiempo ha venido entrando en un estado de pocas reservas de gas natural, donde se estima que para el año 2018 (Noticias RCN, 2015) se tendrá que importar el hidrocarburo elevando así el costo para los usuarios aproximadamente el doble de lo que actualmente cuesta.

La empresa Petrobras ha estado realizando exploraciones en el mar Caribe Colombiano, encontrando así reservas de gas natural en el yacimientos denominado Orca-1, por lo tanto es necesario la implementación de plataformas y embarcaciones que ayuden a realizar las operaciones que se van a requerir.

Se selecciona el pozo Orca-1 ubicado a 40 km de la costa guajira como problema a tratar, localizado en el Bloque Tayrona, Norte de Colombia, y explorado por las compañías Petrobras, Ecopetrol y Repsol. Se han encontrado grandes reservas de gas natural para finales del 2014 con una profundidad de 4240 metros y con una lámina de agua de 674 metros, considerándose así un pozo en aguas profundas. (Ecopetrol, 2014), en la Figura 1 se puede observar la ubicación del Pozo Orca-1.

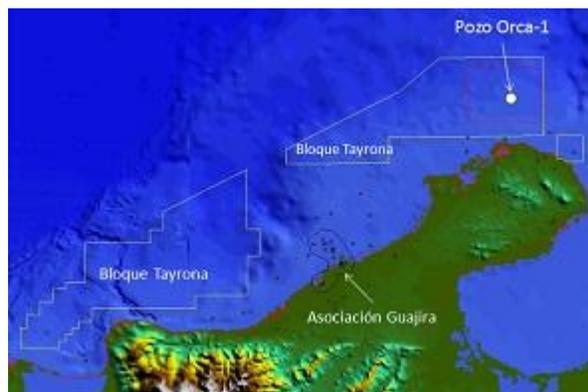


Figura 1. Bloque Tayrona, Pozo Orca-1 40 km de la costa Guajira (Naturgas, 2015)

Lo anterior implica la necesidad de diseñar embarcaciones que puedan apoyar a la temprana fase de producción que el País va a enfrentar en un futuro no muy lejano, fusionando los conceptos de carga y personal, eligiendo como mejor

opción una embarcación tipo FSV, que pueda servir como un transporte rápido de los ítems anteriormente anunciados.

Estas embarcaciones necesitarán una base de operación donde se pueda suministrar todas las cargas y personal que la plataforma requiera, esto es conocido como un Shorebase, siendo el más próximo al bloque la base ubicada en Barranquilla de Coremar conocida como Palermo Sociedad Portuaria. En la Figura 2 se puede apreciar la configuración del puerto anteriormente mencionado.



Figura 2. Palermo Sociedad Portuaria, Barranquilla, Colombia (Coremar)

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Proponer una metodología de diseño conceptual de una embarcación tipo FSVs (Fast Supply Vessels) para el Caribe colombiano

2.2. Objetivos específicos

1. Dimensión de líneas de forma de la embarcación tipo FSV para suplir las necesidades del Caribe colombiano
2. Realizar análisis de resistencia al avance de la embarcación tipo FSV para seleccionar las líneas de formas más apropiadas
3. Diseñar una propuesta de arreglo general de la embarcación tipo FSV conforme dimensionamiento internos de capacidades de tanques
4. Desarrollar un Análisis de estabilidad de la embarcación FSV para diferentes condiciones de carga

3. ESTADO DEL ARTE

Recientemente la influencia de las embarcaciones rápidas de suministro, en inglés Fast Supply Vessel, FSV, ha venido creciendo por necesidad logística que presentan las operaciones cada vez más lejanas de la base operativa, conocida como Shorebase. En Colombia existe un grupo de investigación denominado CEOff Caribe de la Universidad Tecnológica de Bolívar en Cartagena de Indias, Colombia, que significa Centro de Estudios Offshore Caribe, este grupo se encarga de proponer soluciones para todo lo relacionado con operaciones Costa afuera, abarcando desde embarcaciones, hasta plataformas Offshore. Recientemente se ha venido trabajando en proponer soluciones para las posibles futuras operaciones que se pueden presentar en el mar Caribe Colombiano, específicamente en los yacimientos Orca-1 y Kronos-1, ubicados en bloque Tayrona, Guajira, y Bloque Fuerte Norte, Coveñas respectivamente.

En Brasil existen publicaciones con respecto a metodologías de diseño de este tipo de embarcaciones, la Universidad federal de Rio de Janeiro, posee una base de datos extensa donde se pueden encontrar numerosas publicaciones de Proyectos de grados de diferentes tipos de embarcaciones, aquí se pueden resaltar dos documentos donde se refieren específicamente al tipo de embarcación a estudiar, estos son los publicados por Mariana Viviani Candelle junto con Oto Fábio Rocha Matos Filho en el año 2013, y Lucas Pastelli junto con Pietro Giorgio en el año 2015, ambos proyectos desarrollaron una metodología de diseño donde involucraron las diferentes disciplinas involucradas en la espiral de diseño típica utilizada en el sector naval.

El astillero Damen, ubicado en Holanda, es actualmente quien mantiene el liderato en la construcción de las embarcaciones de apoyo rápido, en inglés Fast Supply Vessel, FSV,

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Gas Natural en Colombia

El gas natural es un hidrocarburo formado principalmente por metano, aunque también suele contener una proporción variable de nitrógeno, etano, CO₂, H₂O, butano, propano, mercaptanos y trazas de hidrocarburos más pesados. El metano es un átomo de carbono unido a cuatro de hidrógeno (CH₄) y puede constituir hasta el 97% del gas natural. Las propiedades del gas natural son las siguientes mostradas en la Tabla 1 (Gas Natural Distribución).

Tabla 1. Características de Gas Natural (*Gas Natural Distribución*)

Propiedades Físicas y Químicas	
Fórmula molecular	CH ₄
Peso molecular mezcla	18,2
Temperatura de ebullición a 1 atmósfera	-160,0 °C
Temperatura de fusión	-180,0 °C
Densidad de los vapores (Aire =1) a 15,5	0,61
Densidad del líquido (Agua=1) a 0°/4 °C	0,554
Relación de Expansión	1 litro de líquido se convierte en 600 litros de gas
Solubilidad en agua a 20 °C	Ligeramente soluble (de 0,1 a 1,0%)
Apariencia y color	Incoloro, insípido y con ligero olor a huevos podridos

Este es un gas potencialmente usado como combustible, haciendo este un candidato perfecto para explorarlo y extraerlo donde esté. La demanda de este se ha venido intensificando a lo largo de los años, en la Figura 3 se evidencia como el GN e industrial muestran un claro crecimiento en comparación con las demás ítems estudiados, siendo esto un indicador de que Colombia debe seguir buscando GN y así producir más. (Castellanos, 2015)

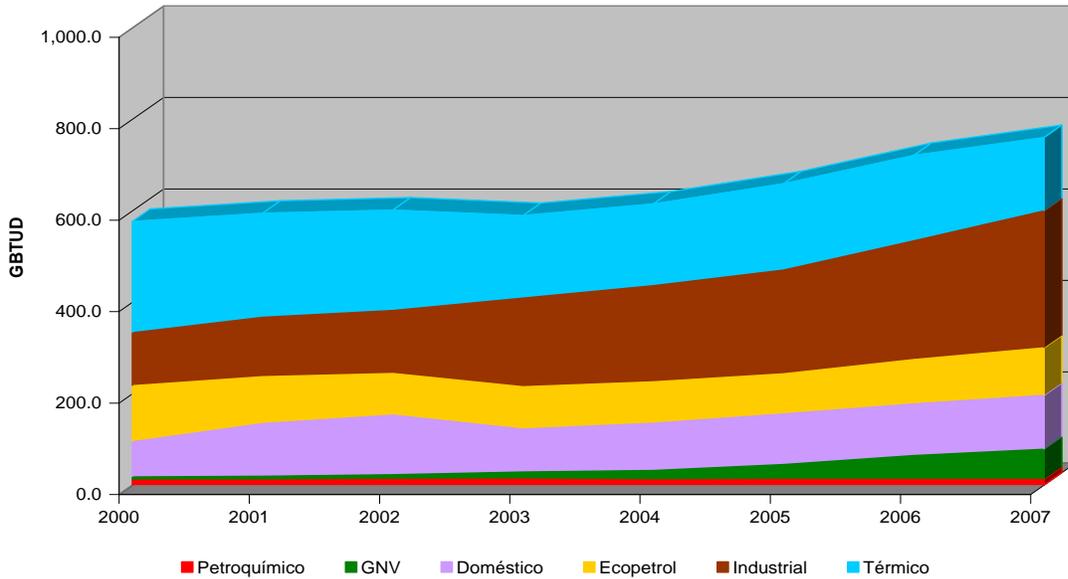


Figura 3. Comportamiento demanda en varios sectores (Castellanos, 2015)

Para finales del año 2013 Colombia reportó una reserva de gas natural de 6,41 TPC, aunque de igual manera se tienen registro de datos que para ese mismo año las reservas habrían bajado en un 4%, 3%, y 48%, en reservas probadas, probables y posibles respectivamente, esto se muestra en la Figura 4 (Castellanos, 2015).

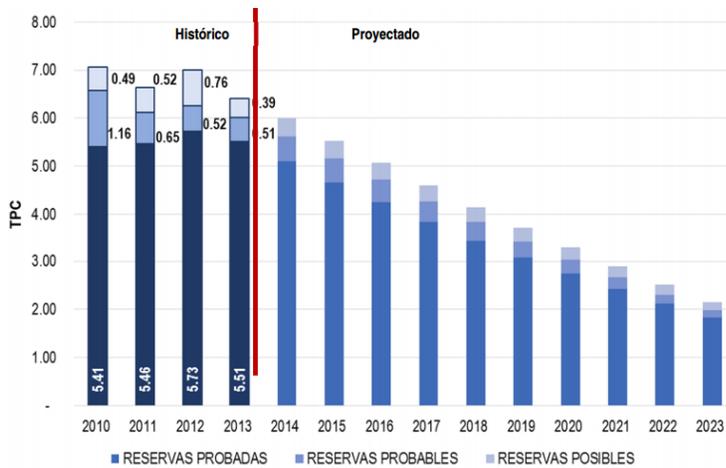


Figura 4 . Reservas TPC del GN entre el año 2010 y 2023 (UPME (Unidad de Planeación Minero Energética))

Las reservas de Gas natural como lo mencionado anteriormente para el año 2013, se reportó 6,41 TPC, donde el 86% correspondió a reservas probadas con un equivalente de 5,51 TPC, el 8% con 0,51 TPC pertenecientes a reservas probables y 6%, corresponde a reservas posible con 0,39 TPC. Los llanos orientales lideran las reservas con un 50% del total, seguido por la cuenca guajira con un 31%, y el restante 19% localizadas en las cuencas del valle inferior del magdalena, Valle medio, Valle superior y Catatumbo. (UPME (Unidad de Planeación Minero Energética))

En la Tabla 2 se muestran los principales campos de producción de gas natural en Colombia.

Tabla 2. Campos de producción en diferentes cuencas de Colombia (UPME (Unidad de Planeación Minero Energética))

CUENCA	CAMPO
Catatumbo	Tibú, Sardinata, Cerrito, Rio Zulia
Guajira	Ballena, Chuchupa, Rioacha
Llanos Orientales	Apiay, Balay, Kina, Acordionero, Floreña, Pauto Sur, Rancho Hermoso, Rancho Hermoso mirador, Cusiana Norte, Cusiana, Cupiagua, Gibraltar, Cusiana, Santiago, Caño Garza, Cravo sur, Tocarla, Morichal, la gloria, Corocora, Remache Norte, Remache Sur, Casona, Ramiriqui, Oropendola, Vireo, Trinidad.
Putumayo	Moqueta, Costayaco, Guayuyaco, Juanambu
VIM	Arianna, Cañaflecha, Nelson, La creciente, La creciente-D, bonga, Mamey, Brillante, El difícil
VMM	Lisama profundo, Lisama norte, Llanito, Lisama, La cira. Infantas, Liebre, Juglar, Colon, Payoa, Corazón West, Corazón 9, Corazón West C, Corazón, La salina, opón, Provincia, Santa Lucia, Los Ángelesm Yarigui-Cantagallo
VSM	Abanico, Guando, Guando Sw, Chaparro, Rio Ceibas, Guaduas, Purificación, Loa Jagua, Mana, Brisas, Dina Cretaceo, Dina Terciario, Loma Larga, Santa Claram tenay, Ortega, toy, Pacande, Balcón, Palermo, San Francisco, Arrayan, Tempranillo, toqui-Toqui, Espino, La Hocha, Tello, Toldado, Yaguará, Marachín Norte y sur, La cañada Nortem Maracas

Observemos en la Figura 5 la participación de cada cuenca con relación a la producción de Gas natural en Colombia, Logramos rescatar dos cuencas que abarcan el 80,59% del total en Colombia, Llanos orientales y Guajira.

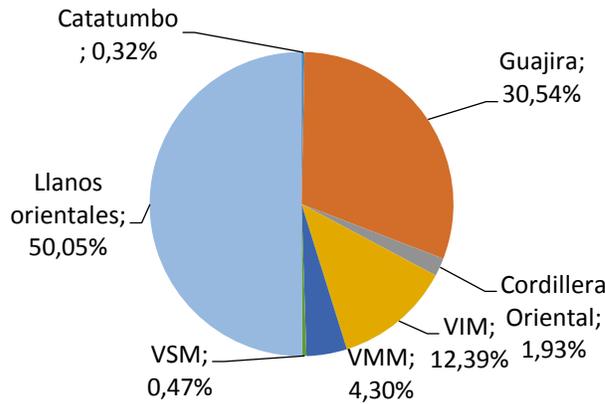


Figura 5. Porcentaje producción en diferentes cuencas (UPME (Unidad de Planeación Minero Energética))

Grandes operaciones offshore futuras se avecinan, y un gran punto de interés son las cuencas encontradas en la guajira, a finales del año 2014 se encontraron grandes reservas de Gas natural por la empresa Petrobras (Ecopetrol, 2014), haciendo este un sector importante para la creación de nueva infraestructura offshore que supla las necesidades que se presentarán en la cuenca anteriormente mencionada.

4.2. Embarcaciones de suministro

Las embarcaciones de suministro o de apoyo a plataformas offshore están definidas como aquellas que suplen las necesidades de carga, material, personal, etc., para operaciones costa afuera, estas juegan un papel importante en la logística asociada con cualquiera operación, ya que si estas no están disponible, toda la maniobra puede sufrir atrasos, involucrando así la elevación de costos del proyecto a la cual se está atendiendo. Existen diferentes tipos de buques de suministro que tienen como principal función mantener un alto rendimiento de las operaciones offshore.

4.2.1. PSV (Platform supply Vessel): Toma tareas de llevar provisiones y carga sobre cubierta para las plataformas offshore, pueden utilizarse también como buques de rescate, un ejemplo es mostrado en la Figura 6.



Figura 6. PSV, Platform Supply Vessel (*Choust*)

4.2.2. AHTS (Anchor Handling Towing Supply Vessels): Buque como principal función el manejo de anclas, transporte de plataformas, carga sobre cubierta y personal, un ejemplo es mostrado en la Figura 7.



Figura 7. Anchor Handling Towing Supply Vessel (*Offshore Energy Today, 2011*)

4.2.3. MPSV (Multi-purpose service vessel): Buques con múltiples tareas, capaces de atender diferentes escenarios como derrames de hidrocarburos, alojamiento de personal, tareas de construcciones offshore, control de ROV, entre otras, un ejemplo es mostrado en la Figura 8.



Figura 8. MPSV, Multi-Purpose Service Vessel (*Offshore energy Today*, 2013)

4.2.4. FSV (Fast Supply Vessels): Buques principalmente para el transporte de personal, también puede cumplir la función de llevar carga sobre cubierta, son embarcaciones de velocidades altas para suplir la demanda de personal y carga en el menor tiempo posible, un ejemplo es mostrado en la Figura 9.



Figura 9. FSV, Fast supply Vessel (*Choust*)

4.2.5. SSV (Standby Safety Vessel): Buques como función principal atender novedades de emergencias en las operaciones offshore, un ejemplo es mostrado en la Figura 10.



Figura 10. SSV, Standby Safety Vessel (Seacor Marine)

Como se ha observado estas son embarcaciones que son especialmente diseñadas para suplir las necesidades de carga, material, personal, emergencia, construcción, derrames, entre otros fenómenos que pueden ocurrir en las operaciones realizadas costa afuera, por lo tanto en común se nota la gran altura de proa característica de este tipo de barcos, esto es debido a que estos deben enfrentar condiciones ambientales severas, ya que son diseñadas para tener una gran disponibilidad en las operaciones.

4.3. Yacimiento Orca-1

El país colombiano poco a poco va entrando a un estado de pocas reservas de gas natural, donde se estima que para el año 2018 se tendrá que importar el hidrocarburo elevando así el costo para los usuarios de aproximadamente el doble de lo que actualmente cuesta (Noticias RCN, 2015). El pozo orca-1 se encuentra en el bloque Tayrona. Los socios son Petrobras (40%), Ecopetrol (30%) y Repsol (30%), La profundidad de la perforación alcanzó hasta 4.220 metros con una línea de agua de 2211 metros, La operación de perforación se culminó en septiembre con una profundidad del pozo 3.657 metros, con hallazgos de gas natural, dando como base para el inicio de la Fase de producción. (Ecopetrol, 2014)

5. METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo se procede primeramente a hacer uso de una base de datos creada con distintas embarcaciones tipo FSV de la fuente Seacor Marine (Seacor Marine), donde se puede igualmente encontrar los diferentes arreglos generales de las embarcaciones y así, poder realizar una propuesta de diseño conceptual de cómo resultaría la repartición de tanques en nuestra embarcación proyecto.

Después de tener la base de datos se continúa definiendo las dimensiones principales como lo son la eslora, manga, puntal y calado por medio de regresiones, para así poder definir la geometría del casco. En este punto se realizan varios ejemplos de líneas de forma en embarcaciones ya existentes, proponiendo así, dos tipos de proa y popa, teniendo un total de 4 configuraciones de la geometría del casco para luego realizar un análisis de resistencia al avance para cada uno de ellos.

Al finalizar los análisis de resistencia al avance con todos las configuraciones de cascos propuestas, y utilizando el método de predicción más adecuado, se tiene en una primera iteración, los cascos seleccionados y que ofrecen menor resistencia al avance. Se modifican posteriormente estas líneas de formas para que se puedan cumplir con los requisitos de espacios del área de maquinaria, realizando nuevamente los análisis de resistencia para ver en definitiva el casco que cumpla con los requisitos de diseño, tomando como criterio de selección el casco que presente menos resistencia.

Posteriormente se procede a realizar una propuesta de arreglo general de la embarcación proyecto, para así poder definir las condiciones de carga en un análisis de estabilidad, en este apartado se realiza todo lo relacionado con la repartición de cuadernas, mamparos, cubiertas, tanques, etc. Después de tener un arreglo general, se procede a realizar un análisis de estabilidad con cuatro condiciones de cargas para evaluar la estabilidad de la embarcación proyecto. En la Figura 11 se muestra un Diagrama de flujo donde se puede apreciar mejor la metodología que se aplicara durante todo el proyecto.

Cabe resaltar que en el sector naval para el diseño y construcción de una embarcación sigue una metodología de diseño tradicional, que es conocida como la espiral de diseño, en esta investigación solo se tratará una primera iteración de

esta metodología, por lo tanto muchas de las variables a utilizar como el numero de motores, la velocidad, capacidades, son denominadas variables de entrada para poder dar una propuesta de diseño de la embarcación proyecto.

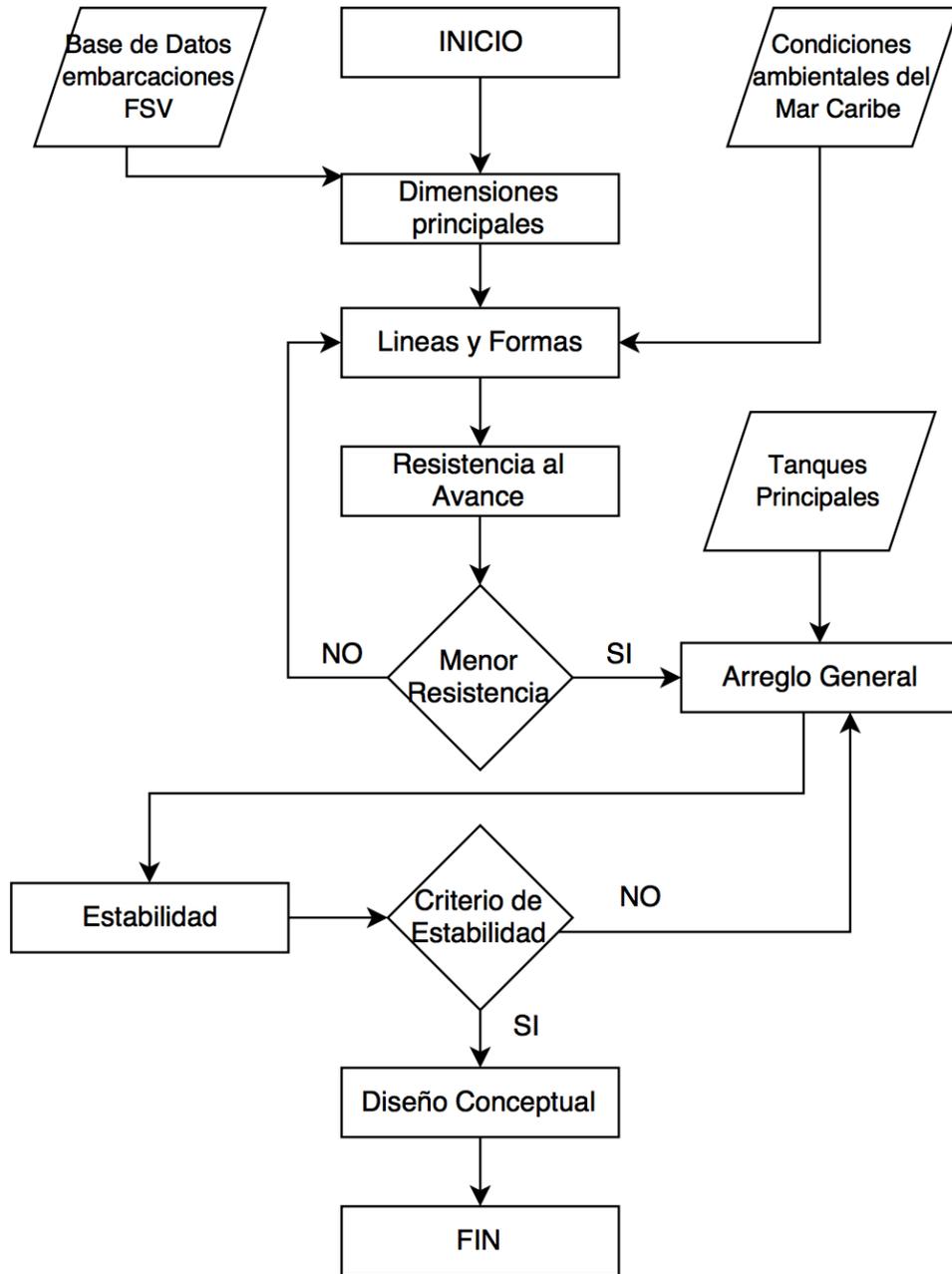


Figura 11. Diagrama de Flujo metodología

6. SELECCIÓN DE LÍNEAS DE FORMA

La concepción del tópicó dimensionamiento es basada principalmente en dar los valores que son necesarios para iniciar un diseño conceptual de un proyecto, y así seguir con un diseño preliminar y posteriormente con una Ingeniería de detalle, por ende se está hablando de las principales dimensiones del proyecto como lo son su eslora, manga, puntal, y calado. Para empezar el dimensionamiento de un buque proyecto se debe estar muy familiarizado con los diferentes proyectos ya construidos y además de eso especialmente con sus características principales, haciendo esto una tarea muy específica hacia el Ingeniero naval, o carreras afines.

El proceso de dimensionamiento de un buque, es una de las principales tareas a la hora de empezar un nuevo proyecto, en este espacio se generan datos iniciales de la geometría de la embarcación para poder definir líneas de formas y empezar a ver como toma forma el proyecto.

En esta etapa del proyecto, gracias a la implementación de la tecnología al mundo naval, se han logrado desarrollar software capaces de abarcar en gran parte este proceso, aunque no se debe confiar plenamente en los resultados que arrojan los programas computacionales, la opinión del encargado del proyecto o profesional para entender los datos, siempre ha sido y será un pilar importante a la hora de diseñar una embarcación. Con la llegada de software se puede afirmar lo eficaz que se ha vuelto la etapa de diseño, es correcto afirmar que con ellos, los costos disminuyen y la eficiencia aumenta. (Enavales)

Entrando al tema de interés, los buques de apoyo a plataformas costa afuera se pueden clasificar en varios tipos de embarcación, ya sea FSV, PSV, OSV, AHTSV etc., son construidos bajo ciertas condiciones rigurosas de diseño, la forma peculiar de sus cascos están diseñados para combatir las olas en mar adentro, ya que por lo dicho anteriormente, estos son embarcaciones que en cualquier condición ambiental siempre deben tener una alta disponibilidad y confiabilidad para seguir con las operaciones ya sea de exploración, perforación o producción que se estén realizando en un bloque de trabajo.

Para definir las características principales de una embarcación basta simplemente con obtener una base de datos de embarcaciones similares y en lo más posible teniendo en cuenta que mantengan la misma función, por lo tanto se puede extraer una parametrización de datos y así realizar regresiones estadísticas y de igual manera obtener las relaciones adimensionales típicas para el tipo de buque

la cual se piensa dimensionar (Alvariño, Azpíroz, & Meizoso, 1997), Estas relaciones son las siguientes:

$$\frac{L}{B} \quad \frac{B}{D} \quad \frac{T}{D} \quad \frac{L}{D}$$

Con estas relaciones se hace una segunda opción como métodos para estimar el dimensionamiento del proyecto que se va a realizar, por lo tanto si la regresión de datos es muy dispersa, no logrando obtener una ecuación del comportamiento de la variación de una dimensión con respecto a otra, se puede estimar obteniendo las relaciones adimensionales anteriormente mencionadas.

6.1. Embarcación Proyecto

La industria Offshore en Colombia va en rápido crecimiento debido a los diferentes y abundantes bloques de exploración que se encuentran distribuidos sobre el mar colombiano. Con los grandes hallazgos que se han reportado en los años 2014 y 2015 de yacimientos de Gas natural en los Pozos Orca-1, y Kronos-1 (Pachecho, 2014) respectivamente, se ha presenciado la importancia de desarrollar embarcaciones que puedan suplir las necesidades de las plataformas que en un futuro no muy lejano van a estar operando en los bloques Tayrona y Fuerte norte del mar colombiano, por lo tanto se ve la necesidad de empezar a elaborar proyectos como la construcción de embarcaciones de apoyo Offshore, ya sea tipo PSV o FSV, siendo estos dos un pilar logístico importante para las operaciones de las plataformas costa afuera.

Para este proyecto la selección de una embarcación de apoyo tipo FSV es la más adecuada para desarrollar ya que la información que se puede acceder para lograr una buena metodología de trabajo y además un buen dimensionamiento del buque se puede obtener de manera analítica y sencilla, esto debido a que la única necesidad de este tipo de embarcación es transportar personal a la zona de trabajo, refiriéndose así a la plataforma ya sea con funcionalidad de exploración, perforación, o producción, esto conlleva que la capacidad de estos buques se haga más limitada con relación a las PSV, concluyendo que los tanques que se diseñarán, pertenecerán a la clasificación de combustibles y agua potable principalmente, involucrando aceites, aguas sucias, etc. Esto no significa que este tipo de embarcación no pueda ser diseñada para trasportar otro tipo de carga, todo depende de la necesidad de la operación, por lo tanto existen proyectos de FSV donde tienen tanques especiales para transportar material específico para la operación.

Este trabajo se limitará a un diseño conceptual de una embarcación tipo FSV, solo involucrando tanques de combustible y agua potable, con sus respectivos tanques de aceites lubricantes, aguas sucias, y aceite sucios, puede que se presenten tanques de lastre, esto se definirá en el trascurso del proyecto, no se especificará la configuración de los diferentes sistemas de transporte de fluidos que están sobre toda la embarcación, tampoco se hará énfasis en los diferentes equipos que se encuentran en él, ya sean sistemas de HVAC, combustible, aguas sucias, agua de lastre, lubricación, redes eléctricas, sistema de navegación, botes salvavidas, sistema contra incendios, etc.

6.2. Dimensiones Principales

La obtención de las principales características de la embarcación puede ser resultado de análisis de regresión que proviene de una base de datos de proyectos similares, o de igual función. Por lo tanto la recopilación de información de proyectos de los diferentes astilleros suele ser un factor importante a la hora de conceptualizar un diseño, aplicando las capacidades de investigación del ingeniero. (Alvariño, Azpíroz, & Meizoso, 1997). Normalmente se suele seguir unos pasos para dimensionar un proyecto de embarcación, una metodología de trabajo puede ser la siguiente:

1. Construcción de una base de datos
2. Establecer parámetros Adimensionales
3. Elegir una variable principal, ya sea eslora, manga, peso muerto, etc.
4. Relaciones estadísticas que dependan de la variable principal.
5. Estimar las dimensiones principales
6. Estimar resto de variables a través de fórmulas empíricas o regresiones

De la base de datos del Anexo, base de datos FSV Seacor Marine, se puede determinar los límites de los valores adimensionales, además hacer una regresión de datos con los valores que tenemos en la tabla que toma como referencia todas las embarcaciones tipo FSV encontradas en la página de Seacor Marine. Solo se utilizo esta base de datos como fines académicos, pero normalmente se recopila información de diferentes astilleros, para así lograr crear algo mas general con respecto a este tipo de embarcaciones.

Con esto podemos obtener nuestras relaciones adimensionales, buscando el valor máximo y mínimo de cada uno de los parámetros geométricos siendo estos una opción de punto de partida del dimensionamiento del proyecto, como resultado los valores mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Relaciones adimensionales de embarcaciones tipo FSV

L/B	B/D	T/D	L/D
4,46 – 6	2 – 3,08	0,34 – 0,95	11,25 – 17,24

De acuerdo a lo anterior podemos establecer una serie de graficas que nos muestra el comportamiento de cada uno de las variables con relación a una variable fija elegida, normalmente se toma el peso muerto como punto de partida. Podemos observar en la Figura 12, la relación que hay entre los datos es realmente confiable dando un valor de R cuadrado de 0,6345, y obteniendo una tendencia cuadrática que se representa en la siguiente ecuación:

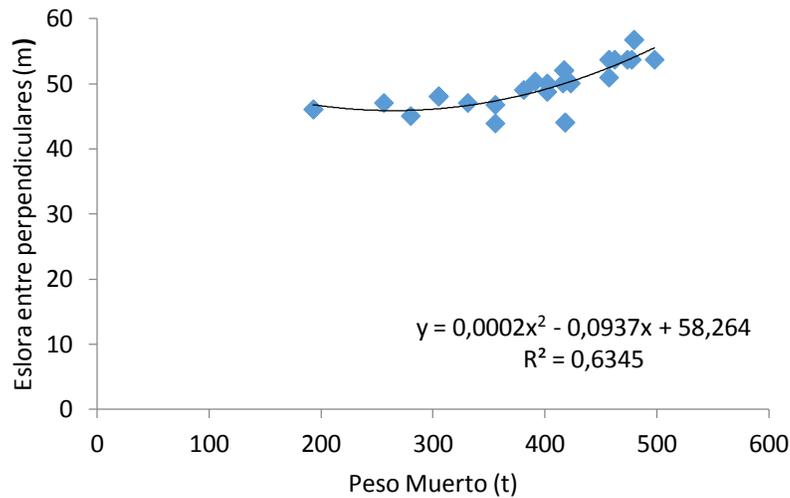


Figura 12. Eslora entre perpendiculares en función del peso muerto

$$L_{pp} = 0,0002(TPM)^2 - 0,0937(TPM) + 58,264 \quad (1)$$

Donde

L_{pp}: Eslora entre perpendiculares

TPM: Peso muerto

Al igual que la eslora entre perpendiculares, podemos tener una relación entre manga y el peso muerto de la embarcación, la manga es la distancia que hay de babor a estribor medida desde la sección media del casco.

Teniendo una base de datos de embarcaciones tipo FSV, se obtiene una fórmula que asocia la manga en función del peso muerto, esto lo podemos ver en la Figura 13, notando de igual manera la relación que existe entre los datos es de confiabilidad alta, dando un R cuadrado de 0,6896, de esta regresión de datos logramos obtener una ecuación de tendencia que es la siguiente:

$$B = 6,9896e^{0,0008(TPM)} \quad (2)$$

Donde

B: Manga

TPM: Peso muerto

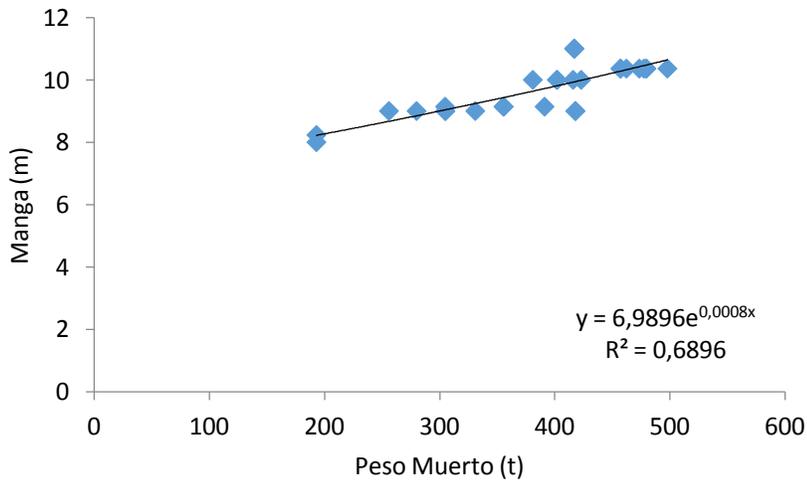


Figura 13. Manga en función del peso muerto

Con el mismo proceso que se ha estado realizando para determinar la eslora entre perpendicular y la manga de la embarcación proyecto, así mismo calcularemos el puntal de este, asociando así, una fórmula donde determine puntal en función del peso muerto.

De la Figura 14 observamos algo peculiar en esta línea de tendencia, el valor de R cuadrado está muy próximo a ser 0, consecuente con esto los valores arrojados por la ecuación de la línea de tendencia no darán una confiabilidad alta a la hora de estimar la manga.

Por lo tanto para la selección de la manga se realizara por medio de las relaciones adimensionales, tomando como valor la división entre manga y puntal de 2,25.

$$\frac{B}{D} = 2,25 \quad (3)$$

$$B = 2,25 \times D \quad (4)$$

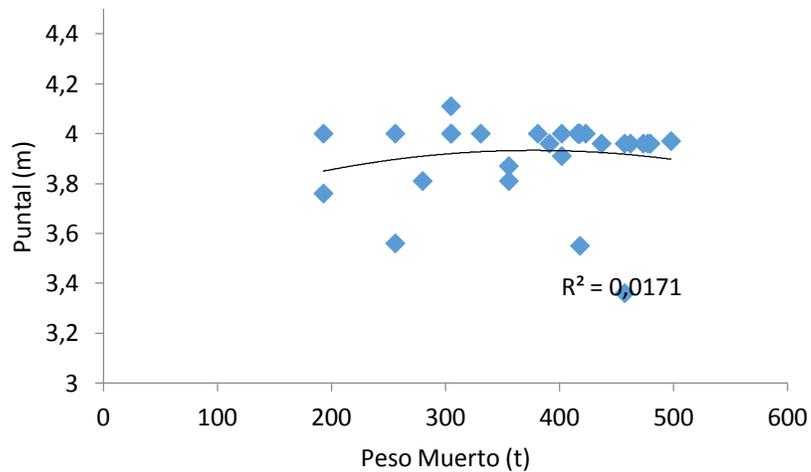


Figura 14. Puntal en función del peso muerto

De la primera vuelta de la espirar de diseño, tenemos como variables de entradas las siguientes especificaciones de diseño.

Especificaciones de Diseño

Tipo de Buque:	FSV (Fast Supply Vessel)
Peso Muerto:	300 toneladas
Propulsión:	4 propulsores diesel
Velocidad:	22 nudos
Acomodación:	75 personas
Autonomía:	6 días
Sociedad clasificadora:	Lloy's Register

Resultados Dimensiones Principales:

LBP	48	m
B	9	m
D	4	m
T	2,6	m

En la tabla 4 se mostrara una comparación de los resultados de las relaciones adimensionales del proyecto, junto con los dados en la base de datos, todos estos se encuentran dentro de los rangos encontrados, esto se debe a que el proceso de dimensionamiento se desarrolló a partir de la misma base de dato utilizada para encontrar los limites superiores e inferiores de las relaciones adimensionales típicas en este tipo de embarcaciones.

Tabla 4. Relaciones adimensionales del proyecto

	L/B	B/D	T/D	L/D
Rango	4,46 – 6	2 – 3,08	0,34 – 0,95	11,25 – 17,24
Proyecto	5,70	2,25	0,65	12,84

6.3. Resistencia al avance en relación a líneas de forma

El estudio de la resistencia al avance de una embarcación juega un papel importante en conjunto con la parametrización de líneas de forma que se realizarán para seleccionar el casco más apropiado para navegar en el mar Caribe, aunque con solo este resultado no se puede tomar una conclusión, ya que el confort de casco en el estudio del comportamiento en el mar tiene un rol importante a la hora de la selección final en este proyecto. En este estudio no se realizará un análisis de comportamiento en el mar, en inglés seakeeping, para los cascos propuestos.

Para hacer el análisis de resistencia se definirán varios cascos de acuerdo a las dimensiones principales obtenidas anteriormente, se cambiara la forma de proa y popa, teniendo así, dos tipos diferentes de espejo en popa, y dos tipos diferentes de proa, haciendo un total de 4 formas a estudiar.

- Popa 1: esta popa está definida con un espejo en secciones triangulares como se muestra en la figura 17 y 18, quedando denominada en este proyecto como popa tipo V.
- Popa 2: esta popa está definida con un espejo en secciones en U, como se muestra en la Figura 15 y 16, quedando denominada en este proyecto como popa tipo U.

Además se han definidos líneas de formas para la proa, haciéndolas cada vez más suaves para tener radios en las curvas de áreas más redondeadas, por lo tanto para la denominación en este estudio, los cascos quedaron denominados como popa tipo U, V y proa de forma 1, y 2. Por lo tanto para nomenclatura del proyecto se tendrán las siguientes notaciones como se muestran en la Tabla 3.

Tabla 5. Nomenclatura de Cascos a Estudiar

Nombre	Notación
Popa tipo U, proa 1	UFSV1
Popa tipo V, Proa 1	VFSV1
Popa tipo U, Proa 2	UFSV2
Popa tipo V, Proa 2	VFSV2

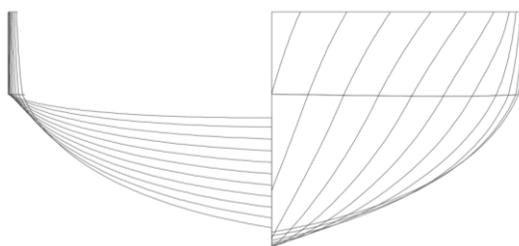


Figura 15. Popa tipo U, con Proa 1 (Fuente Propia)

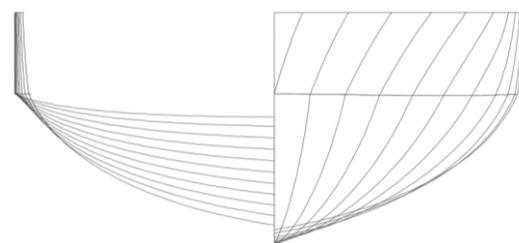


Figura 16. Popa tipo U, con Proa 2 (Fuente Propia)

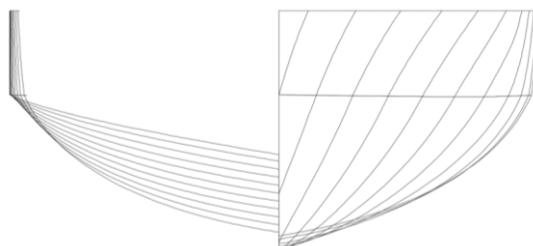


Figura 17. Popa tipo V, con Proa 1 (Fuente Propia)

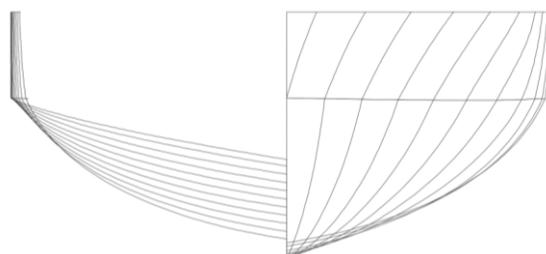


Figura 18. Popa tipo V, con Proa 2 (Fuente Propia)

Ya con las proas y popas a estudiar definidas, podemos proceder a establecer un método estadístico para realizar el análisis de resistencia al avance con cada una de las formas de cascos establecidas. Un método muy eficaz para calcular estos valores es el publicado por Savitsky pre – planning, para embarcaciones de pre planeo como lo es este proyecto con una velocidad de 22 nudos. Existen muchos métodos más para poder hacerlo, pero en cada proyecto se debe definir cuál utilizar, ya que cada tipo de embarcación es diferente, por lo tanto los otros métodos pueden funcionar mejor para buques con comportamiento diferente.

Como primera fase de diseño y sin involucrar en enfoque propulsivo del proyecto, para la potencia necesaria de los motores se debe tener en cuenta que deben ser mayor a la potencia efectiva que necesita una embarcación para desplazarse sobre el mar, esto es debido a las diferentes perdidas que se relacionan con casco, ejes, entre otros, por lo tanto como primera aproximación del rendimiento propulsivo, se tomara un valor de 80%, recordando que este valor puede variar conforme vayan dando más vueltas en la espirar de diseño.

Relacionando las variables de proa, popa y resistencia al avance, observamos en la Figura 19 la potencia al freno necesaria para cada una de las formas de cascos estudiadas.

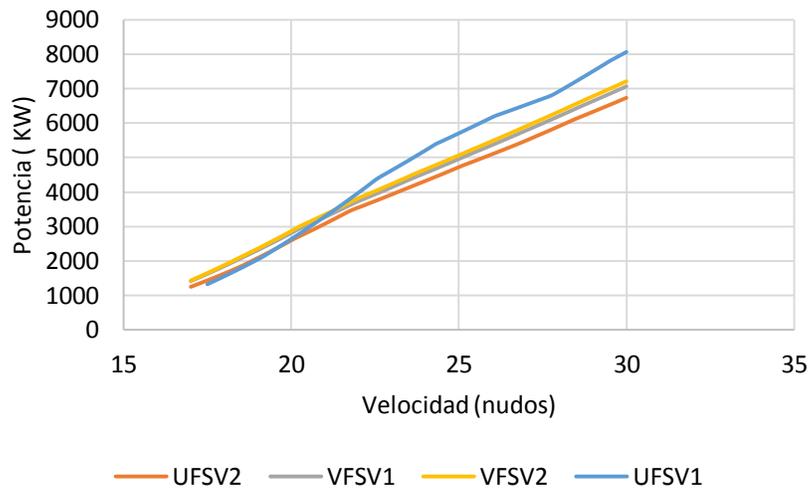


Figura 19. Potencia necesaria en relación con forma de Proa y Popa

Desde el punto de vista de resistencia al avance, se puede observar que la forma de proa 2, en conjunto con la forma de popa en U (UFSV2) es la que mejor resultados de resistencia arroja, al igual que la forma de proa 1 con popa en V (VFSV1).

De las líneas de forma podemos notar una deficiencia en la definición de espacios, la zona de maquinaria en los cascos propuestos no es lo suficientemente grande para abarcar cuatro propulsores y tres generadores que servirán para suplir las necesidades de potencia y velocidad del proyecto. Por lo tanto a los mejores resultados obtenidos del análisis de resistencia al avance con un rendimiento propulsivo del 80% los cascos UFSV2, y VFSV1 son los mejores candidatos a para ser estudiados más a fondo, así que se procederá a ampliar la zona de máquinas y nuevamente observar cuál de las dos alternativas es mejor desde el punto de vista de resistencia al avance. En la Figura 20 se muestran los resultados de los dos cascos modificados.

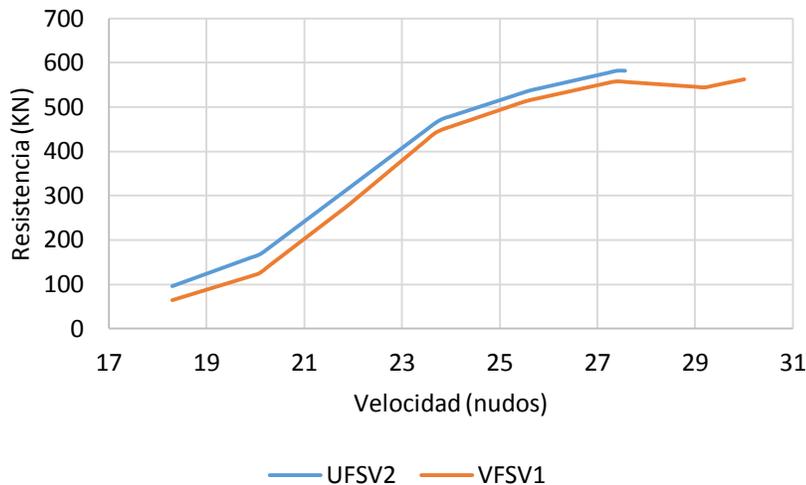


Figura 20. Relación de Resistencia al avance entre los dos cascos finales

La Figura 20 nos arroja un resultado que muestra que a pesar de que se mantienen las mismas dimensiones principales como lo son eslora, manga, puntal y calado, simplemente variando las líneas de forma del casco se pueden tener resultados negativos o positivos con relación a la resistencia al avance. Por lo tanto se ve claramente que para la configuración de popa en V y proa 1, es la mejor opción desde el punto de vista de resistencia al avance para continuar con los siguientes análisis en este proyecto. La figura 19 nos muestra las Líneas de forma finales que se utilizarán en el transcurso del desarrollo de la Metodología

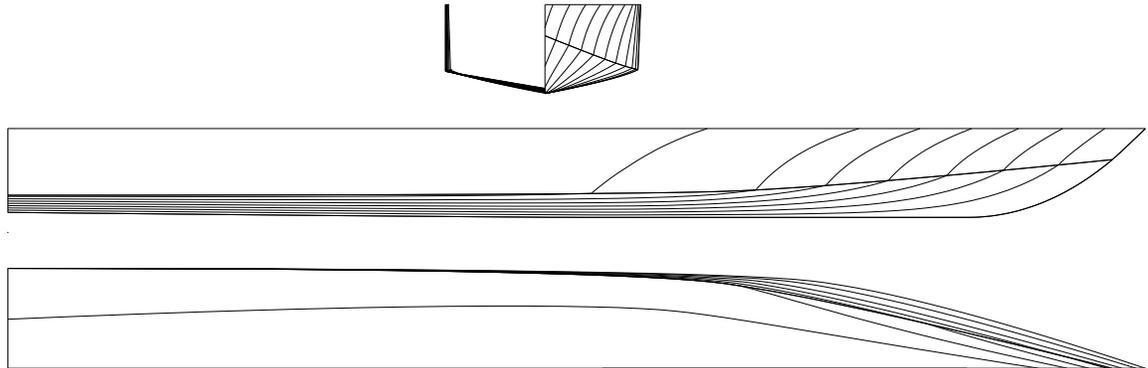


Figura 21. Líneas de forma seleccionadas VFSV1

Teniendo la Geometría de la embarcación, podemos utilizar algunas fórmulas donde solo se utilice las dimensiones principales para poder hacer una primera estimación de coordenada de centro de gravedad. (Alvariño, Azpiroz, & Meizoso, 1997)

$$KG_e = 1,02815D^{0,87945} \quad (5)$$

$$LG_e = 0,42962L_{pp} \quad (6)$$

Donde

KG_e : Centro de gravedad vertical estimado

LG_e : Centro de gravedad longitudinal estimado

D : Manga

L_{pp} : Eslora entre perpendiculares

Reemplazando los valores obtenemos los siguientes resultados

$$LG_e = 0,42962L_{pp} = 0,42962(48) = 20,621 \text{ metros} \quad (7)$$

Ahora para el cálculo de la distancia vertical del centro de gravedad se tiene que:

$$KG_e = 1,02815D^{0,87945} = 1,02815(4)^{0,87945} = 3,478 \text{ metros} \quad (8)$$

6.4. Peso en Rosca

El desplazamiento de un buque está definido como la suma del peso muerto y el peso en rosca de la embarcación. El peso muerto se encuentra todo lo que el casco pueda llevar, involucrando tanques, carga útil, personas, entre otros. El peso en rosca de una embarcación está definido como aquel peso del casco recién salido del astillero, incluyendo pesos de los motores, generadores, súper estructura y habitabilidad. (Alvariño, Azpíroz, & Meizoso, 1997)

De lo dicho en la referencia anterior el libro El proyecto del buque mercante define para la primera fase de diseño la estimación de tres grandes grupos que dan como resultado el peso en rosca del proyecto, estos son

- Elementos Estructurales
- Elementos del equipo y de la habitabilidad
- Conceptos de la maquinaria

Este cálculo es de concepto iterativo, eso quiere decir que en cada etapa del diseño se tiene que volver a calcular estos valores, la referencia anteriormente mencionada menciona rangos de errores permitidos en cada fase de diseño. (Alvariño, Azpíroz, & Meizoso, 1997)

- Primera Fase: 4-8% del peso en rosca y 10-15% del centro de gravedad
- Tercera Fase: 2-4% del peso en rosca y 6–10% del centro de gravedad
- Segunda Fase: Valores Intermedios.

6.4.1. Elementos Estructurales

Para calcular el peso en toneladas de los elementos estructurales se tiene la siguiente expresión de la referencia anteriormente mencionada:

$$W_{st} = Cs(L_{pp} \times B \times D + Sup) \quad (9)$$

Donde

Wst: Peso del acero

Lpp: Eslora entre perpendiculares

B: Manga

D: Puntal

Cs: Coeficiente calculado por la siguiente fórmula

$$Cs = Cso + 0,64 \exp(-0,50u - 0,10u^{2,45}) \quad (90)$$

Siendo $u = \log\left(\frac{\Delta}{100}\right)$

Sup: si no se conoce Sup se puede estimar de la siguiente manera

$$Sup = 0,8 \times B \times (1,45 \times L_{pp} - 11) \quad (101)$$

La constante Cso se indica en Tabla 6.

Tabla 6. Valor Cso por tipo de embarcación (Alvariño, Azpíroz, & Meizoso, 1997)

Tipo	Cso
Granelero	0,0700
Petrolero VLCC	0,0645
Petrolero	0,0752
P. Productos	0,0664
Carga General de 1Cta	0,0700
Id 2Ctas	0,0760
Id 3Ctas	0,0820
Frigoríficos	0,0609
Remolcadores	0,0892
Buques de Suministro	0,0974

Reemplazando las variables en la Ecuación 9 tenemos como resultado que el peso de los elementos estructurales se aproxima a un valor de

$$W_{st} = 292,29 \text{ toneladas}$$

6.4.2. Equipo y habitabilidad

Para el cálculo del peso del grupo equipo y habitabilidad, se utiliza la fórmula referenciada en el libro el proyecto del buque mercante como una ecuación específica para buques de suministro. (Alvariño, Azpíroz, & Meizoso, 1997)

$$W_{OA} = 0,045 \times L_{pp} \times B \times D \quad (112)$$

Donde:

Woa: Peso de Equipo y Habitabilidad

Lpp: Eslora entre perpendiculares

B: Manga

D: Puntal

Por lo tanto reemplazando en la ecuación 12 se tiene que

$$W_{OA} = 0,045 \times 48 \times 9 \times 4 \quad (123)$$

$$W_{OA} = 77,76 \text{ toneladas}$$

6.4.3. Conceptos de la maquinaria

Del libro el proyecto del buque mercante se obtiene una fórmula específica para calcular el peso por concepto de la maquinaria para buques de suministro. (Alvariño, Azpíroz, & Meizoso, 1997)

$$W_Q = 92 - 0,0076 \times MCO + 2,8 \times 10^{-7} \times MCO^2$$

Donde

Wq: Peso por Conceptos de la maquinaria

MCO: Potencia entregada por motor

Por lo tanto del análisis de resistencia se obtiene un valor de potencia al freno de 4066,088 KW, seleccionando así como primera estimación un motor de la empresa Wartsila, modelo 6L20 (Wartsila) con una potencia continua suministrada por los motores de 1200 KW

$$W_Q = 92 - 0,0076 \times 1200 + 2,8 \times 10^{-7} \times (1200)^2 \quad (134)$$

$$W_Q = 83,28 \text{ toneladas}$$

Teniendo las pesos de los tres grupos principales, se tiene que

$$LS = W_{st} + W_Q + W_{OA} \quad (145)$$

Donde:

LS: Peso en rosca de la embarcación

Wst: Peso del acero

Wq: Peso por concepto de maquinaria

Woa: Peso por equipo y habitabilidad.

Reemplazando estos valores tenemos como resultado

$$LS = 229,29 + 83,28 + 77,76 = 453,33 \text{ ton}$$

7. DIMENSIONAMIENTO

En este apartado se establece las fórmulas matemáticas para estimar los coeficientes de carena, área de flotación, volumen sumergido y por ende el desplazamiento del casco, de igual manera se hará uso del software Maxsurf modulo de estabilidad para así validar los datos que se calcularán a continuación.

Los coeficientes de formas son aquellos que estandarizan las embarcaciones según sea su función, utilizando comparaciones entre datos como su desplazamiento, dimensiones, y la geometría del casco, dicho esto se puede asociar los coeficientes de forma como una estandarización de la geometría del casco según sea su utilidad (Larreña, 2015)

Entre estos coeficientes tenemos

- Coeficiente de bloque
- Coeficiente prismático
- Coeficiente sección media
- Coeficiente de flotación

Cada uno de ellos una brinda una información sobre como sería la geometría de la embarcación que se está diseñando.

Un valor importante está definido como número de Froude

$$FN = V / \sqrt{g \times L_{wl}} \quad (15)$$

Donde:

V: Velocidad en metros por segundo,

g es la gravedad 9,81 metros sobre segundos cuadrados

Lwl: Eslora de línea de agua

7.1. Coeficiente de Bloque

El coeficiente de boque es aquel que relaciona el volumen desplazado y las dimensiones principales LBP, B, y T (Lewis, 1988).

$$C_b = \frac{\text{Volumen desplazado}}{\text{eslora entre perpendiculare} \times \text{Manga} \times \text{Calado}} = \frac{DW + LS}{\rho \times L_{pp} \times B \times T} \quad (16)$$

$$C_b = \frac{753,33}{1,025 \frac{kg}{m^3} \times 48m \times 9m \times 2,6m} = 0,65$$

7.2. Coeficiente Sección Media

Este coeficiente se ve muy relacionado con la resistencia al avance, asociándolo a las curva de área del buque, la correcta selección del coeficiente de sección media, obliga a la embarcación a tener menos resistencia al avance, y mejorar el rendimiento propulsivo de la misma. (Alvariño, Azpíroz, & Meizoso, 1997)

Para este coeficiente se utilizará estimaciones de regresiones estadísticas publicadas por diferentes autores a lo largo de los años que se dedicaron a estudiar el comportamiento de los coeficientes de carenas con respecto a la resistencia al avance de la embarcación, este coeficiente se encuentra definido como la relación entre el área de la sección media entre el producto de las dimensiones manga y calado.

$$C_m = \frac{1}{1 + (1 - C_b)^{3,5}} = \frac{1}{1 + (1 - 0,65)^{3,5}} = 0,97 \quad (17)$$

7.3. Coeficiente Prismático

Este coeficiente se encuentra definido como la relación que existe entre el coeficiente de bloque y el coeficiente de la sección media, para estimar este coeficiente se sigue las recomendaciones dadas por el libro El proyecto del buque mercante (Alvariño, Azpíroz, & Meizoso, 1997), donde este valor se elige aproximadamente siguiendo dos curvas que muestran el valor mínimo y máximo que este puede tener. Estas curvas están dadas por la siguiente ecuación

$$C_p = c_1 + c_2 FN + c_3 FN^2 + c_4 \ln(FN) + c_5 (\ln(FN))^2 \quad (18)$$

Donde

Coef	inf	sup
c1	-36.6	-34.6
c2	57.51	53.9
c3	-22.2	-20.3
c4	-23	-22
c5	-3.97	-3.86

En la Figura 22 aparecen los mínimos y máximos de coeficiente prismático.

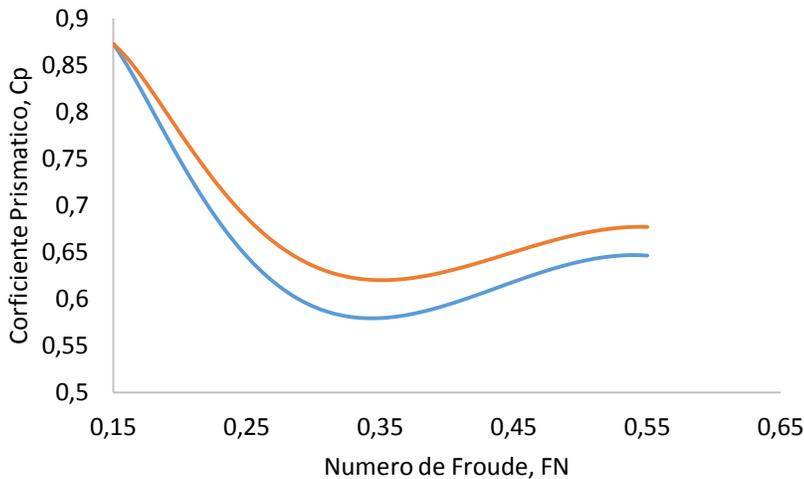


Figura 22. Coeficiente Prismático en relación a FN (Alvariño, Azpíroz, & Meizoso, 1997)

Al analizar la Figura 22 se puede ver que se tienen los siguientes valores de coeficientes prismáticos con un número de Froude de 0,48 perteneciente a una velocidad de 21 nudos.

$$C_{pmin} = 0,63; \quad C_{pmax} = 0,66;$$

$$C_p = \frac{0,66+0,63}{2} = 0,645$$

7.4. Coeficiente de Flotación

Para calcular el coeficiente de flotación se relaciona el área que se muestra en el plano de flotación de un buque con la eslora de línea de agua y su manga. (Lewis, 1988)

$$C_f = \frac{A_f}{L_f * B} \quad (19)$$

De igual manera para estimar el coeficiente de flotación se toma la fórmula que es utilizada según el libro EL proyecto básico del Buque Mercante asociados a buques de servicio, categoría donde se encuentra ubicada la embarcación proyecto tipo FSV

Fórmula de Schneekluth Secciones normales

$$C_f = \frac{1 + 2C_b}{3} = \frac{1 + 2 * 0,63}{3} = 0,69 \quad (20)$$

7.5. Longitud de centro de carena (LCB)

Existe un valor de posición longitudinal del centro de carena óptimo la cual satisface consideraciones hidrodinámicas y asientos de la embarcación en las diferentes condiciones de cargas a la cual está sometida. Este es calculado con la siguiente fórmula (Alvariño, Azpíroz, & Meizoso, 1997)

$$LCB = 17,5 \times C_p - 12,5 = -1,21\% \quad (21)$$

7.6. Dimensionamiento de Tanques

7.6.1. Tanques de Combustible

Para este cálculo se requieren los resultados propulsivos de la embarcación, por lo tanto para una velocidad de 22 nudos, se requiere una potencia diseño de 4066,088 KW, considerando un rendimiento propulsivo de 80% como primera fase de diseño. Conocemos la autonomía de la embarcación proyecto y este es de 6 días, dando un total de 144 horas. El combustible Diesel marine, posee una densidad de 849 kilogramos sobre metros cúbicos, para un cálculo inicial se puede tomar un consumo específico de los motores de 183 gramos sobre KW por hora. Téngase en cuenta que este valor es una primera estimación para el valor real de los tanques, ya que se necesita hacer un análisis de pérdidas detalladamente para poder hallar la potencia real requerida por los motores.

$$V_{comb} = 183 \frac{g}{KW \text{ horas}} \frac{(144 \text{ horas})}{840 \frac{kg}{m^3} \left(\frac{1000 g}{1 kg} \right)} (4066,088 KW) \quad (22)$$

$$V_{comb} = 127,55 m^3$$

A este valor se le aumenta en un 4% por cuestiones de aceros que conforman el tanque por lo tanto.

$$V_{comb} = 127,55(1,04) = 132,66 m^3 \quad (23)$$

7.6.2. Tanques de agua dulce

El agua dulce influye las necesidades de las personas como agua potable y agua, para consumo diario, aguas sanitarias, y además de eso se incluyen dentro de las necesidades de refrigeración de los equipos y las calderas, como referencia en el libro el proyecto básico del buque mercante, se recomienda valores de 150 y 200 litros por persona diario (Alvariño, Azpíroz, & Meizoso, 1997). Por lo tanto como una acomodación de 65 personas se tiene el siguiente calculo

$$V_{agua_pasajeros} = 200 \frac{l}{persona \cdot dia} \left(\frac{1m^3 \cdot 6 dia \cdot 65 persona}{1000l} \right) \quad (24)$$

$$V_{agua_pasajeros} = 78 m^3$$

Al igual que el proceso de dimensionamiento de tanque de combustible, se le agrega 4% que involucra los espacios de aceros en el tanque, esto es

$$V_{agua_pasajeros} = 78(1,04) = 81,12 m^3 \quad (25)$$

Igualmente se realiza el cálculo para el agua de la tripulación que se conforma de 10 personas

$$V_{agua_trip} = 200 \frac{l}{persona \cdot dia} \left(\frac{1m^3 \cdot 6 dia \cdot 10 persona}{1000l} \right) \quad (26)$$

$$V_{agua_trip} = 12 m^3$$

$$V_{agua_trip} = 12,48 m^3$$

7.7. Resumen dimensionamiento

Al final de todos los cálculos y estimaciones hechas durante todo el trascurso de la conceptualización del dimensionamiento de la embarcación proyecto, se tiene una serie de valores que después se validarán con el software Maxsurf y se detallarán cada uno de los errores porcentuales obtenidos en los cálculos anteriores con relación a los resultados arrojados por la herramienta computacional. Por lo tanto se tiene en resumen las siguientes características de la embarcación proyecto.

Especificaciones de Diseño

Tipo de Buque:	FSV (Fast Supply Vessel)
Peso Muerto:	300 toneladas
Velocidad:	22 nudos
Acomodación:	75 personas
Autonomía:	6 días

Tabla 7. Resumen características principales del proyecto (Fuente Propia)

Principales dimensiones				
Variables	Unidad	Calculado	Maxsurf	E%
Eslora entre perpendiculares (LBP)	Metros	48	48	0,00%
Manga (B)	Metros	9	9	0,00%
Puntal (D)	Metros	4	4	0,00%
Calado (T)	Metros	2,6	2,6	0,00%
Peso Muerto (TPM)	Tonelada	300	300	0,00%
Velocidad (v)	Nudos	22	22	0,00%
Acomodación	Persona	75	75	
Desplazamiento (Δ)	Tonelada	753,33	743	1,39%
Coefficiente de bloque (Cb)		0,65	0,645	0,78%
Coefficiente sección media (Cm)		0,97	0,81	19,75%
Coefficiente prismático (Cp)		0,645	0,83	22,29%
Coefficiente de flotación (Cf)		0,69	0,83	16,87%
LCB, %		-5,81	-1,21	380,17%
Numero de Froude (Fr)		0,48	0,48	0,00%

De acuerdo a la tabla 7, podemos notar el primer error notable a la hora de calcular parámetros del caso proyecto, es LCB, Estos errores se deben a que las fórmulas planteadas por el libro el proyecto del buque mercante, involucran líneas de forma más llenas, como lo son los buques de desplazamiento, por lo tanto estas fórmulas funcionan con una confiabilidad alta cuando se relacionan a la estimación de coeficientes de carenas de embarcaciones como buques petroleros, porta contenedores, etc., por lo tanto, se continuará con los resultados establecidos por el software, ya que en las demás variables se logran notar errores aceptables dentro de la primera fase de diseño.

8. ARREGLO GENERAL

El arreglo general de una embarcación se utiliza para mostrar sobre un plano la ubicación de algunos de los componentes principales que el casco posee (Larreña, 2015), dentro de esto podemos considerar la ubicación de los motores, repartición de mamparos y disposición de tanques, este tipo de embarcación se diseñará para el transporte de personal y carga sobre cubierta, por lo tanto no contará con ningún tipo de tanques especiales, limitándose así a tanques de combustible y agua potable.

Se tienen que tener en cuenta los requisitos del proyecto, para esto se tiene que:

Eslora máxima: 51,34m metros

Peso muerto: 300 toneladas

Velocidad: 22 nudos

Reglamento y Sociedad clasificadora: Lloyd's Register, Solas, Marpol

Para definir los espacios y la configuración estructural del proyecto, se tiene como entrada las líneas de formas del casco seleccionado como mejor opción con relación a un análisis de resistencia al avance anteriormente, por lo tanto para cada uno de estos análisis se obtuvo un resultado que facilitarán el cálculo para poder determinar las capacidades de tanques que se instalarán sobre la embarcación. Además con la información de la capacidad de personas a la cual se diseñará el proyecto, se puede determinar el volumen de tanque de agua potable para suplir las necesidades al número de personas que irán a bordo. Como salida de este capítulo se obtendrán:

Disposición de los mamparos

1. Longitudinales zonas de carga
2. Espaciado entre cuadernas y habitabilidad
3. disposición de tanques
4. Zonas de cámara de maquina
5. Alturas de doble fondo
6. Alturas de cubierta

8.1. Cuadernas

La Cuaderna es una pieza fundamental en la estructura del barco, está situada de manera transversal y es aquella que unida en la parte inferior con la quilla, dan la forma del casco.

La clara entre las cuadernas juega un papel fundamental a la hora de realizar la primera iteración del arreglo general de la embarcación, para ello tendremos varios aspectos que resaltaremos a continuación

- Se dispondrán de claras equis espaciadas para reducir costos de construcción. (Larreña, 2015)
- Se situara la cuaderna 0 en la perpendicular de popa, donde se dos timones en cada uno en las hélices de babor y estribor. (Larreña, 2015)

Tenemos que la sociedad clasificadora Lloyd's Register en la parte 4, capítulo 1, sección 7, tabla 1.7.1, se refiere a que la distancia entre la clara de las cuadernas debe tener un valor de (Lloyd's Register):

$$s = 2(L + 240) \quad (27)$$

Donde L es la eslora en metros medida a un calado T, el resultado es en mm por lo tanto este valor es de 50 metros reemplazando en la ecuación 28, se tiene que

$$s = 2(L + 240) = 580 \text{ mm} \quad (28)$$

El mínimo valor que puede tener la clara entre cuadernas es de 580 mm, se optará por tomar un valor de 600 mm. (Larreña, 2015)

Las bulárcamas coincidirán con la posición de las cuadernas, estos definirá las dimensiones de los tanques que se instalarán, se opta por colocar una bulárcama cada 4 cuadernas, por lo tanto la clara entre bulárcamas tendrá un valor de 2400 mm.

8.2. Pique de Proa

Este es un mamparo estanco ubicado a proa del barco, este según Sociedad clasificadora la distancia debe estar comprendida entre $0,05L_{wl}$ y $0,05L_{wl} + 3$ metros de la perpendicular de proa hacia la popa. (Lloyd's Register)

$$0,05L_{wl} = 0,05(50) = 2,5 \text{ metros} \quad (29)$$

$$0,05L_{wl} + 3 = 0,05(50) + 3 = 5,5 \text{ metros} \quad (30)$$

8.3. Mamparos

La tanto la Sociedad clasificadora Lloyd's Register define en la parte 3, capítulo 3, sección 4, tabla 3.4.1, el número de mamparos estancos que se debe instar en las embarcaciones de diferentes esloras. (Lloyd's Register)

Tabla 8. Número total de mamparos (*Lloyd's Register*)

Length, L, in metres	Total number of bulkheads	
	Machinery amidships	Machinery aft, see Note
≤ 65	4	3
> 65 ≤ 85	4	4
> 85 ≤ 90	5	5
> 90 ≤ 105	5	5
> 105 ≤ 115	6	5
> 115 ≤ 125	6	6
> 125 ≤ 145	7	6
> 145 ≤ 165	8	7
> 165 ≤ 190	9	8
> 190	To be considered individually	

NOTE
With after peak bulkhead forming after boundary of machinery space.

Por lo tanto para un proyecto de eslora 51,34 metros y con maquinaria sección media, se tiene que el número de mamparos transversal a instalar deben ser 4. Para definir la ubicación de los mamparos se utilizará la teoría de curvas de esloras inundables, esto nos definirá la distancia que debe haber entre cada mamparo transversal. Esta teoría muestra curvas de esloras inundables con varios valores de permeabilidad que se muestran en la Tabla 8 en cada compartimiento, por lo tanto utilizando el software maxsurf una de sus entradas es este valor.

Tabla 9. Valores de permeabilidad por espacios (SOLAS, 1997)

Espacios	Permeabilidad
Appropriated to stores	0.60
Occupied by accommodation	0.95
Occupied by machinery	0.85
Void spaces	0.95
Intended for liquids	0 or 0.95

Por lo tanto se dispondrán de mamparos estancos transversales de la siguiente manera, En la Figura 23 se puede observar las curvas de esloras inundables.

- Mamparo de colisión, estación 78
- Mamparos estancos, estaciones 8, 20, 36, 44, 48, 52, 60, 72

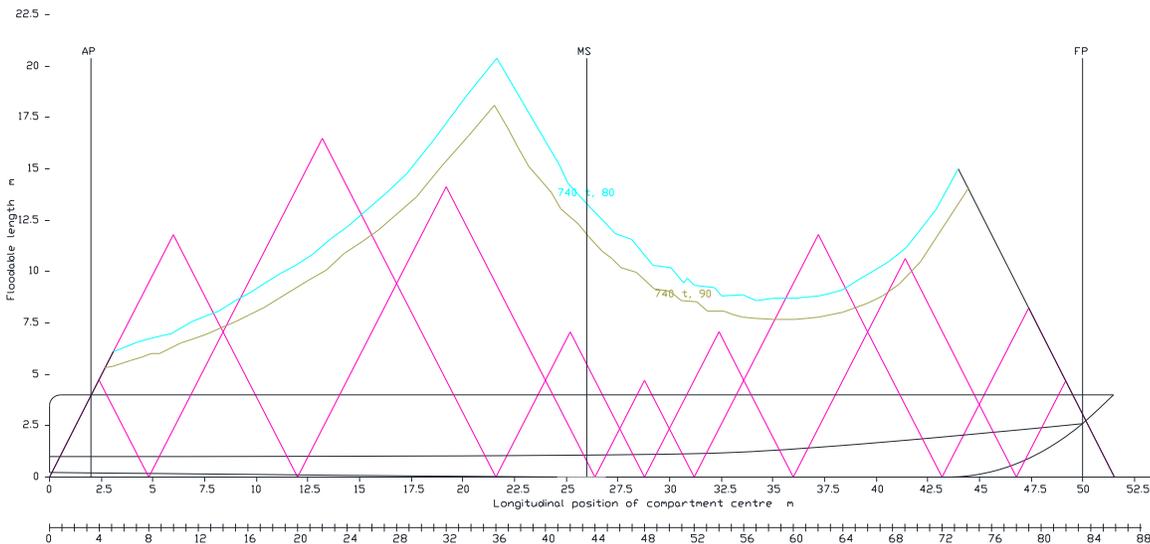


Figura 23. Curva de esloras inundables

La descripción de cada compartimiento se definen como

- Estación 0 hasta 8: Espacio para la ubicación del sistema de gobierno
- Estación 8 hasta 20: Zona de Generación eléctrica
- Estación 20 hasta 36: Zona de maquinaria
- Estación 36 hasta 44: Espacio destinado a tanques de combustible
- Estación 46 hasta 48: Espacio destinado a tanques de agua dulce
- Estación 52 hasta 72: Espacio destinado para habitabilidad
- Estación 72 hasta 78: Espacio destinado para los empujadores transversales
- Estación 78 en adelante: Espacio destinado para mamparo de colisión

8.4. Doble Fondo

La altura de doble fondo viene dada por las siguientes fórmulas

- Convenio Solas:

La altura de doble fondo estará dada por (SOLAS, 1997):

$$760 \leq h = 1000 \left(\frac{B}{20} \right) (mm) \leq 2000 \quad (31)$$

Reemplazando manga en la ecuación 32 se tiene que:

$$h = 1000 \left(\frac{9}{20} \right) (mm)$$

$$h = 450 \text{ mm}$$

Se opta por el valor de 760 mm.

- SC Lloyd's Register:

La altura de doble fondo, se tomará como el mayor de los siguientes valores (Lloyd's Register)

$$d_{bd} = 28B + 205\sqrt{T} \text{ mm} \quad (32)$$

$$d_{ab} = 50B \text{ pero no mayor que } 2000\text{mm} \quad (33)$$

$$d_{ab} = 760 \text{ mm} \quad (34)$$

Reemplazando el valor de la manga en la ecuación 33, 34 y 35 se tiene que:

$$d_{bd} = 28(9) + 205\sqrt{2,6} = 582,55 \text{ mm}$$

$$d_{ab} = 50(9) = 450\text{mm}$$

$$d_{ab} = 760 \text{ mm}$$

Por lo tanto se tomará el mayor valor 760 mm coincidiendo con el valor del convenio Solas, se opta por colocar una altura de doble fondo de 800 mm.

8.5. Cubiertas

Este es otro factor importante a la hora de realizar el arreglo general de la embarcación, pues de aquí se definen las alturas a las cuales se encontrará cada cubierta en el casco.

La distribución de las cubiertas queda definida de la siguiente manera:

- Doble fondo: Esta cubierta se ubicará a una distancia de 800 mm sobre la línea base del proyecto, esta distancia será utilizada en la zona de máquinas, propulsores transversales y en los tanques del fondo del casco.
- 1º cubierta: Esta se ubicará a una altura de 4000 mm desde la línea base, sobre esta se dispone una zona de carga hacia popa, y una zona de habitabilidad hacia proa.
- Cubierta 01: sobre esta cubierta se ubica el puente de gobierno, está a una distancia de 6570 mm de la línea base del proyecto
- Cubierta 02: Sobre esta se encuentran todos los equipos de telecomunicación, radar, entre otros, está a una distancia de 9000 mm de la línea base.

Después de definir las alturas entre las cubiertas, la altura de doble fondo, y además definir la ubicación de los mamparos estancos que van a través de todo el casco, se puede definir una primera iteración de cómo puede verse la embarcación proyecto de tipo FSV con necesidades del mar Caribe. En la Figura 24 se observa el arreglo general del proyecto.

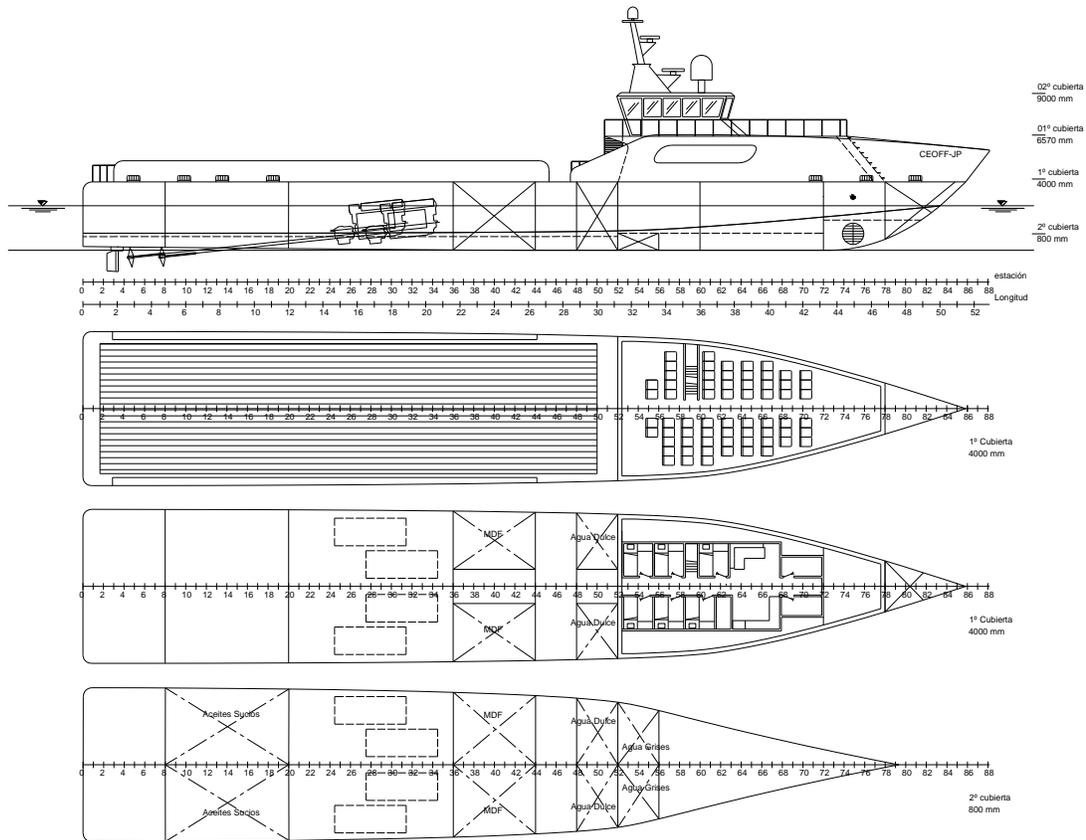


Figura 24. Arreglo General proyecto (Fuente Propia)

Cabe resaltar que el alcance de este proyecto se enfoca hacia las características principales que debe tener la embarcación proyecto, por lo tanto, el análisis detallado de la potencia generada por los motores, e igualmente la entregada por los generadores, los detalles de los tanques de aceites, de rebose, lubricantes, entre otros, son análisis que se efectúan después de un diseño conceptual, explicando así, que este proyecto funciona como base para futuros proyectos donde involucre los detalles anteriormente mencionados.

9. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Este análisis de estabilidad toma como variable de entrada las dimensiones anteriormente calculadas, para comprobar si cumple con los requisitos de estabilidad a pequeños y grandes ángulos de la embarcación. Este proceso se hace verificando los criterios que presenta la organización marítima internacional, (IMO por sus siglas en inglés), estos son nombrados como IMO A.749, donde incluye todo los valores permisibles de estabilidad para todo tipo de embarcaciones y también algunos en específicos. Se hará uso del software Maxsurf módulo de estabilidad, donde facilita la verificación de estos criterios, y además ayuda en los cálculos de estabilidad

El análisis de estabilidad a grandes ángulos, utiliza como metodología escorar el casco, esto significa inclinar la embarcación hacia un costado transversalmente, y evaluar el comportamiento de la proyección GZ como se muestra en la Figura 25. El valor GZ tiene como unidades metros por radianes ya que evalúa la distancia entre estos dos puntos con relación al ángulo de escora.

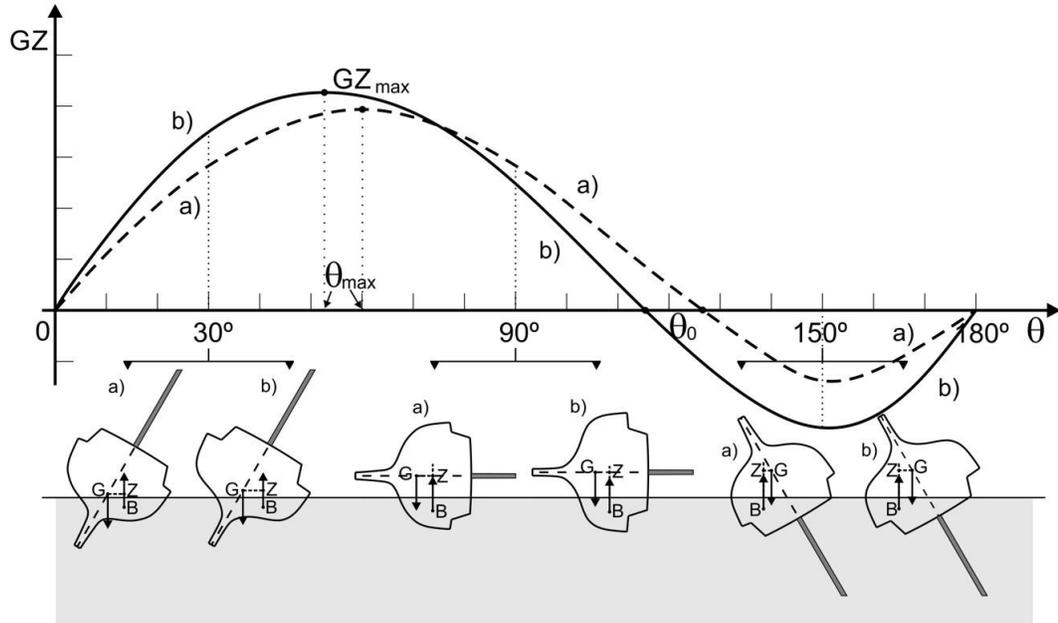


Figura 25. Curva GZ de estabilidad (diseñovelerosmaltipo)

Con este comportamiento la organización marítima internacional ha definido una serie de valores que debe cumplir toda embarcación para que cumpla las condiciones de estabilidad. (OMI)

- 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 30° , ni inferior a 0,09 m.rad hasta un ángulo de escora de 40° , o hasta el ángulo de inundación θ_c , si es inferior a 40° . Además, el área bajo la curva de brazos adrizantes (Curva de brazos GZ) entre los ángulos de 30° y 40° o de 30° a θ_c , si este ángulo es inferior a 40° , no será inferior a 0,03 m.rad
- El brazo adrizante GZ será como mínimo de 0,20 m a un ángulo de escora igual o superior a 30°
- El brazo adrizante máximo corresponderá a un ángulo de escora preferiblemente superior a 30° pero no inferior a 25° .
- La altura metacéntrica inicial GMO , no será inferior a 0,15m

Además de eso, se tienen criterios de estabilidad específicos para buques de suministro, estos son los siguientes (OMI):

- El área bajo la curva de brazos adrizantes (Curva de brazos GZ) no será inferior a 0,0700 m.rad hasta un ángulo de 15° , si el brazo adrizante máximo (GZ) se da un ángulo igual o inferior a 15° , o de 0,055 m.rad hasta un ángulo de 30° , si el brazo adrizante máximo (GZ) se da un ángulo igual o superior a 30° . Cuando el brazo adrizante máximo (GZ) se dé a un ángulo comprendido entre 15° y 30° , el área correspondiente bajo la curva de brazos adrizantes será a:

$$0,055 + 0,001(30^\circ - \theta_{max}) \text{ m.rad} \quad (35)$$

- El área bajo la curva de brazos adrizantes (curva de brazos GZ) entre los ángulos de escora de 30 y 40, o entre 30 y θ_c , si este ángulo es inferior a 40, no será inferior a 0,03 m.rad.
- El brazo adrizante (GZ) será de 0,20 m como mínimo a un ángulo de escora igual o superior a 30
- El brazo adrizante máximo (GZ) se dará a un ángulo no inferior a 15.
- La altura metacéntrica transversal inicial (GMO) no será inferior a 0,15 m.

Para el análisis de condición de estabilidad a grandes ángulos debemos definir ciertas situaciones de carga, esto nos servirá como entrada para poder utilizar el software Maxsurf, ya que se deben definir situaciones de carga para así realizar los respectivos cálculos, Las situaciones de carga se encuentran definidas como (OMI).

- Buque en la condición de salida a plena carga, distribuida ésta bajo cubierta y con una cubertada de posición y peso especificados y la totalidad de provisiones y combustibles, según corresponda a la condición de servicio más desfavorable en que satisfaga todos los criterios de estabilidad pertinentes.
- Buque en la condición de llegada a plena carga, tal como se indica en .1, pero con solo el 10% de provisiones y combustible.
- Buque en la condición de salida en lastre y sin carga, pero con la totalidad de provisiones y combustible.
- Buque en la condición de llegada en lastre y sin carga, con sólo el 10% de provisiones y combustible.
- Buque en las peores condiciones operacionales previstas.

Por lo tanto para definir las condiciones de carga se tiene lo siguiente

Tabla 10. Situaciones de Carga (OMI)

Situación de carga	Carga	Provisiones	Combustible
1	100%	100%	100%
2	100%	10%	10%
3	0	100%	100%
4	0	10%	10%

Se hace el supuesto de 75 kg por pasajeros, se permite reducir este valor, pero nunca va a ser menor a 60 kg, además de eso, para los centros de gravedad vertical, se supondrá una altura de 1 metro por encima del nivel de la cubierta cuando se encuentran de pie, y una altura de 0,3 metros por encima de los asientos cuando los pasajeros están sentados. Estos deben estar ubicados en la zona habitual para analizar los criterios de estabilidad (OMI).

9.1. Situación de Carga 1

Tabla 11. Situación de Carga 1

Situación de carga	Carga	Provisiones	Combustible
1	100%	100%	100%

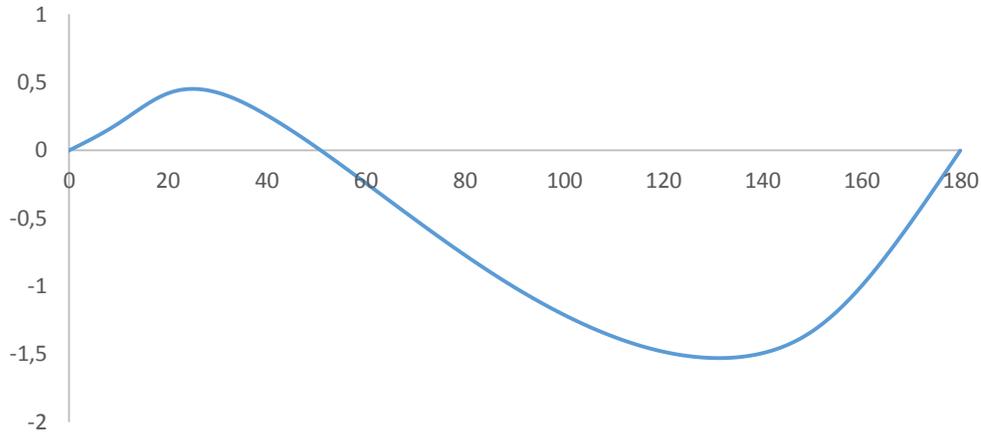


Figura 26. Curva GZ Situación de Carga 1

Tabla 12. Criterios de Estabilidad Situación de Carga 1

A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.1: Área de 0 a 30				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	3,1513	m.deg	8,5618	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.1: Área de 0 a 40				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	5,1566	m.deg	12,0812	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.1: Área de 30 a 40				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	1,7189	m.deg	3,5195	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.2: Max GZ a 30° o superior				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	0,2	m	0,426	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.3: Ángulo de máximo GZ				Fail
	No deberá ser menor que (\geq)	25	deg	24,5	Fail

A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.4: GMt Inicial				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	0,15	m	1,101	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Viento y balance				Pass
	Criterio:				Pass
	Ángulo de escora de equilibrio no deberá ser mayor que (\leq)	16	deg	1,4	Pass
	Ángulo de escora de equilibrio / ángulo de inmersión de borde de cubierta no deberá ser mayor que (\leq)	80	%	8,91	Pass
	Área1 / Área2 no deberá ser menor que (\geq)	100	%	176,28	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.1: Área GZ entre 0 y en ángulo máximo de GZ				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	3,4638	m.deg	6,1363	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.2: Área de 30 de 40				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	1,7189	m.deg	3,5195	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.3: Max GZ a 30° o superior				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	0,2	m	0,426	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.4: Ángulo de máximo GZ				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	15	deg	24,5	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.5: GMt Inicial				Pass
	Deberá ser mayor que ($>$)	0,15	m	1,101	Pass

En esta situación de carga vemos que un criterio que es aplicable para todo tipo de embarcación falló, este pertenece al ángulo máximo de escora, esto se puede mejorar aumentando la dimensión de la manga para así lograr obtener un mejor comportamiento de balance, y por ende, aumentar el ángulo de escora.

9.2. Situación de Carga 2

Tabla 13. Situación de Carga 2

Situación de carga	Carga	Provisiones	Combustible
2	100%	10%	10%

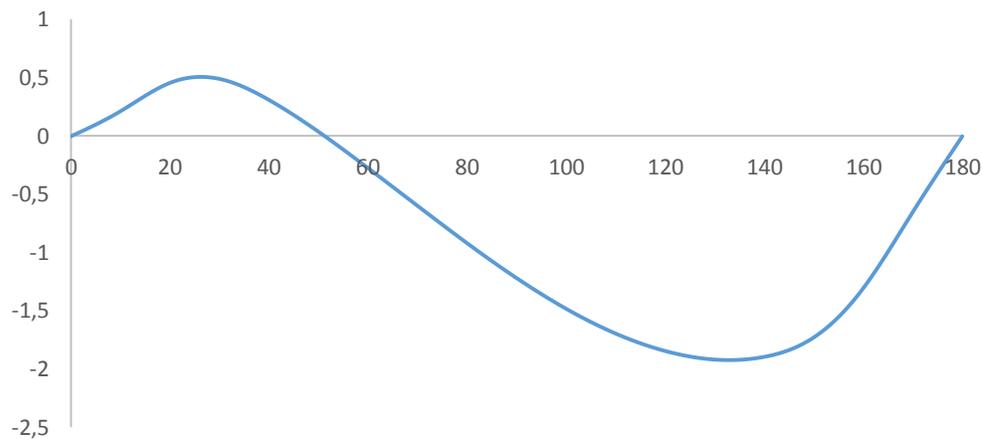


Figura 27. Curva GZ Situación de Carga 2

Tabla 14. Criterios de Estabilidad Situación de Carga 2

A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.1: Área de 0 a 30				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	3,1513	m.deg	9,429	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.1: Área de 0 a 40				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	5,1566	m.deg	13,58	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.1: Área de 30 a 40				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	1,7189	m.deg	4,149	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.2: Max GZ a 30º o superior				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	0,2	m	0,493	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño	3.1.2.3: Ángulo de máximo GZ				Pass

aplicable a todo tipo de embarcación					
	No deberá ser menor que (\geq)	25	deg	26,4	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.4: GMt Inicial				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	0,15	m	1,08	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Viento y balance				Pass
	Criterio:				Pass
	Ángulo de escora de equilibrio no deberá ser mayor que (\leq)	16	deg	1,8	Pass
	Ángulo de escora de equilibrio / ángulo de inmersión de borde de cubierta no deberá ser mayor que (\leq)	80	%	10,43	Pass
	Área1 / Área2 no deberá ser menor que (\geq)	100	%	176,1	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.1: Área GZ entre 0 y en ángulo máximo de GZ				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	3,3596	m.deg	7,597	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.2: Área de 30 de 40				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	1,7189	m.deg	4,149	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.3: Max GZ a 30º o superior				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	0,2	m	0,493	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.4: Ángulo de máximo GZ				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	15	deg	26,4	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.5: GMt Inicial				Pass
	Deberá ser mayor que ($>$)	0,15	m	1,08	Pass

Conforme al análisis de estabilidad en la situación de carga dos, cada uno de los resultados cumple con los criterios establecidos por la Organización Marítima Internacional, tanto para los aplicables para todo tipo de buque y aplicables para buques de suministro.

9.3. Situación de Carga 3

Tabla 15. Situación de Carga 3

Situación de carga	Carga	Provisiones	Combustible
3	0	100%	100%

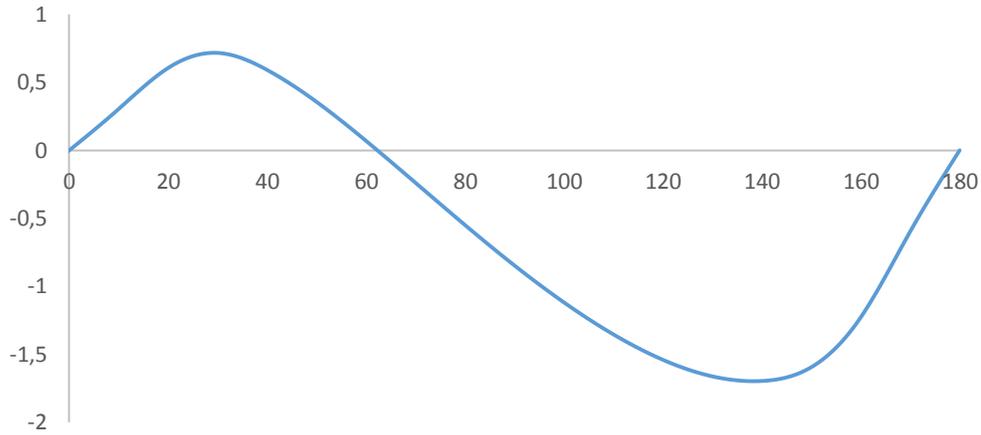


Figura 28. Curva GZ Situación de Carga 3

Tabla 16. Criterios de Estabilidad situación de Carga 3

A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.1: Área de 0 a 30				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	3,1513	m.deg	12,9391	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.1: Área de 0 a 40				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	5,1566	m.deg	19,6184	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.1: Área de 30 a 40				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	1,7189	m.deg	6,6793	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.2: Max GZ a 30º o superior				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	0,2	m	0,716	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.3: Ángulo de máximo GZ				Pass

	No deberá ser menor que (\geq)	25	deg	29,1	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.4: GMt Inicial				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	0,15	m	1,697	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Viento y balance				Pass
	Criterio:				Pass
	Ángulo de escora de equilibrio no deberá ser mayor que (\leq)	16	deg	1,2	Pass
	Ángulo de escora de equilibrio / ángulo de inmersión de borde de cubierta no deberá ser mayor que (\leq)	80	%	5,59	Pass
	Área1 / Área2 no deberá ser menor que (\geq)	100	%	221,92	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.1: Área GZ entre 0 y en ángulo máximo de GZ				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	3,2034	m.deg	12,2879	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.2: Área de 30 de 40				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	1,7189	m.deg	6,6793	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.3: Max GZ a 30º o superior				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	0,2	m	0,716	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.4: Ángulo de máximo GZ				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	15	deg	29,1	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.5: GMt Inicial				Pass
	Deberá ser mayor que ($>$)	0,15	m	1,697	Pass

Conforme al análisis de estabilidad en la situación de carga tres, y al igual que la evaluación de resultados en la situación de carga dos, cada uno de los resultados cumple con los criterios establecidos por la Organización Marítima Internacional, tanto para los aplicables para todo tipo de buque y aplicables para buques de suministro.

9.4. Situación de Carga 4

Tabla 17. Situación de Carga 4

Situación de carga	Carga	Provisiones	Combustible
4	0	10%	10%

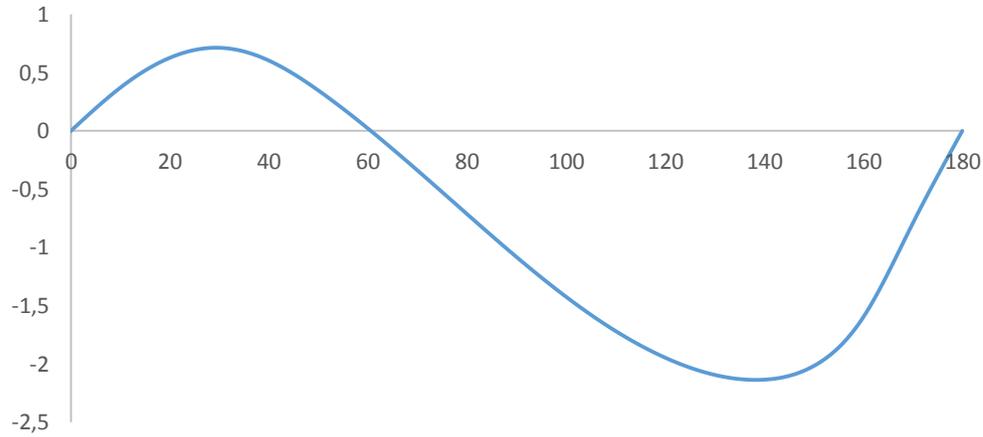


Figura 29. Curva GZ Situación de Carga 4

Tabla 18. Criterios de Estabilidad Situación de Carga 4

A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.1: Área de 0 a 30				Pass
	No deberá ser menor que (>=)	3,1513	m.deg	13,886	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.1: Área de 0 a 40				Pass
	No deberá ser menor que (>=)	5,1566	m.deg	20,6171	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.1: Área de 30 a 40				Pass
	No deberá ser menor que (>=)	1,7189	m.deg	6,7311	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.2: Max GZ a 30° o superior				Pass
	No deberá ser menor que (>=)	0,2	m	0,713	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño	3.1.2.3: Ángulo de máximo				Pass

aplicable a todo tipo de embarcación	GZ				
	No deberá ser menor que (\geq)	25	deg	29,1	Pass
A.749(18) Ch3 -Criterio de diseño aplicable a todo tipo de embarcación	3.1.2.4: GMt Inicial				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	0,15	m	1,931	Pass
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Viento y balance				Pass
	Criterio:				Pass
	Ángulo de escora de equilibrio no deberá ser mayor que (\leq)	16	deg	1,3	Pass
	Ángulo de escora de equilibrio / ángulo de inmersión de borde de cubierta no deberá ser mayor que (\leq)	80	%	4,57	Pass
	Área1 / Área2 no deberá ser menor que (\geq)	100	%	192,31	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.1: Área GZ entre 0 y en ángulo máximo de GZ				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	3,2034	m.deg	13,2376	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.2: Área de 30 de 40				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	1,7189	m.deg	6,7311	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.3: Max GZ a 30° o superior				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	0,2	m	0,713	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.4: Ángulo de máximo GZ				Pass
	No deberá ser menor que (\geq)	15	deg	29,1	Pass
4.5 Buques de suministro costa afuera	4.5.6.2.5: GMt Inicial				Pass
	Deberá ser mayor que ($>$)	0,15	m	1,931	Pass

Conforme al análisis de estabilidad en la situación de carga tres, y al igual que la evaluación de resultados en la situación de carga dos y tres, cada uno de los resultados cumple con los criterios establecidos por la Organización Marítima Internacional, tanto para los aplicables para todo tipo de buque y aplicables para buques de suministro.

CONCLUSIONES

Se seleccionaron líneas de forma que son las más apropiadas desde el punto de vista de resistencia al avance, para condiciones ambientales del Mar Caribe, conociendo que estas, fueron seleccionadas con un criterio de embarcaciones de altas velocidades y formas muy suaves para favorecer al avance.

Para las líneas de forma seleccionadas más apropiadas, la propuesta de arreglo general que se logró desarrollar en el transcurso de la investigación, cumplen con condiciones de estabilidad para diferentes situaciones de carga, Previamente evaluando condiciones de equilibrio para diferentes arreglos encontrando valores de inclinación y escoras aceptables.

De acuerdo con los análisis de estabilidad, podemos observar un criterio que de situación de carga 1, que pertenece que el ángulo donde se encuentra el máximo GZ no debe ser menor a 25 grados, y el resultado dio 24,5, se tiene que revisar con detalle que se encuentra afectando este criterio relacionado con los que se deben cumplir para todo tipo de embarcación, aunque si se revisa los datos para los tipos de embarcaciones de suministro, estos cumplen con todos los requisitos, una primera propuesta de corrección es aumentar la dimensión del puntal, para lograr disminuir el balanceo transversal y aumentar el ángulo de escora máximo. Para las situaciones de carga 2,3, y 4, cumplen todos los criterios propuestos por la Organización Marítima Internacional (OMI), tanto para todo tipo de embarcación, y también para embarcaciones de suministro.

Esta Investigación queda abierta para implementar otras disciplinas encontradas en el espiral de diseño tradicional, como estructuras, comportamiento en el mar, entre otras.

BIBLIOGRAFÍA

Alakn, A. D. (2011). *Comfort on board evaluations for high speed vessels*. Obtenido de <http://www.din.unina.it/HSMV%202011%20Proceedings/html/Keynote%20lectures/K29.pdf>

Alvariño, R., Azpíroz, J., & Meizoso, M. (1997). *El proyecto básico del buque mercante*. Madrid: Fondo Editorial de Ingeniería Naval.

Cadena, A., Herrera, B., & Gonzales, G. (2012). *Abastecimiento de Gas Natural en Colombia (Diapositivas)*. Obtenido de http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/Abastecimiento_Energetico_Surtigas_Voct26m.pdf

Castellanos, C. (2015). *Ecopetrol y el mercado del Gas Natural en Colombia (Diapositivas)*. Obtenido de <http://www.anh.gov.co/Sala-de-Prensa/Presentaciones/Claudia%20Castellanos,%20Director%20de%20Gas,%20ECOPETROL.ppt>

Chouest. (s.f.). *Fast supply Vessel*. Obtenido de <http://www.chouest.com/vessels.html>

Choust. (s.f.). *Platform Supply Vessel*. Obtenido de <http://www.chouest.com/vessels.html>

Coremar. (s.f.). *Palermo Sociedad Portuaria*. Obtenido de <http://www.palermosociedadportuaria.com/videos.cfm>

Diseñoverosmaltiempo. (s.f.). *Influencia de las formas en la estabilidad [en línea]*. Obtenido de http://www.xn--diseoverosmaltiempo-fbc.com/estabilidad/influ_formas_estab.html

Ecopetrol. (2014). *Primer Hallazgo de Hidrocarburos en aguas profundas del Caribe colombiano [en línea]*. Obtenido de <http://goo.gl/iaOJSi>

Enavales. (s.f.). *Dimensionamiento [en línea]*. Obtenido de <http://enavales.com/index.php/component/phocadownload/category/22-v-estabilidad-en-sistemas-dinamicos-de-ingenieria-naval-.html>

Gas Natural Distribución. (s.f.). *Características del Gas natural [en línea]*. Obtenido de <http://goo.gl/R98bEH>

Larreña, J. (2015). Buque de apoyo a plataforma mar del norte 4500TPM, Proyecto de grado (Ingeniero Naval). Madrid, España. Obtenido de http://oa.upm.es/34956/1/PFC%20223_Buque%20de%20apoyo%20a%20plataformas%20Mar%20del%20Norte%204500TPM.pdf

Lewis, E. (1988). *Principles of Naval Architecture Second Revision*. Jersey city: SNAME.

Lloyd's Register. (s.f.). Rules and Regulations for the Classification of Ships.

Naturgas. (2015). *Descubrimiento de Gas natural en el Poza Orca [en línea]*. Obtenido de <http://www.naturgas.com.co/noticias/orca>

Noticias RCN. (2015). *Reservas de Gas Natural Sólo alcanzarían hasta 2018*. Obtenido de <http://www.noticiasrcn.com/nacional-economia/reservas-gas-colombia-solo-alcanzarian-hasta-2018>

Offshore Energy Today. (2011). *Brazil: Farstad, Petrobras Ink Charter Contracts for two AHTS [en línea]*. Obtenido de <http://www.offshoreenergytoday.com/brazil-farstad-petrobras-ink-charter-contracts-for-two-ahts/>

Offshore energy Today. (2013). *RY Offshore Buys ROV Support Vessel from Otto Marine*. Obtenido de <http://www.offshoreenergytoday.com/ry-offshore-buys-rov-support-vessel-from-otto-marine/>

OMI. (s.f.). *Código de estabilidad sin avería para todos los tipos de buques rígidos por los instrumentos de la OMI [en línea]*. Obtenido de http://www.cameintram.org/documentos/convenciones/CODIGO_DE_ESTABILIDAD_SIN_AVERIA_PARA_TODOS_LOS_TIPOS_DE_BUQUES_REGIDOS_POR_LOS_INSTRUMENTOS_DE_LA_OMI.pdf

Pachecho, J. (2014). *Orca 1, el pozo de la esperanza en la Guajira [en línea]*. Obtenido de Las2Orillas: <http://www.las2orillas.co>

Seacor Marine. (s.f.). *Our Fleet: FSV Seacor Marine*. Obtenido de <http://www.seacormarine.com/cgi-bin/ourfleet.cgi?type=crewfsv>

Seacor Marine. (s.f.). *Stanby Safety Vessel*. Obtenido de <http://www.seacormarine.com/ourfleet.html>

SOLAS. (1997). Construcción - Estructura, Compartimentado y estabilidad, instalaciones de maquinaria e instalaciones eléctricas.

Taggart, R. (1980). *Ship Design and Construction*. New York: SNAME.

UPME (Unidad de Planeación Minero Energética). (s.f.). *Balance de Gas Natural en Colombia 2015-2023 [en línea]*. Obtenido de http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/BALANCE_GAS_NATURAL_FINAL.pdf

Wartsila. (s.f.). *Wartsila 6L20*. Obtenido de <http://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/engines-generating-sets/diesel-engines/wartsila-20>

ANEXO. BASE DE DATOS FSV SEACOR MARINE

LOA	LBP	MANGA	D	T	LS	DeadWeight	BHP
44.83		8.53	3.56	1.86	111	256	3250
45	44	9	4	2	123		3500
47.24	46.02	8.23	3.76	1.28	138.59	193	5400
47	46	8	4	2.74	138	193	5400
49.37	46.71	9.14	3.81	2.73	174.01	355.62	6750
49	47	9	4	2.95	198	256	6750
49	47	9	4	3	163	331	6750
49.37	44	9	3.55	2.9	164	418	6750
49	44	9	4	3	164	418	6750
50	45	9	3.81	2	163	280	5400
50	45	9	4	2	123		7200
52	50	10	4	3.2	228	402	6750
52	50	10	4	3	209	423	7200
51.8	48.7	10	3.91	3	218	402	7200
50.72	43.86	9.14	3.87	3.05	172.73	355.6	6750
54.86	50.29	9.14	3.96	2.29	227.6	391.2	7200
53.8	48.01	9.14	4.11	2.44	205.24	304.82	7200
54	48	9	4	2.4		305	7200
55	49	10	4	3.2	225	381	7200
55	50	10	4	3.18	218	416	7200
50	48	9	4	2.4	206	305	7200
56	52	11	4	3	219	417	8100
59	52	11	4	2.9	219	417	8100
57.91	53.64	10.36	3.96	2.65	288.45	457.2	13740
57.91	50.9	10.36	3.36	3.2	253	457.2	9000
57.91	53.64	10.36	3.96	2.31	271.67	477.5	9000
57.91		10.36	3.96	3.2	274.33	436.9	9000
57.91	53.64	10.36	3.96	2.31	271.67	462.3	8850
57.91	53.64	10.36	3.97	3.17	253	497.9	9000
57.91	53.64	10.36	3.96	2.62	288.45	473.5	13740
59	52	11	4	2.9	219	417	8100
61.57	56.69	10.36	3.96	2.97	281.45	479.6	10800
61.57	56.69	10.36	3.96	2.97	297.43	479.6	10800

Fuente: (Seacor Marine)