

2012

DISEÑO PRELIMINAR DE UNA BARCAZA EN ALUMINIO PARA EL RIO MAGDALENA



Carlos Mario Anaya Chadid
Ingeniero Mecatrónico
Marko Junior García Sanclemente
Ingeniero Mecatrónico



**DISEÑO PRELIMINAR DE UNA BARCAZA EN ALUMINIO
PARA EL RIO MAGDALENA**

**CARLOS MARIO ANAYA CHADID
MARKO GARCIA SANCLEMENTE**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Mecatrónico**

**JAIRO CABRERA TOVAR
*PHD INGENIERÍA NAVAL***

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y MECATRONICA
CARTAGENA DE INDIAS D.T.C.**

2012

CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCION.....	2
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
2. OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. JUSTIFICACION	5
4. METODOLOGIA DE TRABAJO.....	6
4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	6
4.2 FUENTES DE INFORMACIÓN	6
5. ALUMINIO	7
5.1. El Aluminio	7
5.2. Características del Aluminio.....	7
5.3. Especificaciones Técnicas del Aluminio ²	8
5.4. Ventajas del Aluminio sobre el Acero en construcciones navales	9
5.5 Soldadura de aluminio ³	11
5.6 Construcciones de aluminio ³	13
6. PERFIL DE MISION	15
6.1. Misión de la Embarcación	15
6.2. Zona de Operación	15
6.3. Radio de Acción	15
6.4. Características de la zona de Operación	15
6.5. Características de las flotas utilizadas en la zona	17
6.6. Tripulación.....	20
6.7. Capacidad de Carga	21

6.8. Características de la carga.....	21
VENTAJAS DEL TRANSPORTE DE CARGA FLUVIAL	22
6.9. Comparación entre transporte de carga terrestre y fluvial	22
7. PROYECTO DE ARQUITECTURA.....	24
7.1. Elección de la geometría del Casco.	24
7.2 Dimensiones de la barcaza	37
7.3 Características Hidrostáticas.	38
8. CALCULO DE PESOS Y CENTROS DE GRAVEDAD.....	42
8.1 Estimación de Pesos y Centros de Gravedad.	42
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	50
8.2 Análisis de estabilidad transversal	50
8.3 Condiciones de carga	51
8.5 Evaluación de estabilidad transversal	56
8.6 Evaluación de estabilidad longitudinal.....	56
9. RESULTADOS	57
DISEÑO FINAL DE LA BARCAZA AVEVA MARINE.....	68
BARCAZA	69
10. CONCLUSIONES	70
11. GLOSARIO	71
11. BIBLIOGRAFIA.....	73
ANEXOS	75

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. NOMENCLATURA DE LOS CONVOYES DE CARGA	19
TABLA 2. DIMENSIONES Y CONFORMACIONES DE LOS CONVOYES DE CARGA	20
TABLA 3. DIMENSIONES Y CAPACIDAD MÁXIMA EN CONTENEDORES DE 20 PIES.....	21
TABLA 4. DESCRIPCIÓN DE CONTENEDOR DE 20 PIES	21
TABLA 5. VALORES DE U_{AL} & Y_{AL} EN ALEACIONES DE ALUMINIO	27
TABLA 6. VALORES DE F SEGÚN LA ESLORA.....	28
TABLA 7. VALORES DE H POR LA MANGA	36
TABLA 8. DIMENSIÓN DE LAS BARCAZAS ACTUALES Y SU CAPACIDAD DE CARGA	37
TABLA 9. DENOMINACIÓN DE SÍMBOLOS EN LAS CURVAS HIDROSTÁTICAS.	39
TABLA 10. CÁLCULOS HIDROSTÁTICOS BARCAZA	41
TABLA 11. CALCULO DE PESOS EN MAMPAROS Y CUADERNAS TRANSVERSALES.....	43
TABLA 12. CALCULO DE PESOS REFUERZOS DE MAMPAROS ESTANCOS.	44
TABLA 13. CALCULO DE PESOS REFUERZOS MAMPAROS DE COLISIÓN.	44
TABLA 14. CALCULO DE PESOS EN CASCO.	44
TABLA 15. CALCULO DE PESOS EN REFUERZOS LONGITUDINALES DE FONDO	45
TABLA 16. CALCULO DE PESOS EN REFUERZOS LONGITUDINALES DE CUBIERTA	45
TABLA 17. CALCULO DE PESOS EN REFUERZOS LONGITUDINALES DE COSTADO	46
TABLA 18. PESO TOTAL DE LA BARCAZA.....	46
TABLA 19. CENTROS DE GRAVEDAD Y PESOS DE LA EMBARCACIÓN CON CARGA.	49
TABLA 20. CÁLCULOS DE LAS CURVAS CRUZADAS.	55
TABLA 21. EVALUACIÓN ENTRE CRITERIOS NORMA Y CALCULADOS EN LA BARCAZA.	56
TABLA 22. LÁMINAS, REFUERZOS Y MÓDULO DE SECCIÓN BARCAZA CALCULADO	57
TABLA 23. CALCULO DE SM EN REFUERZOS LONGITUDINALES DE FONDO	59
TABLA 24. CALCULO DE SM EN REFUERZOS LONGITUDINALES DE COSTADOS.....	60
TABLA 25. CALCULO DE SM EN REFUERZOS LONGITUDINALES DE MAMPAROS	61
TABLA 26. CALCULO SM REFUERZOS LONGITUDINALES DE MAMPAROS DE COLISIÓN	62
TABLA 27. CALCULO DE SM EN REFUERZOS LONGITUDINALES DE CUBIERTA	63

LISTA DE GRAFICAS

GRAFICA 1. EXTRUSIÓN PARA SOLDADURA DE JUNTAS DE ALUMINIO.	13
GRAFICA 2. SOLDADURA DE UNIÓN DE ALUMINIO	13
GRAFICA 3. ALTA RESISTENCIA A RELACIONES DE PESO	14
GRAFICA 4. ESCANTILLONES OPTIMIZADOS	14
GRAFICA 5. EXTRUSIÓN ESPECIAL PARA CONEXIÓN MÚLTIPLE.....	14
GRAFICA 6. RIO MAGDALENA	17
GRAFICA 7. CONVOY RB (REMOLCADOR + BARCAZA)	19
GRAFICA 8. CONVOY R2B (REMOLCADOR + 2 BARCAZAS)	20
GRAFICA 9. CONSUMO Y EFICIENCIA ENTRE BARCAZAS Y TRACTO-CAMIONES	23
GRAFICA 10. ARREGLOS ESTRUCTURALES TRANSVERSAL VERSUS LONGITUDINAL.	26
GRAFICA 11. REFUERZOS LONGITUDINALES DE FONDO	30
GRAFICA 12. REFUERZOS LONGITUDINALES DE COSTADOS.....	31
GRAFICA 13. REFUERZOS LONGITUDINALES DE MAMPAROS.....	34
GRAFICA 14. REFUERZOS LONGITUDINALES DE CUBIERTA.....	36
GRAFICA 15. BARCAZA EN AVEVA MARINE	38
GRAFICA 16. CURVAS HIDROSTÁTICAS BARCAZA	40
GRAFICA 17. REFERENCIAS DE COORDENAS TRANSVERSALES.....	49
GRAFICA 18. CALCULO DE CURVAS CRUZADAS.....	53
GRAFICA 19. CURVAS CRUZADAS DE ESTABILIDAD.....	54

Nota de aceptación

Luis M. Castellanos Gonzales

Jurado

Hermes J. Ramírez León

Jurado

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo analizar para su construcción una barcaza con un material no tradicional utilizando aluminio. Para esto se consideran y analizan las características, especificaciones técnicas y aplicaciones del aluminio. Se entrega una descripción de la barcaza, tal como el perfil de la misión, materiales de construcción, entre otros.

Se desarrolla un diseño, determinando líneas y formas del casco, asignación de espacios para la carga, desplazamiento y la capacidad total de carga.

Finalmente se entregan cálculos relacionados con el análisis de estabilidad.

INTRODUCCION

Actualmente en Colombia no se aprovecha los recursos hídricos para el transporte de carga en un 100% a pesar de tener una arteria fluvial que conecta los puertos del litoral norte con el centro económico e industrial del país, esta es conocida con el nombre de Rio Magdalena, en Colombia encontramos que el medio de transporte de carga mas usado es el terrestre, el cual no es el mas eficiente en cuanto a tiempo y costo de traslado de la mercancía.

El objetivo principal de este trabajo es diseñar una barcaza hecha totalmente en aluminio para el transporte de carga en el rio Magdalena teniendo en cuenta las restricciones propias de este, se realizara un diseño innovador en sus líneas y formas de proa y popa las cuales permitan un mejor desplazamiento por el rio, se enumeraran las ventajas que tiene el aluminio sobre el acero en cuanto a construcciones navales y un análisis de las curvas hidrostáticas de la barcaza, toda la etapa de diseño será apoyada por el software de diseño y construcción naval AVEVA Marine el cual fue adquirido por la Universidad Tecnológica de Bolívar para el desarrollo de la maestría en Ingeniería Naval y Oceanografía.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

El relieve particular del territorio colombiano dificulta el transporte de mercancías, haciendo de este un proceso poco eficiente y costoso. En búsqueda de mejorar esta situación, se podría aprovechar la cantidad de recursos hídricos de los cuales dispone el país e integrar el sistema de transporte terrestre con el fluvial.

Es evidente que para reducir los costos de fletes internos y de exportación en vista al desarrollo de la economía nacional, Colombia debe reemplazar sus modos de transporte por el más económico, el modo fluvial, más aún cuando contamos con una arteria natural que une el centro económico e industrial del país con el litoral norte, cuna de los principales puertos colombianos, arteria conocida con el nombre de Río del Magdalena. Para el caso del sistema fluvial se requiere de embarcaciones apropiadas para el transporte de mercancías, que se adapten a las restricciones propias del río.

Así mismo, durante toda la historia de transporte de mercancías por el río Magdalena pocas innovaciones han sido implementadas en sus embarcaciones fluviales. De acuerdo a revisión de la literatura pocos estudios técnicos se han realizado sobre los materiales empleados, sus líneas y formas, comúnmente usadas de secciones rectangulares y construidas en acero. Con este estudio se evaluarán diferentes geometrías, formas de proa y popa, especialmente sobre el uso de un material diferente al convencionalmente usado.

1.2 Formulación del problema

¿Existe la posibilidad de diseñar una embarcación fluvial para el transporte de carga en contenedores por el río Magdalena con una geometría y materiales diferentes a los tradicionales?

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Este estudio tiene como objetivo principal diseñar una barcaza hecha totalmente en aluminio para el transporte de contenedores a través del río Magdalena, utilizando herramientas computacionales de diseño naval de modo a establecer el producto final más apropiado para este río.

2.2 Objetivos específicos

- Mostrar las características, aplicaciones y ventajas del aluminio como material de construcción naval frente al acero.
- Realizar descripción de la embarcación donde se determine el perfil de la misión y las ventajas del transporte de carga fluvial.
- Elección de geometría del casco, dimensiones y características hidrostáticas: Líneas y formas de proa y popa de la barcaza.
- Análisis de estabilidad: estimación de pesos y centro de gravedad, desplazamiento liviano, peso muerto, estabilidad transversal, estabilidad longitudinal y condiciones de carga.

3. JUSTIFICACION

Teniendo en cuenta que el diseño se realiza a partir de un adecuado balance entre:

- Las funciones propias que un material puede cumplir, a partir de sus características naturales específicas y sus capacidades mecánicas.
- La capacidad de carga que se puede obtener.
- El menor costo que puede conseguirse.

Esto último puede apreciarse con el simple hecho de tener la posibilidad de transportar por medio del río Magdalena en un solo viaje de una barcaza varios contenedores teniendo menores costos logísticos con respecto a la misma cantidad de carga transportada por vía terrestre.

Adicionalmente el transporte por vía fluvial tiene otras ventajas sobre el transporte terrestre como:

Menor uso de combustible: Un empujador consumiría menos combustibles en comparación a un tracto-camión con respecto a la cantidad de carga que pueden llevar, además cuando la barcaza viaja en la misma dirección del caudal del río su consumo de combustible se reduce notablemente porque es necesario menor propulsión para el avance del empujador.¹

¹ <http://fs03eja1.cormagdalena.com.co/nuevaweb/foro/archivos/Victor%20Peña.pdf>

4. METODOLOGIA DE TRABAJO

4.1 Tipo de investigación

El presente estudio es investigativo y de desarrollo, permite diseñar un embarcación en aluminio para el río Magdalena.

4.2 Fuentes de información

Fuentes primarias. No tenemos

Fuentes Secundarias. Se utilizaron textos de normas relacionados a la construcción de embarcaciones en aluminio, trabajos de investigación en los cuales se contempla la construcción de embarcaciones y las características del material "Aluminio", estudios realizados a la caracterización del río por entidades pertinentes en la materia como Cormagdalena y el Ministerio de Transporte Colombiano.

5. ALUMINIO

5.1. El Aluminio ²

El aluminio, de símbolo Al, es el elemento metálico más abundante en la corteza terrestre. No se halla puro, sino formando parte de otros compuestos y minerales. El químico danés H. C. Oersted aisló el aluminio por primera vez en 1825. Tiene un elevado uso en la industria y en la vida cotidiana pero rara vez se emplea solo, sino formando parte de aleaciones que mejoran sus propiedades mecánicas.

El aluminio es blanco o blanco grisáceo y puede tener un acabado superficial desde mate hasta brillante y pulido, además su superficie es fácilmente coloreable. Su masa atómica es de 26,9815, su número atómico es 13 y se encuentra en el grupo 13 de la tabla periódica.

“El aluminio ha demostrado ser un material ligero, resistente y asequible que permite a los buques ir a velocidades más rápidas, llevar grandes cargas y viajar distancias más largas. Las nuevas tecnologías y los avances de aluminio están haciendo una opción cada vez más popular para los buques de todos los tamaños”. ³

5.2. Características del Aluminio

- El Aluminio es un metal que reúne una serie de propiedades mecánicas excelentes dentro del grupo de los metales no férricos.
- Tiene alta resistencia a la corrosión y durabilidad.

² *Materiales metálicos* V. Galvañ, M. Sorriano, C. Eslon Universidad Politécnica de Valencia 2005

³ Advantages of Aluminum in marine applications ABS.

- Es un buen conductor del calor y de la electricidad.
- El aluminio es un buen reflector tanto de la luz como del calor.
- Es un metal impermeable al agua y a los olores, y además, no desprende ni olor ni sabor.
- Es inatacable por la mayor parte de compuestos, excepto por los ácidos orgánicos, álcalis y por el ácido clorhídrico.
- Es un material no magnético.
- Es un material ligero, este pesa un tercio que el acero con el mismo volumen, de esta manera permite obtener importantes ahorros de peso en casi todos los tipos de aplicaciones.
- Es un material atóxico, muy utilizado para conservar bebidas y alimentos.
- El Aluminio es muy maleable y puede moldearse con todas las técnicas habituales de tratamiento con más facilidad que la mayoría de otros metales.
- Tiene gran versatilidad este brinda la oportunidad de utilizar el metal en aleaciones que pueden ser rígidas o elásticas, especialmente sólidas y resistentes a la corrosión.
- Es un material soldable, tiene la disponibilidad y diversidad funcional de productos semi-acabados.
- el aluminio se recicla desde su fabricación y es una actividad normal, técnicamente resuelta y rentable que conlleva beneficios tanto económicos como medioambientales.

5.3. Especificaciones Técnicas del Aluminio²

Es un metal ligero, cuya densidad es de 2700 kg/m^3 a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ esto es aproximadamente la tercera parte de la del acero, lo que lo hace especialmente ventajoso cuando se pretende reducir el peso propio de las construcciones, facilita los procesos de transporte y montaje de piezas. Tiene un punto de fusión de 660°C y un punto de ebullición de $2519 \text{ }^\circ\text{C}$, al ser su

Temperatura de fusión tan baja y su temperatura de ebullición tan elevada el aluminio es un material idóneo para la fundición.

5.4. Ventajas del Aluminio sobre el Acero en construcciones navales ⁴

En la elección entre el acero y nuestra aleación 5083 de aluminio para construcción naval, los puntos decisivos se encuentran principalmente en los ámbitos de:

I. Presupuesto: Muchos constructores pueden proporcionar un buque de aleación de aluminio aproximadamente al mismo costo que uno de acero aunque siempre va a ser más costosa la estructura de aluminio.

Reducción del costo de adquisición ³

Cerca del 90% del costo de fabricar la estructura es laboral, sólo el 1% de los costos totales es de materiales. Por lo tanto, la reducción de los costos laborales tiene un mayor impacto en el precio de adquisición.

¿Cómo nos ayuda el aluminio en esto?

Se pueden conseguir distintos tipos de productos como hojas / placas, extrusiones, piezas fundidas y forjadas que permiten la consolidación y simplificación de las piezas de diseño.

Reducción del coste total del ciclo de vida ³

- La mayor parte de los costos totales de propiedad residen en las operaciones y el mantenimiento, una estructura ligera resulta en un ahorro de combustible. Por ejemplo en una fragata, el ahorro de combustible será 71 toneladas por viaje, con un ahorro anual de \$ 1.278.000 sobre un diseño completamente de acero.

⁴ <http://www.kastenmarine.com/alumVSteel.htm>

Durante un ciclo de vida de 25 años, el ahorro de costos de combustible sería de \$ 32 millones.

- Pintura: No hay necesidad de pintar el aluminio
- Reciclaje: un mayor valor residual al final de la vida desguace, casi el 75% del aluminio hecho todavía está en uso hoy en día.

II. Mantenimiento: Los costos de mantenimiento son relativamente reducidos debido a la resistencia a la corrosión inherente exigir menores intervenciones o trabajos menores. Exige igualmente menor volumen de protección pasiva contra corrosión y por tanto son ecológicamente mejores.

III. Reventa: Un bote de aluminio tendrá un valor de reventa muy superior a un barco de acero, por esta razón con la pequeña diferencia entre el precio de costo original y el de la reventa, se genera una menor pérdida.

IV. Peso: Los costos operacionales son menores también debidos directamente al volumen desplazado, lo que requiere proporcionalmente menores gastos de combustible y mejoría a la eficiencia general del sistema de propulsión. Un buque grande de Aluminio permitirá un desplazamiento ligero, con un motor más pequeño y tendrá un mayor alcance.

V. Capacidad de carga: Al tener menos peso en la estructura nos permitirá que se ponga un poco más en combustible o en carga.

VI. Estabilidad: El Aluminio gana de nuevo por su ligereza y por lo tanto permite que el peso en su parte inferior sea más bajo. Con un diseño correcto, solo se necesita ajustar el buque para satisfacer el material.

VII. Resistencia: El punto general a tener en cuenta es que una estructura de aluminio se pueden hacer mucho más grandes con la misma resistencia o

mayor y todavía ser mucho más ligero que una estructura similar en acero. En términos simples, el aluminio es estructuralmente más eficiente que el acero.

5.5 Soldadura de aluminio ³

La soldadura en aluminio presenta diferentes problemas entre estos tenemos:

- Nivel alto de distorsión
- Puede quemar (arde)
- Calidad de suelde

Teniendo presente estos problemas con la soldadura en aluminio se presentan las siguientes soluciones:

- Soldadura por fricción (FSW)
- Extrusiones especiales

5.5.1. Soldadura por fricción (FSW)

“Es un método de soldadura que aprovecha el calor generado por la fricción mecánica entre dos piezas en movimiento.

Es utilizada para unir dos piezas, aun cuando una de ellas por lo menos sea de igual o distinta naturaleza, por ejemplo: acero duro y acero suave, aluminio y aleaciones, acero y cobre, etc., lo cual le confiere innumerables ventajas frente a otro tipo de soldaduras como puede ser la soldadura GMAW con la que no se pueden soldar aceros inoxidable ni aluminio o aleaciones de aluminio”. ⁵

ABS posee una serie de cinco documentos donde se identificación los requisitos para trabajar con FSW:

⁵ http://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura_por_fricci%C3%B3n

- FSW I: Elementos esenciales de un procedimientos de soldadura por fricción, Re-soldaduras y reparaciones. Incluye elementos esenciales, los límites sobre los elementos y los cambios en el procedimiento que requieren recalificación.
- FSW II: Procedimiento de soldadura por fricción, requisitos de prueba y calificación.
- FSW III: Operador de soldadura por fricción, calificación de requisitos de prueba, FSW II y III, lista de los ensayos destructivas y no destructivas para ser utilizados en la calificación de un procedimiento y de un operador.
- FSW IV: Requisitos de fabricación de soldaduras por fricción.
- FSW V: Procedimiento de soldadura por fricción, calificación del operador y requisitos de Ensayos No Destructivos para producción.

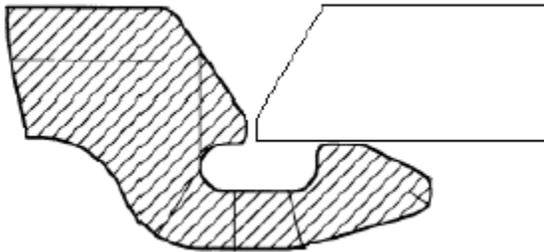
5.5.2. Extrusiones especiales ³

“Mediante el proceso de extrusión pueden obtenerse productos de diversas formas. En el caso de los metales, tales como aluminio o acero, se vacían en moldes de distintas formas; pueden laminarse entre rodillos, o efectuar el conformado de piezas, o por empuje, ejerciendo presión y haciendo pasar la materia prima a través de dados para que adquieran la forma deseada”. ⁶

- Las extrusiones son diseñadas especialmente para soldaduras de unión como se ven en los siguientes gráficos.

⁶ <http://www.construmatica.com/construpedia/Extrusi%C3%B3n>

Grafica 1. Extrusión para soldadura de juntas de aluminio.



Fuente: [Advantages of Aluminum in marine applications](#) ABS

Grafica 2. Soldadura de unión de aluminio



Fuente: [Advantages of Aluminum in marine applications](#) ABS.

5.6 Construcciones de aluminio³

Las construcciones en aluminio presentan varios problemas entre los que tenemos:

- Reducción de las propiedades mecánicas cuando se suelda.
- Baja resistencia a la fatiga.

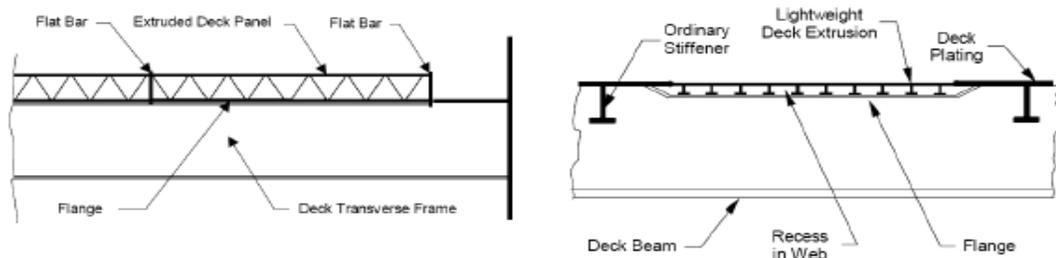
Teniendo presente estos problemas con las construcciones en aluminio se presentan las siguientes soluciones:

- Extrusiones especiales
- Buenos detalles estructurales

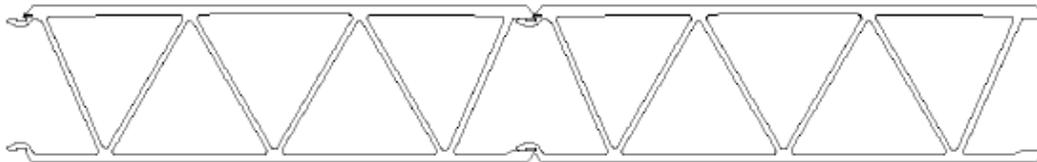
5.6.1 Estructuras reforzadas con extrusiones

En las siguientes graficas se observan modelos de estructuras reforzadas utilizando extrusiones, las cuales brindan gran resistencia y el bajo peso del aluminio.

Grafica 3. Alta resistencia a relaciones de peso



Grafica 4. Escantillones optimizados



Fuente: [Advantages of Aluminum in marine applications](#) ABS.

Grafica 5. Extrusión especial para conexión múltiple.



Fuente: [Advantages of Aluminum in marine applications](#) ABS.

6. PERFIL DE MISION

6.1. Misión de la Embarcación

La misión principal de esta embarcación es trabajar en actividades de transporte de carga en contenedores.

6.2. Zona de Operación

Esta barcaza está diseñada para navegar en aguas del río Magdalena, en la que se tendrá en cuenta las restricciones de calado y los grandes tramos serpenteados que el río posee.

6.3. Radio de Acción

El radio de acción de esta barcaza será de aproximadamente 500 millas náuticas. Teniendo como salida Cartagena, ciudad en la cual se encuentra el principal puerto de contenedores del país y se comunica con el río Magdalena por medio del canal del Dique en Calamar y como destino tendrá diferentes puertos como el de Capulpo, Barrancabermeja, Pto Berrio, la dorada y su mayor recorrido sería hasta Pto Salgar.

6.4. Características de la zona de Operación ⁷

Su cuenca hidrográfica presenta el más alto valor estratégico dentro del contexto nacional.

⁷ <http://fs03eja1.cormagdalena.com.co/nuevaweb/conozcanos/rio.htm>

Cuenta con una superficie de 27.3 millones de hectáreas, que representan el 24% del territorio continental Nacional, ubicada en 19 departamentos con 728 municipios, en los cuales reside el 66% de la población colombiana y se genera el 86% del producto Interno bruto del país.

En esta, se encuentran los grandes centros urbanos del país como Bogotá, con la más importante zona industrial, algunas de las áreas agrícolas de mayor productividad del país y 12 parques naturales nacionales.

En la cuenca se genera el 75% de la producción agropecuaria nacional y se desarrolla más del 90% de la producción cafetera. Así mismo produce el 70% de la energía de origen hidráulico y el 90% de la termoeléctrica. La extracción de petróleo y la minería alcanzan igualmente una gran importancia. La producción de crudos representa cerca de la cuarta parte de la producción nacional y se encuentra el 72% de la infraestructura para el transporte del petróleo. La minería está representada en yacimientos y explotaciones de oro, plata, hierro, níquel, cobre, arcilla, calizas, mármol, barita, feldespato, yeso, magnesio, carbón, esmeraldas y fosfatos.

El sistema fluvial del río está conformado por el Magdalena (1185 km), y el Canal del Dique (114 km) que conecta a Cartagena con el río en Calamar. El Río Magdalena concentra el 80% de la movilización de carga fluvial en el país (2 millones de toneladas al año) y del transporte de pasajeros (600.000 pasajeros) y por su posición geográfica en concurso con los mayores ejes viales del país, conecta los principales centros de producción y consumo del país con los principales puertos que ejercen comercio exterior ubicados en la Costa Atlántica

Grafica 6. Rio Magdalena



Fuente: Imágenes de archivo Cormagdalena

Condiciones de navegación actuales ⁸

Posee un calado promedio de operación de 5 pies a Barranca y 4 pies a Puerto Berrio, actualmente no se navega hasta Puerto Salgar. Presenta una navegación con interrupciones aún de día, aunque menores y alta dependencia de lluvias.

6.5. Características de las flotas utilizadas en la zona ⁹

La flota fluvial existente para cargas mayores ha sido adaptada para la anchura de canal disponible y la profundidad confiable durante la mayor

⁸ <http://www.cormagdalena.com.co/>

⁹ http://wiki.neotropicos.org/index.php?title=Proyecto_de_obras_de_encauzamiento_del_r%C3%ADo_Magdalena%20C%20tramo_Puerto_Berrio%20-%20Barrancabermeja

Parte del año, para los diversos tramos del río. Las dimensiones típicas de las barcazas utilizadas con mayor frecuencia son las siguientes:

Puntal 1,80 m (6 pies)

Manga 10 m a 13 m (33 pies)

Eslora 45 m a 60 m (150 pies)

La profundidad mínima necesaria para que nuestra barcaza pueda navegar a carga plena es de 1,20 m (4 pies) que incluyen los 0,91 m (3 pies) del calado más 0,3 m (1 pie) de profundidad como margen de navegación.

“La capacidad de transporte de las barcazas varía entre 100 y 1.200 Ton/barcaza.

La potencia de remolcadores es del orden de 2.000 HP. Para seis barcazas, la capacidad total usualmente utilizada por convoy es de 6.000 toneladas. En épocas de aguas bajas, se acostumbra cargar las barcazas a menor capacidad, para obtener un menor calado.

Para el tramo entre Barrancabermeja y Puerto Berrio, se usan hoy en día remolcador y barcazas de menor tamaño. Es frecuente también cargar las barcazas grandes por debajo de su capacidad para obtener menor calado. Se considera normal el tráfico de convoyes hasta de 3.000 toneladas en este tramo, en configuración R-B y R-2B, con remolcadores del orden de 1.400HP.

Aunque en el tramo entre Puerto Berrio y Puerto Salgar/La Dorada, han navegado embarcaciones y convoyes R-B hasta de 1.000 toneladas, en la actualidad no hay navegación permanente”.¹⁰

¹⁰ Presentación de PowerPoint - Latinports.org

Tabla 1. Nomenclatura de los convoyes de carga

Configuración	Nombre)	Forma del convoy
Remolcador + una barcaza	R-B	[imagen:R-B]
Remolcador + dos barcasas en paralelo (pacha)	R-2B	[imagen:R-2B]
Remolcador + dos barcasas en serie (puya)	R-B-B	[imagen:R-B-B]
Remolcador + cuatro barcasas en dos hileras de a dos	R-2B-2B	[imagen:R-2B-2B]
Remolcador + seis barcasas en tres hileras de a dos	R-2B-2B-2B	[imagen:R-2B-2B-2B]
Remolcador + seis barcasas en dos hileras de a tres	R-3B-3B	[imagen:R-3B-3B]

Fuente: [http://wiki.neotropicos.org/index.php?title=Proyecto de obras de encauzamiento del r%C3%ADo Magdalena%2C tramo Puerto Berr%C3%ADo - Barrancabermeja](http://wiki.neotropicos.org/index.php?title=Proyecto_de_obras_de_encauzamiento_del_r%C3%ADo_Magdalena%2C_tramo_Puerto_Berr%C3%ADo_-_Barrancabermeja).

Grafica 7. Convoy RB (Remolcador + Barcaza)



Fuente: Expomares 2005 Cormagdalena.

Grafica 8. Convoy R2B (Remolcador + 2 Barcazas)



Fuente: Expomares 2005 Cormagdalena.

Tabla 2. Dimensiones y conformaciones de los convoyes de carga

dimensiones del convoy		La Dorada - Pto. Berrío	Pto. Berrío - B/bermeja	B/bermeja - costa norte
remolcador	eslora (m)	22	32	36
	manga (m)	4,8	6,3	11,0
	potencia (HP)	800	1.440	2.100
barcaza	eslora (m)	45	53	60
	manga (m)	10,5	11,2	12,7
longitud total (m)	contra corriente	112	138	216
	con la corriente	67	138	156
anchura total (m)	contra corriente	10,5	22,5	25,4
	con la corriente	21	22,5	38,1
capacidad transportadora (t)	contra corriente ^[2]	750	2.650	5.500
	con la corriente	-	-	6.600
composición típica (ver cuadro 2.)	contra corriente	R-B-B	R-2B-2B	R-2B-2B-2B
	con la corriente	R-2B	R-2B-2B	R-3B-3B

Fuente: [http://wiki.neotropicos.org/index.php?title=Proyecto de obras de encauzamiento del r%C3%ADo Magdalena%2C tramo Puerto Berr%C3%ADo - Barrancabermeja](http://wiki.neotropicos.org/index.php?title=Proyecto_de_obras_de_encauzamiento_del_r%C3%ADo_Magdalena%2C_tramo_Puerto_Berr%C3%ADo_-_Barrancabermeja).

6.6. Tripulación.

Esta barcaza no es tripulada, se encuentra en un convoy de las mismas, las cuales van guiadas por una embarcación menor (remolcador o empujador).

6.7. Capacidad de Carga

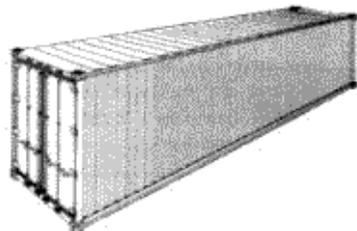
Tendrá una capacidad de transportar 270 toneladas de carga bruta en su cubierta, pudiendo ser esto 10 contenedores de 20 pies con un promedio de carga de 27 Ton. C/u.

Tabla 3. Dimensiones y capacidad máxima en contenedores de 20 pies

20 Pies Standard 20' x 8' x 8'6"		
Tara	2300 kg / 5070 lb	
Carga Max.	28180 kg/62130 lb	
Max. P. B.	30480 kg/67200 lb	
Medidas	Internas	Apertura Puerta
Largo:	5898 mm / 19'4"	-
Ancho:	2352 mm / 7'9"	2340 mm / 7'8"
Altura:	2393 mm / 7'10"	2280 mm / 7'6"
Capacidad Cub.	33,2 m3 / 1172 ft3	

Fuente: <http://www.affari.com.ar/conttt.htm>

Tabla 4. Descripción de contenedor de 20 pies

Descripción	
<p>Disponible para cualquier carga seca normal. Ejemplos: bolsas, pallets, cajas, tambores, etc.</p>	

Fuente: <http://www.affari.com.ar/conttt.htm>

6.8. Características de la carga.

La carga a transporta en la barcaza serán bolsas, cajas, packs termo contraíbles, máquinas, muebles, entro otros importantes tipos de mercancías.

Esto cuando hablamos de carga seca Las cuales viajaran dentro de contenedores.

VENTAJAS DEL TRANSPORTE DE CARGA FLUVIAL ¹¹

6.9. Comparación entre transporte de carga terrestre y fluvial

El sistema de transporte por río en barcazas es ambientalmente mucho más amistoso que el transporte en tracto-camiones.

- En cada viaje una barcaza carga entre 100 y 1.200 toneladas, un tracto-camión 30 toneladas.
- Para mover 1.000.000 toneladas al año se precisan 833 viajes en barcazas mientras que en tracto-camiones se necesitarían 33.333 viajes.

✓ Seguridad:

- Sustituir, aunque fuere parcialmente el transporte terrestre por el fluvial significa reducir muchísimas veces las posibilidades de accidentes en un año.

• Consumo de combustible:

Barcazas: consumo de 68.000 litros de combustible por cada viaje de ida y vuelta a Puerto Salgar, para mover 2400 toneladas de subida y 2400 toneladas de bajada.

- Tracto-camiones: consumo de 1.800 litros de subida y bajada con 30 toneladas de carga de subida y 30 de bajada.

¹¹ Presentación de PowerPoint - Latinports.org

- Para mover 1.000.000 toneladas de carga en barcazas se consumirían 14.166.666 litros de diésel al año y en camiones se consumirían 30.000.000 litros de diésel al año.

✓ **Emisiones de CO2 al ambiente**

- El CO2 es un gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático, el sistema de barcazas emite 45.523 toneladas de CO2 y el sistema de camiones emite más de 93.193 toneladas de CO2.

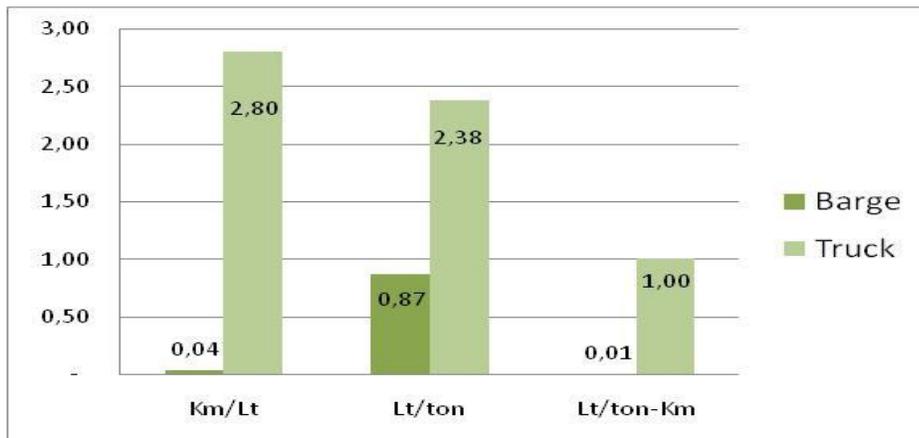
✓ **Eficiencia del combustible**

Tractocamión: 1 HP mueve 150 kg (45tons x 300 HP)

Tren: 1 HP mueve 500 kg

Barcazas: 1 HP mueve 1800 kg

Grafica 9. Consumo y eficiencia entre barcazas y tracto-camiones



Fuente: Presentación de PowerPoint - Latinports.org

7. PROYECTO DE ARQUITECTURA.

7.1. Elección de la geometría del Casco.

La geometría, líneas y formas de una embarcación están enteramente relacionadas con las definiciones de las restricciones físicas u operacionales del sistema. De este modo podemos establecer las dimensiones relacionando capacidades de carga considerando a su vez las relaciones de eslora y manga, en función de anchura o calado de un canal restringido de navegación o igualmente de las características de los terminales de carga y descarga. El río Magdalena presenta características muy especiales en sus diferentes tramos y épocas del año.

El proceso de escoger el tipo de embarcación, descrito, termina con la selección del conjunto de dimensiones principales y coeficientes de formas que definen de manera única una embarcación, de estas características hay infinitas posibilidades de formas o líneas del casco.

La elección de la forma del casco es una etapa importante debiendo en ella concretarse los criterios de los diferentes aspectos que deben ser definidos en función de obtener el diseño del casco más adecuado. Dentro de los aspectos que se considerarán se pueden destacar principalmente los siguientes:

a) Requerimientos del armador.

- Capacidad de carga de 270 Ton.
- Que pueda transportar contenedores.
- Que pueda transportar toda su carga sobre cubierta.
- Que pueda llevar la carga hasta Puerto Salgar.

- Que no tenga mucho peso para poder utilizar un empujador de mejor capacidad.

b) Condiciones de Navegación.

Está relacionado directamente con la zona en que navegará y con las características del comportamiento del río, dentro de los cuales, se deberán tener presente factores que son propios de la zona en que navegará (aguas del río Magdalena) tales como la corriente, profundidad del fondo y zonas serpenteadas del río principalmente.

c) Requerimientos de Diseño.

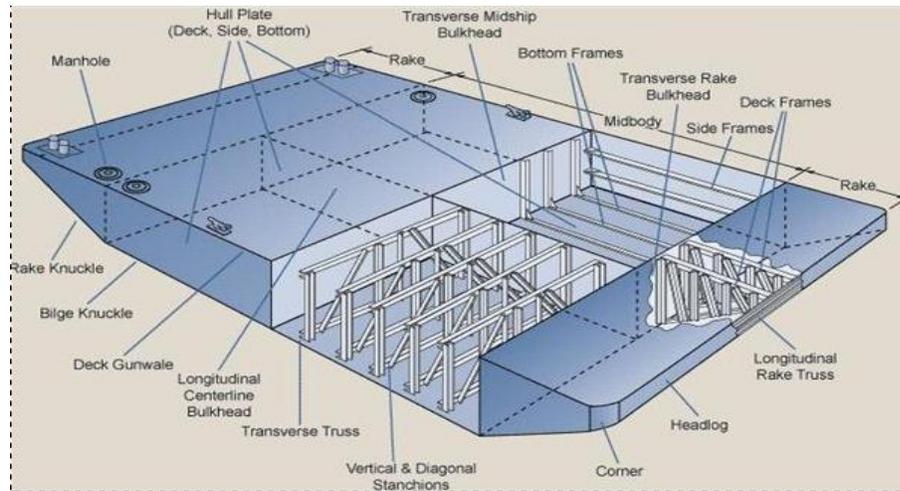
Para este proyecto tomaremos como elemento principal de referencia y guía la norma ABS “Rules For Building and Classing Aluminum Vessels” en la cual detalla la construcción de embarcaciones en aluminio, con esta se llevara a cabo la verificación de los principales cálculos de diseño requeridos como:

- Módulo de sección de láminas, refuerzos y casco general
- Espesores mínimos de láminas y refuerzos.
- Inercia en el casco completo, para cada una de las láminas y refuerzos que se utilizaran en la embarcación.

La estructura de la barcaza deberá resistir 270 Ton de carga en su cubierta, su sección principal deberá ser de forma transversal donde se encontraran mamparos y cuadernas, en su sección secundaria utilizara refuerzos longitudinales tal como se muestra en la gráfica 10.

Para la ubicación de las cuadernas se seguirán los lineamientos de la norma “Rules For Building and Classing Aluminum Vessels” de ABS (American Bureau of Shipping).

Grafica 10. Arreglos estructurales transversal versus longitudinal.



Fuente: Curso de introducción a la Ingeniería Naval

Para este proyecto definiremos la proa y la popa de la barcaza con un levantamiento o roda (rake), que según referencias, permiten una buena hidrodinámica en una dirección.

ABS Sección 2 Definiciones

Factor del material para soldadura de aleaciones de aluminio.

Los factores de las aleaciones de aluminio en soldaduras están identificadas por Q_0 y Q estas son usadas en varias ocasiones para obtener el escantillonamiento para elementos estructurales específicos del casco.

Factor del material Q_0

Donde las cargas dinámicas y la estabilidad de la estructura no son las principales preocupaciones, el criterio de resistencia puede ser expresado en términos de la resistencia mínima a 2% de desviación y la resistencia final de la aleación de aluminio en la condición designada como Q_0 para su uso en las ecuaciones aplicables.

El factor Q_0 se obtiene a partir de la ecuación 7.0a.

$$Q_0 = 65 / Y_{al} + U_{al} \quad 7.0a$$

Tabla 5. Valores de U_{al} & Y_{al} en aleaciones de aluminio

<i>Alloy</i>	<i>Ultimate Tensile Strength (U_{al})</i>	<i>Yield Strength (Y_{al})³</i>
	<i>kg/mm²(psi)</i>	<i>kg/mm²(psi)</i>
5083 ¹	28.1(40000)	14.8 (21000)
5086 ¹	24.6(35000)	9.85(14000)
5454 ¹	21.8(31000)	8.45(12000)
5456 ¹	29.5(42000)	13.4 (19000)
6061-T-6 ²	16.9(24000)	10.60(15000)

Fuente: Rules For Building and Classing Aluminum Vessels" de ABS

Dónde:

$$U_{al} = 28,1 \text{ kg/mm}^2 \text{ (42000 Psi)}$$

$$Y_{al} = 14,8 \text{ kg/mm}^2 \text{ (19000 Psi)}$$

$$Q_0 = \frac{65}{28,1 + 14,8} \Rightarrow Q_0 = 1,5 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Factor del material Q

Donde los miembros estructurales están sujetos a cargas dinámicas, las ecuaciones del encuadernamiento incluyen el factor del material Q el cual tomo consideraciones de esfuerzos de fatiga en aleaciones de soldaduras de aluminio.

El factor Q se obtiene a partir de la ecuación 7.0b

$$Q = 0.9 + (12 / Y_{al}) \quad 7.0b$$

Dónde:

$$Y_{al} = 14,8 \text{ kg/mm}^2 \text{ (19000 Psi)}$$

$$Q = 0.9 + (12 / 14,8) \Rightarrow Q = 1,7 \text{ kg/mm}^2$$

ABS Sección 6 Resistencia Longitudinal

Esfuerzo longitudinal del casco completo

El módulo de sección requerido para la estructura del casco en la sección principal, se determina con SM_{basic} (Modulo de sección básico), el cual esta expresado en cm^2m y se obtiene de la ecuación 7.1:

$$SM_{basic} = fB(C_b + 0,5)(0,9Q) \quad 7.1$$

Dónde:

f = Valor determinado de la tabla 12, valor apropiado según la eslora L, de no ser encontrado se puede hallar interpolando.

B = Manga

C_b = Coeficiente de bloque

Q = Factor del material

Tabla 6. Valores de f según la eslora

Metros					
L	f	L	f	L	f
45	150	80	593	120	1460
50	197	85	678	125	1603
55	249	90	773	130	1750
60	308	95	968	135	2066
65	371	100	1082	140	2236
70	440	105	1196	145	2409
75	516	110	1325	150	2595

Fuente: Rules For Building and Classing Aluminum Vessels™ de ABS

Momento de inercia para la estructura del casco completo

El momento de inercia requerido del casco en la sección principal, expresado en centímetros cuadrados por metros, no debe ser menor al obtenido de la ecuación 7.2:

$$I = \frac{[L(SM_{basic})]}{(11,9Q)} \quad 7.2$$

Dónde:

I = Momento de inercia para el casco completo

L = Eslora

SM_{basic} = Modulo de sección del casco en su sección principal

Q = Factor del material

ABS Sección 7 Estructura del fondo

Para hallar el espesor mínimo (t_{min}) del fondo utilizaremos la ecuación 7.3:

$$t_{min} = 0,70 * \sqrt{L} + 1 \text{ mm} \quad 7.3$$

Dónde:

L = Es la eslora de la barcaza, reemplazamos los valores en la ecuación 7.3 y hallamos el espesor t (tickness):

$$SM = 0,9Q(7,9chl^2) \quad 7.4$$

Dónde:

Q = Factor del material

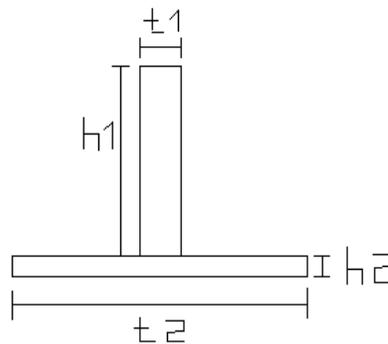
h = Distancia en m de la quilla hasta la línea de carga

$c = 1.3$

s = Espacio entre los refuerzos longitudinales en m

l = Distancia en m entre el fondo y la cubierta

Grafica 11. Refuerzos longitudinales de fondo



Fuente: Elaboración propia

Para hallar el espesor de los laterales utilizaremos la fórmula 7.5:

$$t = \left[\left(\frac{s}{645} \right) \sqrt{(L - 15,2) * \left(\frac{d}{D} \right) + 2,5} \right] * 0,9Q \text{ mm} \quad 7.5$$

Dónde:

s = Espaciamiento entre cuadernas

L = Eslora del buque en m

d = Calado del buque en m

D = Puntal del buque en m

Q = Factor del material

ABS Sección 9

Refuerzos laterales

Cada refuerzo lateral, en conjunto con el encuadernamiento, tienen un módulo de sección obtenido de la ecuación 7.5, para cada uno de los refuerzos longitudinales de costado se utilizara un espaciamiento entre sí de 320 mm.

$$SM = 0,9Q(4,74chs^2)cm^3 \quad 7.6$$

Donde

$$c = 1,50$$

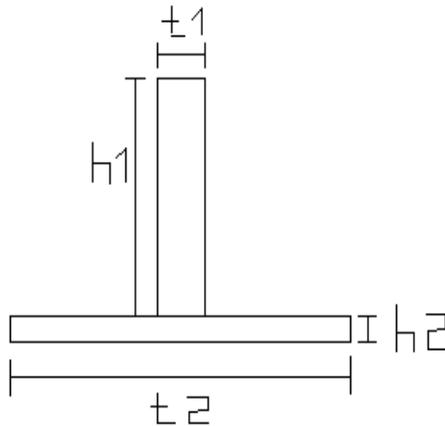
s = Longitud media entre el encuadernamiento y los refuerzos laterales.

h = Distancia vertical desde la línea de carga o 1,8 a cualquier distancia menor que este.

l = Espacio entre el encuadernamiento.

Q = Factor del material.

Grafica 12. Refuerzos longitudinales de costados



Fuente: Elaboración propia

ABS Sección 8 Cuadernas.

Espacio entre cuadernas

El espaciado en los piques y la distancia desde la popa hasta la primera cuaderna generalmente no deben exceder los 610 mm o el espaciamiento estándar de cuadernas en el centro del buque, lo que sea menor.

El espaciamiento estándar entre cuadernas "S" puede ser obtenido a partir de la ecuación 7.6.

$$S = 2,08L + 438 \text{ mm} \quad \text{Para } L < 152,5 \text{ m} \quad 7.7$$

Dónde:

L = longitud del buque en metros

ABS Sección 12 Mamparos

Mamparos

Todas las embarcaciones deberán contar con dispositivos adecuados para proporcionar efectivo resistencia a la flexión y la rigidez del casco. Esto se puede conseguir mediante la instalación de mamparos transversales que se extienden para fortalecer a la cubierta, no hay una norma como tal que determine cuanto va debe ser el espaciamiento de esto, solo se debe colocar cuantos sean necesarios para una buena resistencia en la cubierta. En los buques de tipo especial, resistencia transversal equivalente puede obtenerse mediante la instalación de mamparos parciales importantes o combinaciones de estos, a fin de mantener la continuidad transversal efectiva de estructura.

Mamparos de colisión

No deben estar ubicados a más de $0,05L$, siendo L la eslora del buque.

Remplazando los valores tenemos $0,05(32 \text{ m}) = 1,6 \text{ m}$, en nuestro diseño utilizaremos 1 m de separación.

Para hallar el espesor de las láminas de los mamparos y los mamparos de Colisión se debe utilizar la ecuación 7.8:

$$t = \frac{0,9(Q_0 + \sqrt{Q_0})}{2} \left(s \left[\frac{(h+6,1)}{1830} \right] + 3,05 \right) \text{ mm} \quad 7.8$$

Donde

t = espesor en mm (thickness in mm)

h = distancia en m entre el fondo y la placa de cubierta

s = espaciamento entre los refuerzos en mm

Q_0 = Factor del material

El espesor de los mamparos de colisión se ha de obtener a partir de la ecuación utilizando una separación de 152 mm (6 pulgadas) mayor de la que realmente se utiliza. El espesor en los mamparos después de los piques de proa y popa no debe ser menor para la requerida por el piso sólido.

Refuerzos

Cada refuerzo asociado con en asociación con la lámina de mamparo a la que está unido, debe tener un módulo de sección SM como se obtiene de la ecuación 7.9.

$$SM = 0,9Q_0 7.9 c h s l^2 \text{ cm}^3 \quad 7.9$$

Dónde:

Q_0 = Factor del material

c = Para buques de eslora igual o superior 65,50 m

- 0,30 para los refuerzos que tienen eficientes soporte de ambos extremos de sus tramos

- 0,43 para refuerzos que tienen soportes eficientes en un extremo y apoyada por conexiones de clip o por vigas horizontales en la otro extremo
- 0,56 para refuerzos que tienen conexiones de clip en ambos extremos, o clip conexiones en un extremo y soportados por vigas horizontales en el otro extremo, y para refuerzos en las cubiertas de la más superior no tener uniones de los extremos.
- 0,60 para refuerzos de otros que no tienen uniones de los extremos y para refuerzos entre vigas horizontales.

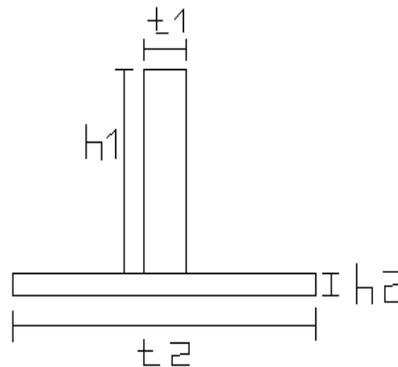
En los buques de menos de 45 m (150 pies) de longitud, los valores anteriores de C pueden ser 0,29, 0,38, 0,46 y 0,58 respectivamente.

h = Se puede tomar como la distancia en m desde el centro de la distancia l a la cubierta.

s = Espaciamiento entre refuerzos en m.

l = Distancia en metros entre las uniones de los extremos del refuerzo.

Grafica 13. Refuerzos longitudinales de mamparos



Fuente: Elaboración propia

El valor del módulo de sección en los refuerzos de los mamparos de Colisión deberá ser por lo menos 25% más grande que el módulo de sección requerido en los mamparos estanco.

Calculamos el SM mínimo para los refuerzos de los mamparos de colisión.

Dónde: $SM_{mamparos\ estancos} = 5,34\ cm^3$

$$SM_{mamparos\ colisión} = 5,34\ cm^3 * 1,25 = 6,6$$

ABS Sección 16 Cubierta

Escantillonamiento de cubierta

El espesor para las placas de cubiertas no debe ser menor al obtenido a partir de las ecuaciones 7.10 y 7.11.

Para el espesor de la placa media de cubierta.

$$t = 0.9(Q) (0.029(L) + 6.5) mm \quad \text{Para } L \leq 120\ m \quad 7.10$$

$$L = 32\ m \text{ Eslora de la barcaza}$$

$$Q = \text{Factor del material}$$

Ecuación para el espesor de las láminas en los extremos de cubierta.

$$t = 0.9(Q)(0.014(L) + 7.2) mm \quad \text{Para } L \leq 152.5\ m \quad 7.11$$

Para cada uno de los refuerzos longitudinales de cubierta se utilizara un espaciamiento entre sí de 320 mm, Cada uno de las vigas de la cubierta de carga tienen módulo de sección que se halla mediante la ecuación 7.12:

$$SM = (0,9Q)4,74cBhl^2 \quad 7.12$$

Dónde:

$$c = 1,0$$

B = Manga.

h = requerido de la sección 10.

l = espaciamiento entre refuerzos.

Q = factor del material.

El valor de h se debe tomar de la columna apropiada en la tabla 15 según lo siguiente: Cubiertas de francobordo que no tienen cubiertas debajo --- Col. a

Cubiertas de francobordo con cubiertas debajo --- Col. b

Cubierta de puentes de control --- Col. c

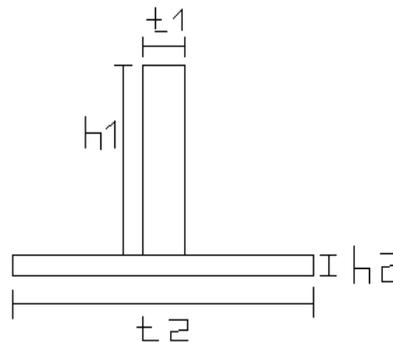
Utilizaremos la opción **a**, que es para cubiertas que no tienen cubiertas debajo lo cual se cumple en nuestra barcaza, para $L = 30$; $a = 1.36$.

Tabla 7. Valores de h por la manga

Metros				
L	a	b	c	d
30	1.36	1.06	0.91	0.60
40	1.56	1.26	1.01	0.70
50	1.66	1.46	1.11	0.80
60	1.96	1.66	1.21	0.90
70	2.16	1.86	1.31	0.100
80	2.36	2.06	1.41	1.10
90	2.56	2.26	1.51	1.20
100	2.76	2.29	1.69	1.30
110	2.90	2.29	1.90	1.44
120	2.90	2.29	1.98	1.64

Fuente: Rules For Building and Classing Aluminum Vessels™ de ABS

Grafica 14. Refuerzos longitudinales de cubierta



Fuente: Elaboración propia

7.2 Dimensiones de la barcaza

La embarcación a diseñar será de aluminio, las embarcaciones utilizadas actualmente son construidas en acero con características diferentes, de su relación eslora manga, para una eslora dada obtendremos la manga.

Tabla 8. Dimensión de las barcasas actuales y su capacidad de carga

Barcasas Típica Río Magdalena	Eslora	Manga	Puntal	
Medidas de la barcaza	44.5	11.5	1.8	
Profundidad del río en pies.	4.00	4.50	5.00	6.00
Profundidad del río en mts.	1.22	1.37	1.53	1.83
UKC estimado en pies	0.75	0.75	0.75	0.75
UKC estimado en mts.	0.23	0.23	0.23	0.23
Calado máximo de la barcaza, en pies.	3.25	3.75	4.25	5.25
Calado máximo de la barcaza, en mts.	0.99	1.14	1.30	1.60
Desplazamiento embarcación en tons.	508	586	664	820
Peso del buque vacío en tons.	100	100	100	100
Capacidad máxima de carga en tons.	408	486	564	720

Fuente: Presentación de PowerPoint - Latinports.org

Con ayuda de estos datos y el calado a utilizar de 3 pies (0.9m) las dimensiones principales para nuestra embarcación quedan definidas:

LT: 32 m

B: 10 m

D: 1.2 m

El casco de la embarcación será plano, ya teniendo las dimensiones definidas se pasa a la realización del plano de formas, basándose en el diseño más eficiente para este río.

Para esto se utilizara el software de diseño naval AVEVA Marine (Licencia de la Universidad Tecnológica de Bolívar), y así definir completamente las características de la embarcación, estas son:

LT: 32 m

Lpp: 30 m

B: 10 m

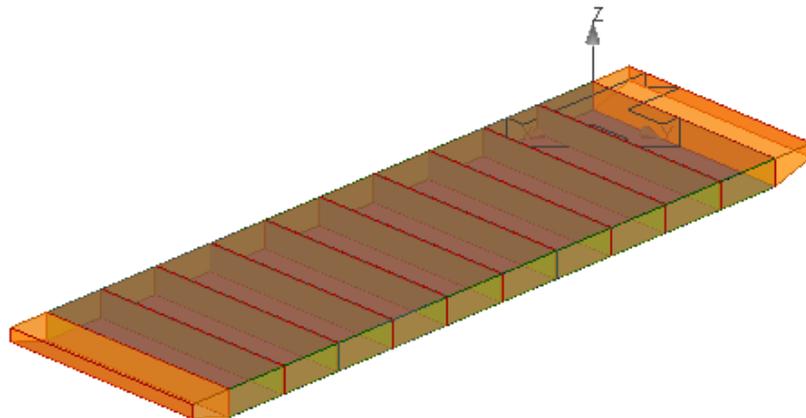
D: 1.2 m

d: 0.9 m

Δ_T : 300 tones.

Cb: 0,98

Grafica 15. Barcaza en AVEVA Marine



Fuente: AVEVA Marine, Elaboración propia.

7.3 Características Hidrostáticas.

En el análisis de las características hidrostáticas del casco de la embarcación se verifican las condiciones de flotabilidad, se calcula el francobordo y la

eslora inundable a partir del plano de formas de la barcaza por medio del software AVEVA Marine, de las curvas hidrostáticas y curvas cruzadas, se evaluara de forma preliminar la estabilidad de nuestra embarcación.

7.3.1 Curvas Hidrostáticas

Son las curvas que reflejan del comportamiento de la carena de un buque para los diferentes calados (estados de carga). Reciben el nombre de carena derecha pues son calculadas para la condición de adrizamiento.¹²

Se calcularon para diferentes calados obteniendo así diferentes resultados de desplazamiento, LCF, LCB, toneladas por centímetro de inmersión entre otros datos.

Para una correcta interpretación de los gráficos y tablas que se encuentran en las páginas siguientes es necesario agregar las siguientes denominaciones de los diferentes símbolos que se encuentran en estas.

Tabla 9. Denominación de símbolos en las curvas hidrostáticas.

N°	Denominación	Símbolo
1	Toneladas por centímetro de inmersión	TPC
2	Metacentro	MTC
3	Centro longitudinal de carena	LCB
4	Centro long. Del plano de flotación	LCF
5	Posición vertical del centro de gravedad	VCG
6	Altura del metacentro longitudinal	KML
7	Altura del metacentro transversal	KMT
8	Posición vertical del centro de boyantes	VCB
9	Desplazamiento	Δ

Fuente: Elaboración propia.

¹² http://es.wikipedia.org/wiki/Atributos_de_la_carena_derecha

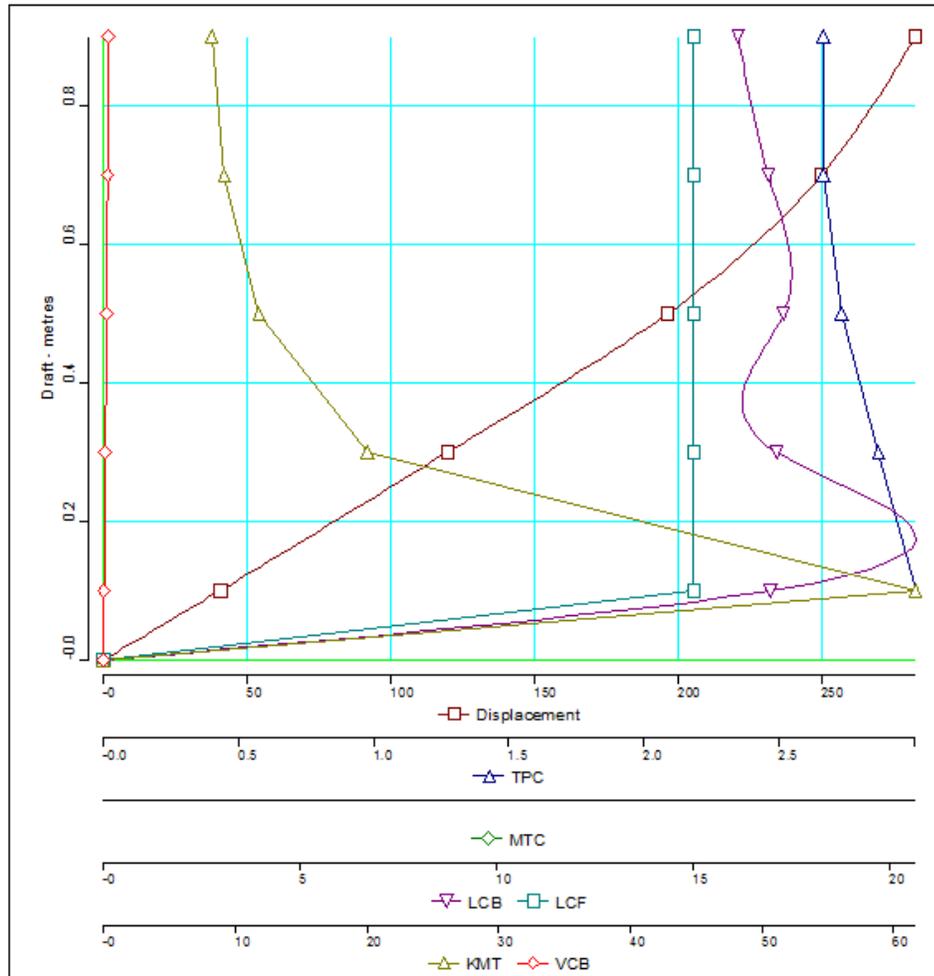
Grafica 16. Curvas hidrostáticas barcaza

Barge Calc

Hydrostatics

Form Calculations

Curves



Fuente: AVEVA Marine, Elaboración propia.

Tabla 10. Cálculos hidrostáticos barcaza*Barge Calc***Hydrostatics***Form Calculations***Tables**

Trim	0.00	metres
Heel	0.00	degrees
Shell thickness	0.00000	mm
Keel thickness	0.00000	mm
Hog (+ve)/ Sag (-ve)	0.00000	metres
Water density	1.02500	tonnes/cu.m

All drafts are moulded

Hydrostatics

Draft (m)	Displt (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m ²)	LCF (m)	KML (m)	KMT (m)	WSA (m ²)	TPC (t/cm)	MTC (t-m/cm)
0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	300.00	0.00	-1.#J
0.10	40.66	16.954	0.047	293.33	15.000	528.612	61.671	315.03	3.01	1.#J
0.30	119.93	17.115	0.139	280.00	15.000	151.364	20.082	345.48	2.87	1.#J
0.50	196.46	17.283	0.230	266.67	15.000	73.982	11.824	376.47	2.73	1.#J
0.70	250.10	16.906	0.306	260.00	15.000	50.498	9.186	402.96	2.67	1.#J
0.90	282.90	16.141	0.378	260.00	15.000	44.750	8.228	424.56	2.67	1.#J

Fuente: AVEVA Marine, Elaboración propia.

8. CALCULO DE PESOS Y CENTROS DE GRAVEDAD

8.1 Estimación de Pesos y Centros de Gravedad.

Se debe realizar para calcular el desplazamiento total que tendrá la embarcación en estudio, el desplazamiento lo podemos dividir en esta etapa como:

- Desplazamiento liviano o desplazamiento en rosca
- Peso muerto

8.1.1. Desplazamiento liviano ¹³

El desplazamiento se define como Δ = volumen sumergido por el peso específico del agua en que flota, y representa el peso del agua desplazada por este volumen (Principio de Arquímedes), La unidad utilizada es toneladas.

Desde el punto de vista de la teoría del buque se distinguen:

Desplazamiento en rosca, Δ_r (en inglés, lightweight displacement): es el peso del buque tal como lo entrega el astillero; esto es, sin combustible, pertrechos, víveres ni tripulantes.

Desplazamiento Liviano, Δ_e Es el peso del buque completo, además de equipos (botes, instrumentos de navegación, etc.) más tripulación con su equipaje, líquidos en circulación, víveres, munición (en los buques de guerra), agua dulce y aceite lubricante. Quedarían excluidos el combustible y el agua de reserva.

¹³ [http://es.wikipedia.org/wiki/Desplazamiento_\(n%C3%A1utica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Desplazamiento_(n%C3%A1utica))

8.1.2. Peso muerto

El peso muerto (frecuentemente referido como tonelaje de peso muerto o DWT, por sus siglas en inglés) es un término utilizado para medir la capacidad de transporte de un barco. Se refiere a la diferencia entre el desplazamiento del barco cuando está lleno y cuando está vacío. Puesto de otra forma, el peso muerto describe el peso de todo lo que esté sobre el barco: pasajeros, personal, carga, lastre, provisiones y combustible. Éste es un cálculo importante de aprender para cualquiera que esté involucrado con los barcos y es relativamente simple de calcular.

8.1.3. Calculo de desplazamiento liviano

Cálculos de desplazamiento liviano de la barcaza para contenedores de 20 pies.

Tabla 11. Calculo de pesos en mamparos y cuadernas transversales

MAMPAROS Y CUADERNAS TRANSVERSALES								
Cuadernas			Mamparos			Espejos de Proa y Popa		
Área	1,12	m2	Área	12	m2	Área	3	m2
Espesor	0,006	m	Espesor	0,006	m	Espesor	0,006	m
Volumen	0,007	m3	Volumen	0,072	m3	Volumen	0,018	m3
Densidad	2700	Kg/m3	Densidad	2700	Kg/m3	Densidad	2700	Kg/m3
Peso	18,1	Kg	Peso	194,4	Kg	Peso	48,6	Kg
N° de cuadernas	59	Unid.	N° de mamparos	9	Unid.	N° de espejos	2	Unid.
Peso T. Cuadernas	1070,496	Kg	Peso T. Mamparos	1749,6	Kg	Peso T. espejos	97,2	Kg
Mamparos de colisión			Peso Total Mamparos y cuadernas transversales			3306,1 Kg		
Área	12	m2						
Espesor	0,006	m						
Volumen	0,072	m3						
Densidad	2700	Kg/m3						
Peso	194,4	Kg						
N° de mamparos	2	Unid.						
Peso T. M. Colisión	388,8	Kg						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Calculo de pesos refuerzos de mamparos estancos.

REFUERZOS LONG. MAMPAROS		
Área	0,00128	m2
Espesor	1,2	m
Volumen	0,002	m3
Densidad	2700	Kg/m3
Peso	4,1	Kg
N° de refuerzos	45	Unid.
Peso total de refuerzos	186,624	Kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Calculo de pesos refuerzos mamparos de colisión.

REFUERZOS LONG. MAMPAROS COL.		
Área	0,001368	m2
Espesor	1,2	m
Volumen	0,002	m3
Densidad	2700	Kg/m3
Peso	4,4	Kg
N° de refuerzos	10	Unid.
Peso total de refuerzos	44,3232	Kg

Tabla 14. Calculo de pesos en casco.

CASCO		
Área Fondo	300,0	m2
Esp. Fondo	0,006	m
Volumen Fondo	1,80	m3
Densidad	2700	Kg/m3
Peso Fondo	4860	Kg
Área Costados	72,0	m2
Esp. Costados	0,009	m
Volumen Costado	0,65	m3
Densidad	2700	Kg/m3
Peso Costado	1749,6	Kg

Área Cubierta	320,0	m2
Esp. Cubierta	0,015	m
Volumen Cubierta	4,80	m3
Densidad	2700	Kg/m3
Peso Cubierta	12960	Kg
Peso Total	19569,6	Kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Calculo de pesos en Refuerzos Longitudinales de fondo

REFUERZOS LONG. DE FONDO		
Área	0,002052	m2
Espesor	30	m
Volumen	0,062	m3
Densidad	2700	Kg/m3
Peso	166,2	Kg
N° de refuerzos	15	Unid.
Peso total de refuerzos	2493,18	Kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Calculo de pesos en refuerzos longitudinales de cubierta

REFUERZOS LONG. DE CUBIERTA		
Área	0,002052	m2
Espesor	30	m
Volumen	0,062	m3
Densidad	2700	Kg/m3
Peso	166,2	Kg
N° de refuerzos	15	Unid.
Peso total de refuerzos	2493,18	Kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Calculo de pesos en refuerzos longitudinales de costado

REFUERZOS LONG. LATERALES		
Área	0,002052	m2
Espesor	30	m
Volumen	0,062	m3
Densidad	2700	Kg/m3
Peso	166,2	Kg
Nº de refuerzos	2	Unid.
Peso total de refuerzos	332,424	Kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Peso total de la barcaza

PESO TOTAL BARCAZA	
27527,6	Kg

Fuente: Elaboración propia

El cálculo del calado en función del desplazamiento total de la barcaza, teniendo el peso total de la barcaza y el de la carga se obtiene utilizando la ecuación 8.1.

E = Empuje

L = Eslora

B = Manga

d = Calado

ρ = Densidad del fluido

$\Delta = W = DW + LS$; Desplazamiento

DW = Dead Weight; Peso de contenedores con plena carga.

LS = Lightship; Peso de la embarcación

$W = E$

$$DW + LS = (L*B) * d * \rho \quad 8.1$$

$$\frac{DW + LS}{L * B * \rho} = d$$

$$\frac{270 \text{ ton} + 28 \text{ ton}}{32 \text{ m} * 10 \text{ m} * 1 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}} = 0,9 \text{ m}$$

8.1.4. Calculo de peso muerto

El peso muerto correspondiente en esta embarcación, de acuerdo a sus características y actividad que realizará, serán los que a continuación se mencionen y desarrollen considerando en ello los posibles tipos de carga que se transportarán, obteniéndose con ello la información necesaria para determinar las coordenadas del centro de gravedad de la embarcación y el desplazamiento máximo para el posterior análisis de estabilidad inicial de cada condición.

8.1.4.1. Peso del combustible y lubricantes

Nuestra barcaza no cuenta con propulsión propia por lo tanto no necesita combustible ni lubricantes, en nuestro diseño el espacio de los tanques de combustible cumple la función de contenedor de carga dado el caso que se requiera transportar cargas húmedas, siempre y cuando se respete la capacidad máxima de carga de la barcaza que es de 270 Ton.

8.1.4.2. Peso de agua dulce, lastre, provisiones y tripulación.

Nuestra barcaza no necesita tripulación para su funcionamiento, por la tanto no necesita transportar agua dulce ni provisiones y tampoco generaría agua de lastre o agua sucia.

8.1.4.3. Peso de la carga

Como mencionamos anteriormente, esta barcaza tiene la posibilidad de transportar varios tipos de carga seca dentro de contenedores los cuales se ubicarían en la cubierta de está, en el caso de los contenedores tendrá la capacidad de cargar 10 contenedores de 20 pies, cada uno de estos contenedores representa una carga de 27.000 Kg aproximadamente incluyendo su propio peso que es 2.000 Kg.

Peso Máximo de carga = 270 Ton.

8.1.5. Centro de gravedad y peso de la embarcación

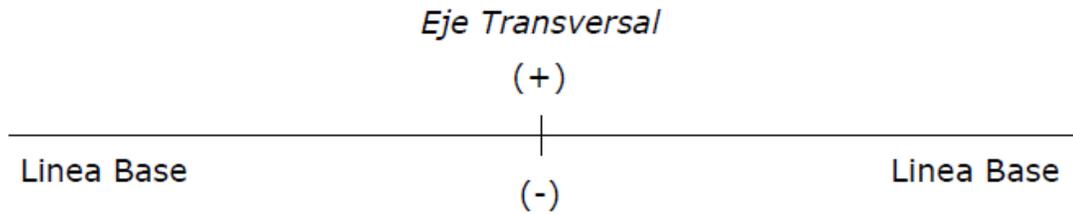
En nuestro estudio solo se identifica el centro de gravedad de la embarcación con su carga respectivamente, debido a que solo se cuenta con el casco de la embarcación y la carga, no tiene ningún otro elemento estructural para analizar como:

- Superestructura
- Cuarto de maquinas
- Combustible
- Acomodaciones

Solo hallaremos el centro de gravedad transversal de la barcaza y su carga, como nuestro diseño no posee ningún otro tipo de estructura en proa y popa no es necesario realizar un análisis longitudinal porque sus pesos son iguales en ambos lados y su centro de gravedad por ser geoméricamente iguales seria en la mitad de la estructura.

Se realizará el cálculo de sus centros de gravedad respectivo, usando de referencia para las coordenadas verticales la línea base.

Grafica 17. Referencias de coordenadas transversales



Fuente: Elaboración propia

Utilizaremos de línea base el fondo de la barcaza, siendo positivo lo que se encuentre por encima de este y negativo lo que esté por debajo.

Tabla 19. Centros de gravedad y pesos de la embarcación con carga.

ITEM	PESO	V.C.G	MTO. Vertical
	(Ton)	(m)	(Ton*m)
Cubierta	12,96	1,209	15,66864
Fondo	4,9	0,003	0,0147
Cuadernas transversales	1,2	0,156	0,1872
Mamparos transversales	2,1	0,606	1,2726
Refuerzos Longitudinales de fondo	2,5	0,156	0,39
Refuerzos Longitudinales de cubierta	2,5	0,156	0,39
Refuerzos Longitudinales de costado	0,3	0,156	0,0468
Refuerzos Mamparos estancos	0,19	0,606	0,11514
Refuerzos Mamparos colisión	0,045	0,606	0,02727
Costados	1,8	0,606	1,0908
Espejo de popa	0,05	1,056	0,0528
Espejo de proa	0,05	1,056	0,0528
Contenedores	270	2,412	651,24
TOTAL	298,595		670,54875

VCG (Coord. Vertical Centro Gravedad)	Y =	2,25
---------------------------------------	-----	------

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados anteriores se obtiene la coordenada final del centro de gravedad de la embarcación y su carga:

$$V.C.G \text{ (Coord. Vertical Centro Gravedad)} = \frac{\Sigma MTO \text{ Vertical}}{\Sigma Pesos} = 2,23$$

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

8.2 Análisis de estabilidad transversal ¹⁴

En nuestro estudio trabajaremos con la reglamentación aplicable para embarcaciones de eslora superior a 24 metros, “Código de Estabilidad sin avería para todos los tipos de buques regidos por los instrumentos de la O.M.I.”

Criterios de estabilidad sin avería

El área bajo la curva de brazos adrizantes hasta el ángulo correspondiente al brazo adrizante máximo no será inferior a 0,08 m.rad.

El ángulo de escora estática producido por una carga del viento uniformemente distribuida de 0,54 kPa (velocidad del viento de 30 m/s) no debe ser superior al ángulo para el que se sumerja la mitad del francobordo en la condición pertinente de carga, donde el brazo de palanca del momento escorante producido por el viento se mide desde el centroide de la superficie expuesta al viento hasta el punto medio del calado.

El rango mínimo de estabilidad será de:

20° si $L < 100$ m;

15° si $L \geq 150$ m;

Para las esloras intermedias se calculará por interpolación.

¹⁴ Código de estabilidad sin avería para todos los tipos de buques regidos por los instrumentos de la O.M.I. 2da edición.

8.3 Condiciones de carga

Se utiliza “Código de Estabilidad sin avería para todos los tipos de buques regidos por los instrumentos de la O.M.I.” en el mismo Capítulo, en el punto 3.5 donde se hace referencia de las condiciones de carga para naves.

Condiciones normales de la carga que deben examinarse¹⁵

Condiciones de carga

Las condiciones típicas de carga a que se hace referencia en el texto del presente Código son las siguientes:

Buques de carga:

- Buque en la condición de salida a plena carga, distribuida ésta de forma homogénea en todos los espacios de carga y con el total de provisiones y combustible;
- Buque en la condición de llegada a plena carga, distribuida ésta de forma homogénea en todos los espacios de carga y con el 10% de provisiones y combustible;
- Buque en la condición de salida en lastre, sin carga, pero con la totalidad de provisiones y combustible;
- Buque en la condición de llegada en lastre, sin carga, y con el 10^o de provisiones y combustible;

Las condiciones típicas de carga a que se hace referencia en el texto del presente Código son las siguientes:

¹⁵ Código de estabilidad sin avería para todos los tipos de buques regidos por los instrumentos de la O.M.I. 2da edición

Buques de carga destinados a llevar carga en cubierta:

- Buque en la condición de salida a plena carga, distribuida ésta de forma homogénea en las bodegas, con una cubierta de medidas y peso especificados y con la totalidad de provisiones y combustible;
- Buque en la condición de llegada a plena carga, distribuida ésta de forma homogénea en las bodegas, con una cubierta de medidas y peso especificados, y con el 10% de provisiones y combustible.

Para evaluar en general si se satisfacen los criterios de estabilidad, se trazarán las curvas cruzadas de estabilidad correspondientes a las condiciones de carga con las que operará la barcaza.

8.4. Curvas Cruzadas de estabilidad

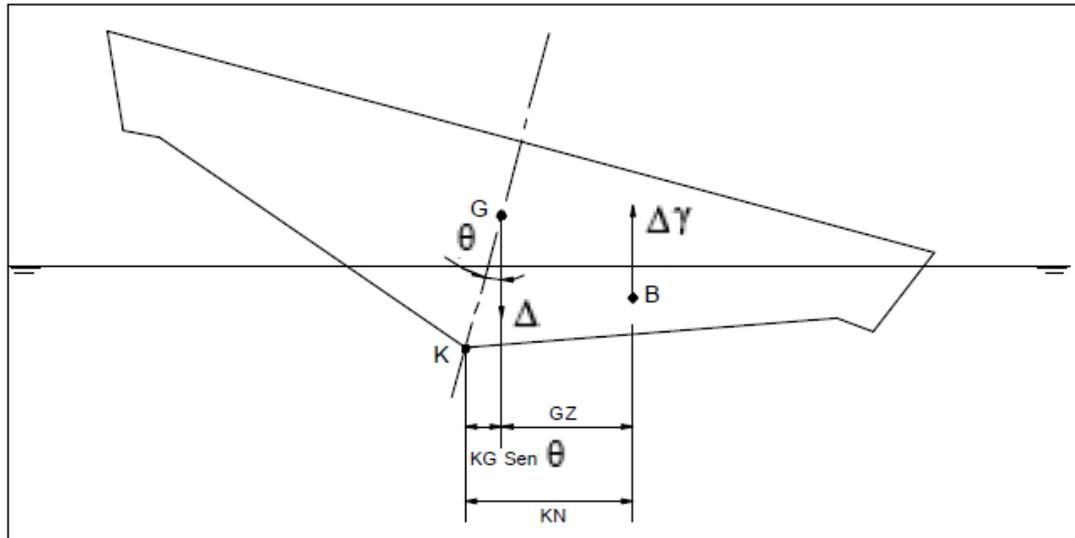
Estas curvas nos indican el brazo adrizante de la embarcación, para distintos desplazamientos, en distintos ángulos de escora.

Debido a que no se conoce con exactitud la posición del centro de gravedad, ya que depende de la distribución de pesos, se hace una suposición del centro de gravedad en el punto más bajo de las formas del casco, donde denominamos este punto con la letra K, por lo tanto nuestro supuesto brazo adrizante será KN, y así generamos el plano de curvas cruzadas, para cualquier condición de carga. Luego una vez conocido el centro de gravedad de la nave, deberá realizarse la siguiente corrección.¹⁶

$$GZ = KN - KG \operatorname{sen}\theta. \quad \text{Donde } GZ \text{ es el verdadero brazo adrizante}$$

¹⁶ <http://estabilidadbuque.blogspot.com/2011/07/estabilidad-y-curvas-hidrostaticas.html>

Grafica 18. Calculo de curvas cruzadas



Fuente: <http://estabilidadbuque.blogspot.com/2011/07/estabilidad-y-curvas-hidrostaticas.html>

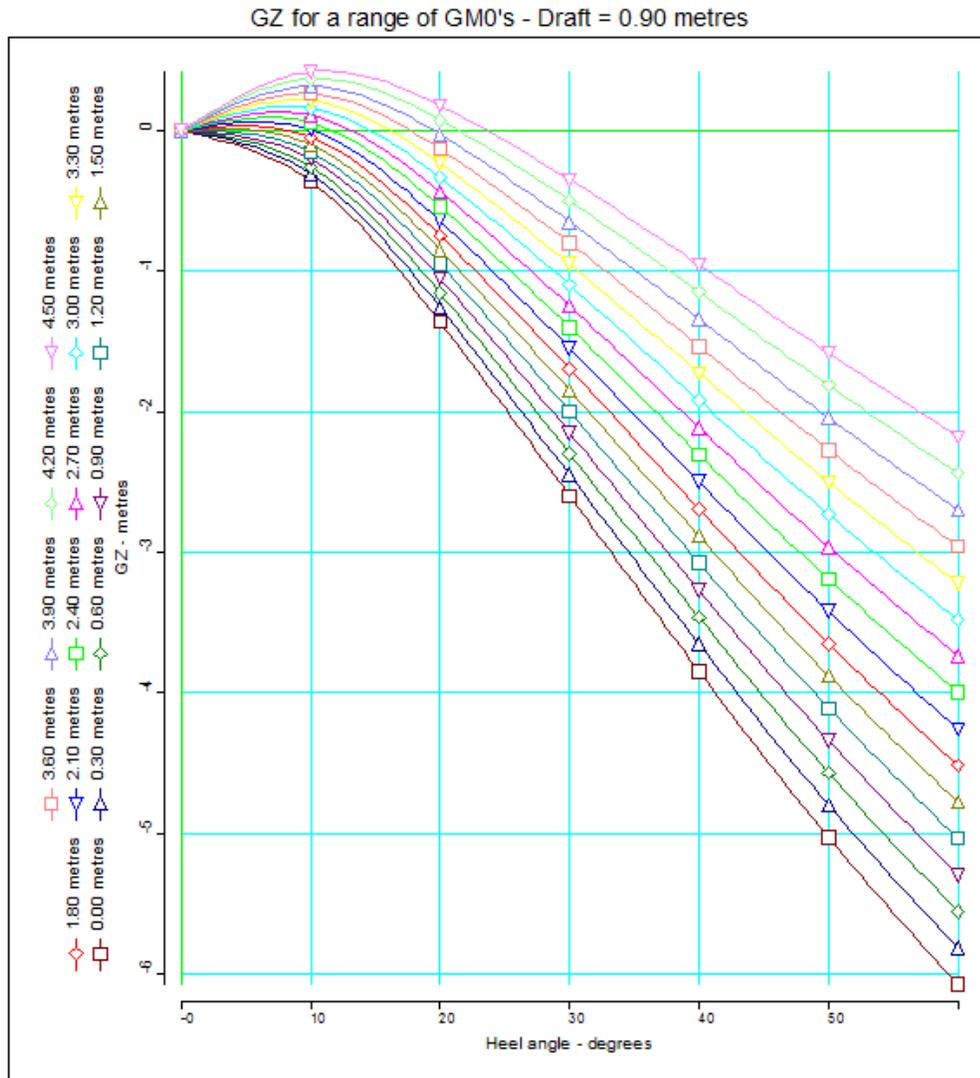
En este proyecto nos apoyamos del software de diseño naval AVEVA Marine el cual nos brinda la ventaja de realizar estos cálculos automáticamente luego de insertar cada uno de los datos de la barcaza y no es necesario hallarlos manualmente.

Grafica 19. Curvas cruzadas de estabilidad

Barge_Calc

Cross Curves

Form Calculation



Fuente: AVEVA Marine, Elaboración propia.

Gráficamente se observa que para ángulos mayores a 20° de escora todos los valores de GZ dan como resultado el volcamiento de la embarcación.

Tabla 20. Cálculos de las curvas cruzadas.

Barge Calc Cross Curves Form Calculations

Tables

Trim 0.00 metres
 Shell thickness 0.00000 mm
 Keel thickness 0.00000 mm
 Water density 1.02500 tonnes/cum

All drafts are moulded

WLR radius (m)	Heel (deg)	Trim (m)	Displ't (t)	KN (m)	GM (m)	DS (m-rads)	Deck (m)
0.00	0.00	0.000	0.00	-1.430	-1.410	0.000	0.000
0.00	10.00	0.000	0.00	-1.430	-1.410	0.000	0.000
0.00	20.00	0.000	0.00	-1.430	-1.410	0.000	0.000
0.00	30.00	0.000	0.00	-1.430	-1.410	0.000	0.000
0.00	40.00	0.000	0.00	-1.430	-1.410	0.000	0.000
0.00	50.00	0.000	0.00	-1.430	-1.410	0.000	0.000
0.00	60.00	0.000	0.00	-1.430	-1.410	0.000	0.000
0.10	0.00	0.000	40.66	0.000	61.671	0.000	-0.100
0.36	10.00	0.000	40.74	3.633	2.051	0.500	-0.563
0.76	20.00	0.000	40.67	3.775	-0.064	1.147	-0.760
0.88	30.00	0.000	40.65	3.620	-1.006	1.779	-0.880
0.94	40.00	0.000	40.65	3.317	-1.912	2.365	-0.944
0.96	50.00	0.000	40.64	2.898	-2.606	2.896	-0.960
0.94	60.00	0.000	40.67	2.381	-3.131	3.347	-0.943
0.30	0.00	0.000	119.93	0.000	20.082	0.000	-0.300
0.93	10.00	0.000	119.96	2.658	4.889	0.303	-0.931
1.28	20.00	0.000	119.82	2.887	0.747	0.761	-1.279
1.54	30.00	0.000	119.91	2.789	-0.431	1.231	-1.544
1.75	40.00	0.000	119.91	2.556	-1.139	1.669	-1.748
1.89	50.00	0.000	119.92	2.228	-1.682	2.055	-1.892
1.97	60.00	0.000	119.89	1.831	-2.103	2.373	-1.965
0.50	0.00	0.000	196.46	0.000	11.824	0.000	-0.500
1.17	10.00	0.000	196.51	1.770	5.867	0.160	-1.174
1.71	20.00	0.000	196.41	2.018	1.598	0.489	-1.706
2.13	30.00	0.000	196.38	1.990	0.566	0.768	-2.132
2.48	40.00	0.000	196.38	1.841	-0.116	1.032	-2.475
2.74	50.00	0.000	196.40	1.610	-0.636	1.291	-2.737
2.91	60.00	0.000	196.43	1.324	-1.019	1.474	-2.905
0.70	0.00	0.000	250.10	0.000	9.186	0.000	-0.700
1.42	10.00	0.000	250.17	1.248	5.253	0.104	-1.423
2.12	20.00	0.000	250.01	1.569	2.150	0.321	-2.116
2.71	30.00	0.000	250.08	1.596	1.119	0.546	-2.705
3.20	40.00	0.000	250.07	1.501	0.403	0.733	-3.199
3.61	50.00	0.000	250.08	1.320	-0.096	0.920	-3.614
3.95	60.00	0.000	250.09	1.088	-0.463	1.034	-3.951
0.90	0.00	0.000	282.90	0.000	8.228	0.000	-0.900
1.66	10.00	0.000	283.03	1.069	4.656	0.117	-1.662
2.51	20.00	0.000	282.82	1.455	2.279	0.314	-2.509
3.25	30.00	0.000	282.87	1.516	1.235	0.521	-3.253
3.90	40.00	0.000	282.87	1.442	0.532	0.712	-3.901
4.48	50.00	0.000	282.88	1.275	0.020	0.863	-4.484

Fuente: AVEVA Marine, Elaboración propia.

8.5 Evaluación de estabilidad transversal

De acuerdo a lo observado gráficamente en el desarrollo de los cálculos para las curvas cruzadas de estabilidad se ha apreciado para la condición de carga máxima, la inundación en la cubierta se produciría para ángulos superiores a los 20° de escora aproximadamente.

Otro antecedente importante es que como las cargas no van trincadas, solo apoyadas en cubierta, es vital cuidar de no exponer la embarcación a condiciones de escora que puedan desplazarlas.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las curvas de estabilidad se verificará si la embarcación cumple los criterios de la reglamentación aplicada, teniendo:

Tabla 21. Evaluación entre criterios norma y calculados en la barcaza.

Criterios norma OMI	Carga de contenedores
$0 < \theta < 20^\circ$ Área $> 0,08$ m.rad	1,034 m.rad
$\theta = 20^\circ$ si $L < 100$ m	$\theta = 20^\circ$ $L = 32$ m
Conclusión	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la tabla 27 se obtienen de acuerdo a la gráfica 17 (Curvas cruzadas de estabilidad) y los resultados expuestos en la tabla 26 (Cálculos de las curvas cruzadas)

8.6 Evaluación de estabilidad longitudinal

Para nuestro diseño este tipo de estabilidad no se toma en cuenta ya que no utiliza trimado, la distribución de las cargas es uniforme en toda la cubierta dando como resultado un *Trim* = 0.

9. RESULTADOS

ESTRUCTURA DEL CASCO

Utilizando la ecuación 7.1 obtuvimos el módulo de sección de la estructura del casco de nuestra barcaza:

$$SM_{basic} = 57,02 \times 10(0,98 + 0,5)(0,9 \times 1,7) \text{ cm}^2 \text{ m}$$

$$SM_{basic} = 129.120,1 \text{ cm}^3$$

Tabla 22. Láminas, refuerzos y módulo de sección barcaza calculado

Ítem	Laminas / Planchas			Perfiles		Panel	Dist.	Momento	Momento de Inercia																	
	t (cm)	L (cm)	Área (cm ²)	No.	Área (cm ²)	Área Total (cm ²)	Línea Base	Est. Área	Propio	Transferencia																
Cubierta	1,2	1.000	1.200	15	14	1410	120	169.200	144	20.304.000,0																
Costado	0,9	120	108	2	14	136	78	10.608,0	7,3	827.424,0																
Fondo	0,6	1.000	600	15	21	915	0	0	18	0																
Total						2.461,0		179.808,0	169,3	21.131.424,0																
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td>Y[cm]</td> <td>73,06</td> <td>Inercia total [cm⁴]</td> <td>21.131.593,3</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Módulo de sección [cm³]</td> <td>289.224,3</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>SMnorma/Smcalculado</td> <td>0,44</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>OK</td> </tr> </table>											Y[cm]	73,06	Inercia total [cm ⁴]	21.131.593,3			Módulo de sección [cm ³]	289.224,3			SMnorma/Smcalculado	0,44				OK
Y[cm]	73,06	Inercia total [cm ⁴]	21.131.593,3																							
		Módulo de sección [cm ³]	289.224,3																							
		SMnorma/Smcalculado	0,44																							
			OK																							

El resultado del módulo de sección calculado de la estructura del casco de la barcaza se comparó con el requerido en la tabla 22 y se verificó si era mayor y cumplía con la norma.

Utilizando la ecuación 7.2 obtuvimos el momento de inercia mínimo para la estructura del casco completo:

$$I = \frac{[32(129.120,1)]}{(11,9 * 1,7)} \text{ cm}^3 \text{ m}$$

$$I = 20.424.336,13 \text{ cm}^4$$

La inercia calculada se comparó con la requerida por la norma y fue satisfactorio el resultado.

$$\frac{I_{\text{Calculada}}}{I_{\text{Requerida}}} = \frac{21.131.593,3}{20.424.336,13} = 1,034 \text{ OK}$$

ESTRUCTURA DEL FONDO

Utilizando la ecuación 7.3 obtuvimos el valor mínimo a utilizar para el espesor del fondo de la barcaza:

$$t_{\min} = 0,70 * \sqrt{32} + 1 \text{ mm}$$
$$t_{\min} = 5 \text{ mm}$$

Para nuestro diseño utilizamos un “*t*” de 6 mm.

Para cada uno de los refuerzos longitudinales del fondo se utilizo un espaciamiento entre sí de 320 mm, en conjunto a la lámina correspondiente con un módulo de sección que se obtuvo de la ecuación 7.4:

Utilizando la ecuación 7.4 obtuvimos el módulo de sección de la estructura del fondo de la barcaza.

$$SM = 0,9 * 1,7(7,9 * 1,3 * 0,9 * 0,32 * 1,8^2) \text{ cm}^3$$
$$SM = 14,66 \text{ cm}^3$$

Tabla 23. Calculo de SM en Refuerzos longitudinales de fondo

Refuerzos Longitudinales de Fondo							
	h (mm)	t (cm)	Área cm ²	centroide cm	Mom. Área cm ³	d cm	Inercia cm ⁴
Lamina (h2-t2)	6	32	19,2	0,30	5,7600	0,106	0,7913
Viga (h1-t1)	33	0,4	1,32	2,25	2,9700	1,825	5,5922
Y [cm]	0,43	Inercia Total cm ⁴		6,47			
		Módulo de Sección calculado cm ³		15,21			
		SMnorma/Smcalculado		0,964		OK	

Fuente: Elaboración propia

El resultado del módulo de sección calculado de la estructura del fondo de la barcaza se comparó con el requerido en la tabla 23 y se verificó si era mayor y cumplía con la norma.

LATERALES

Utilizando la ecuación 7.5 obtuvimos el espesor mínimo a utilizar en los laterales de la estructura de la barcaza.

$$t = \left[\left(\frac{500}{645} \right) \sqrt{(32 - 15,2) * \left(\frac{0,9}{1,2} \right) + 2,5} \right] * 0,9(1,7) \text{ mm}$$

$$t = 8,3 \text{ mm}$$

El espesor mínimo para los laterales es 8,3 mm, para nuestro diseño seleccionamos un espesor de 9 mm.

Utilizando la ecuación 7.6 obtuvimos el módulo de sección de los refuerzos laterales.

$$SM = 0,9 * (1,7) * [(4,74 * (1,50) * (1,8) * (2,5) * (0,5^2)] \text{ cm}^3$$

$$SM = 12,24 \text{ cm}^3$$

Tabla 24. Calculo de SM en Refuerzos longitudinales de costados

Refuerzos Longitudinales de Costado							
	h (mm)	t (cm)	Área cm ²	centroide cm	Mom. Área cm ³	d cm	Inercia cm ⁴
Lamina (h2-t2)	4	32	12,8	0,20	2,5600	0,146	0,4424
Viga (h1- t1)	30	0,4	1,20	1,90	2,2800	1,554	3,7990
Y [cm]	0,35	Inercia Total [cm4]			4,24		
		Módulo de Sección calculado cm ³			12,27		
		SMnorma/Smcalculado			0,9	OK	

Fuente: Elaboración propia

El resultado del módulo de sección calculado de los refuerzos laterales de la barcaza se comparó con el requerido en la tabla 24 y se verificó si era mayor y cumplía con la norma.

CUADERNAS

Utilizando la fórmula 7.7 con $L = 32$ m que es la longitud de nuestra barcaza obtuvimos el espaciamiento entre las cuadernas.

$$S = 2,08 * (32) + 438 \text{ mm}$$

$$S = 504,56 \text{ mm}$$

Para nuestra barcaza definimos el espaciamiento entre cuadernas de 500mm y altura de 50 mm cada una.

MAMPAROS

Utilizando la ecuación 7.8 obtuvimos el espesor mínimo de la lámina de los mamparos:

$$t = \frac{0.9(1,5 + \sqrt{1,5})}{2} \left(152 \left[\frac{(1,2 + 6,1)}{1830} \right] + 3,05 \right) \text{ mm}$$

$$t = 4,7 \text{ mm}$$

El valor del espesor mínimo para los mamparos de colisión es de 4,7 mm, para nuestra barcaza utilizamos 6 mm y también utilizamos este espesor para los mamparos estancos que se encuentran después de los piques de proa y popa.

Utilizando la ecuación 7.9 obtuvimos módulo de sección de los refuerzos de los mamparos.

$$SM = 0,9 * (1,5) * 7,9 * [0,29 * (0,6) * (2) * (1,2)^2] cm^3$$

$$SM = 5,344 cm^3$$

Tabla 25. Calculo de SM en Refuerzos longitudinales de Mamparos

Refuerzos Longitudinales de Mamparos							
	h (mm)	t (cm)	Área [cm ²]	centroide [cm]	Mom. Área [cm ³]	d [cm]	Inercia [cm ⁴]
Lamina (h 2 e t 2)	4	30	12	0,20	2,4000	0,075	0,2275
Viga (h 1 e t 1)	20	0,4	0,80	1,40	1,1200	1,125	1,2792
LN [cm]		0,28	Inercia Total [cm ⁴]		1,51		
			Módulo de Sección [cm ³]		5,48		
			SMnorma/Smcalculado		0,9 OK		

Fuente: Elaboración propia

El resultado del módulo de sección calculado de los refuerzos de los mamparos se comparó con el requerido en la tabla 25 y se verificó si era mayor y cumplía con la norma.

Tabla 26. Calculo SM refuerzos longitudinales de mamparos de colisión

Refuerzos Longitudinales de Mamparos de Colisión																			
	h (mm)	t (cm)	Área [cm ²]	centroide [cm]	Mom. Área [cm ³]	d [cm]	Inercia [cm ⁴]												
Lamina (h 2 e t 2)	4	32	12,8	0,20	2,5600	0,084	0,2602												
Viga (h 1 e t 1)	22	0,4	0,88	1,50	1,3200	1,216	1,6570												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">Y [cm]</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">0,28</td> <td style="width: 40%;">Inercia Total [cm⁴]</td> <td style="width: 30%; text-align: right;">1,92</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Módulo de Sección [cm³]</td> <td style="text-align: right;">6,76</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>SMnorma/Smcalculado</td> <td style="text-align: right;">0,75 OK</td> </tr> </table>								Y [cm]	0,28	Inercia Total [cm ⁴]	1,92			Módulo de Sección [cm ³]	6,76			SMnorma/Smcalculado	0,75 OK
Y [cm]	0,28	Inercia Total [cm ⁴]	1,92																
		Módulo de Sección [cm ³]	6,76																
		SMnorma/Smcalculado	0,75 OK																

El resultado del módulo de sección calculado de los refuerzos de los mamparos de colisión se comparó con el requerido en la tabla 26 y se verifico si era mayor y cumplía con la norma.

CUBIERTA

Utilizando la ecuación 7.10, obtuvimos el espesor de la lámina de media de cubierta:

$$t = 0.9(1.7)(0.029(32) + 6.5) \text{ mm}$$

$$t = 11,4 \text{ mm}$$

Utilizando la ecuación 7.11, obtuvimos el espesor de las láminas en los extremos de la cubierta:

$$t = 0.9(1.7) (0.014(32) + 7.2) \text{ mm}$$

$$t = 11,7 \text{ mm}$$

El valor del espesor mínimo para la cubierta en la parte central y los extremos es de 11,4 mm y 11,7 mm respectivamente, para nuestra barcaza utilizamos 12 mm de espesor en toda la cubierta.

Utilizando la ecuación 7.12 obtuvimos el módulo de sección de los refuerzos longitudinales de las láminas de cubierta:

$$SM = (0,9 \times 1,7) \times 4,74 \times 1 \times 10 \times 1,36 \times (0,32^2) \text{ m}^2$$

$$SM = 10,014 \text{ cm}^3$$

Tabla 27. Calculo de SM en Refuerzos longitudinales de cubierta

Refuerzos Longitudinales de Cubierta							
	h (mm)	t (cm)	Área cm ²	centroide [cm]	Mom. Área cm ³	d [cm]	Inercia cm ⁴
Lamina (h2-t2)	4	32	12,8	0,20	2,5600	0,146	0,4424
Viga (h1-t1)	30	0,4	1,20	1,90	2,2800	1,554	3,7990
Y [cm]	0,35	Inercia Total [cm ⁴]			4,24		
		Módulo de sección cm ³			12,27		
		SMnorma/Smcalculado			0,816	OK	

Fuente: Elaboración propia

El resultado del módulo de sección calculado de los refuerzos de las láminas de cubierta se comparó con el requerido en la tabla 27 y se verificó si era mayor y cumplía con la norma.

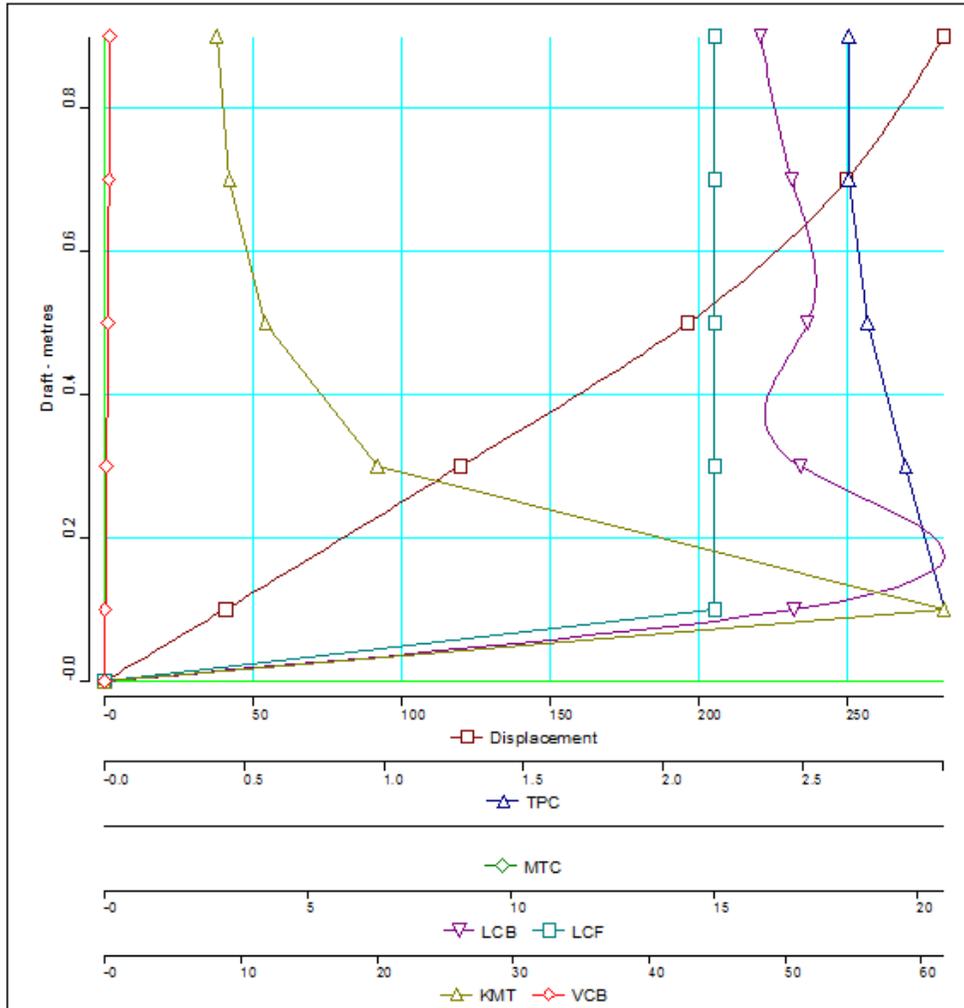
CURVAS HIDROSTATICAS BARCAZA

Barge_Calc

Hydrostatics

Form Calculations

Curves



Fuente: AVEVA Marine, Elaboración propia.

CALCULOS HIDROSTATICAS BARCAZA

Barge Calc

Hydrostatics

Form Calculations

Tables

Trim	0.00	metres
Heel	0.00	degrees
Shell thickness	0.00000	mm
Keel thickness	0.00000	mm
Hog (+ve)/ Sag (-ve)	0.00000	metres
Water density	1.02500	tonnes/cu.m

All drafts are moulded

Hydrostatics

Draft (m)	Displt (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m ²)	LCF (m)	KML (m)	KMT (m)	WSA (m ²)	TPC (t/cm)	MTC (t-m/cm)
0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	300.00	0.00	-1.#J
0.10	40.66	16.954	0.047	293.33	15.000	528.612	61.671	315.03	3.01	1.#J
0.30	119.93	17.115	0.139	280.00	15.000	151.364	20.082	345.48	2.87	1.#J
0.50	196.46	17.283	0.230	266.67	15.000	73.982	11.824	376.47	2.73	1.#J
0.70	250.10	16.906	0.306	260.00	15.000	50.498	9.186	402.96	2.67	1.#J
0.90	282.90	16.141	0.378	260.00	15.000	44.750	8.228	424.56	2.67	1.#J

CENTROS DE GRAVEDAD Y PESOS DE LA BARCAZA

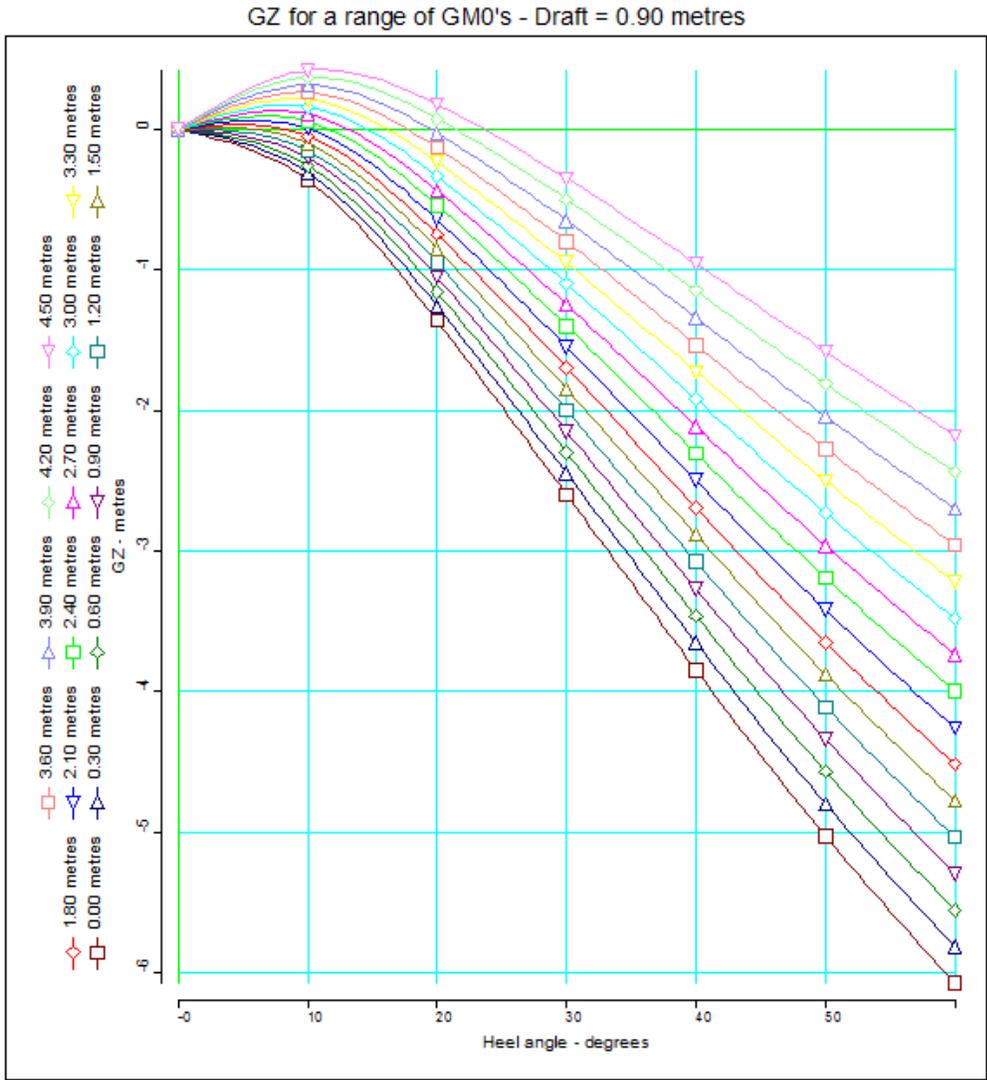
ITEM	PESO (Ton)	V.C.G (m)	MTO. Vertical (Ton*m)
Cubierta	12,96	1,209	15,66864
Fondo	4,9	0,003	0,0147
Cuadernas transversales	1,2	0,156	0,1872
Mamparos transversales	2,1	0,606	1,2726
Refuerzos Longitudinales de fondo	2,5	0,156	0,39
Refuerzos Longitudinales de cubierta	2,5	0,156	0,39
Refuerzos Longitudinales de costado	0,3	0,156	0,0468
Refuerzos Mamparos estancos	0,19	0,606	0,11514
Refuerzos Mamparos colisión	0,045	0,606	0,02727
Costados	1,8	0,606	1,0908
Espejo de popa	0,05	1,056	0,0528
Espejo de proa	0,05	1,056	0,0528
Contenedores	270	2,412	651,24
TOTAL	298,595		670,54875

VCG (Coord. Vertical Centro Gravedad)	Y =	2,25
---------------------------------------	-----	------

PESO TOTAL BARCAZA	
27527,6	Kg

CURVAS CRUZADAS DE ESTABILIDAD DE LA BARCAZA

Barge_Calc *Cross Curves* *Form Calculation*



Tables

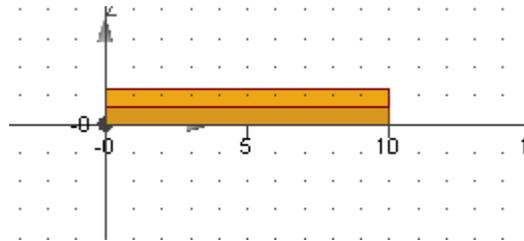
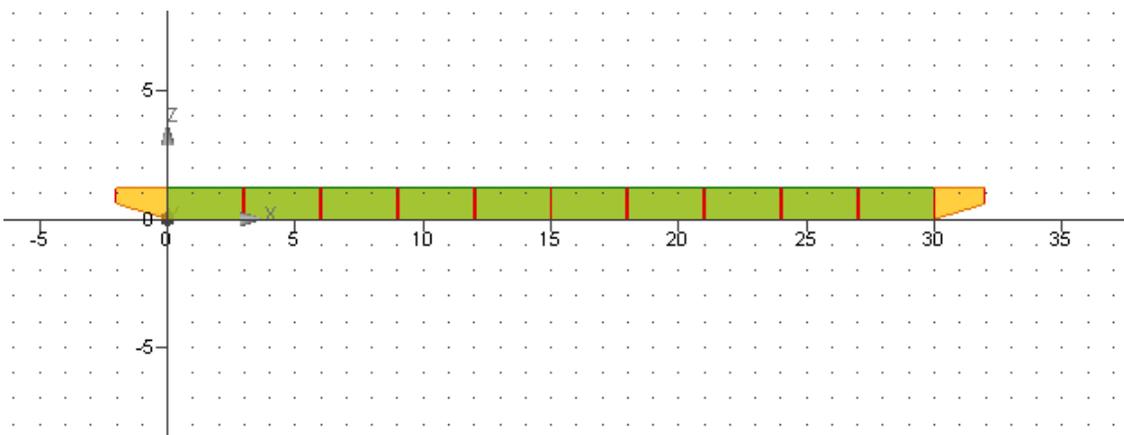
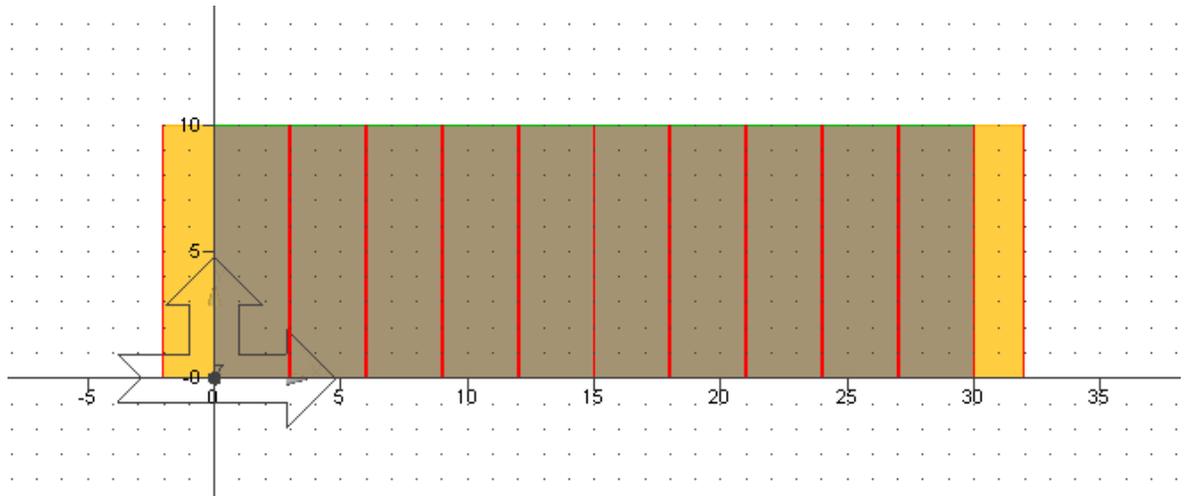
Trim 0.00 metres
 Shell thickness 0.00000 mm
 Keel thickness 0.00000 mm
 Water density 1.02500 tonnes/cum

All drafts are moulded

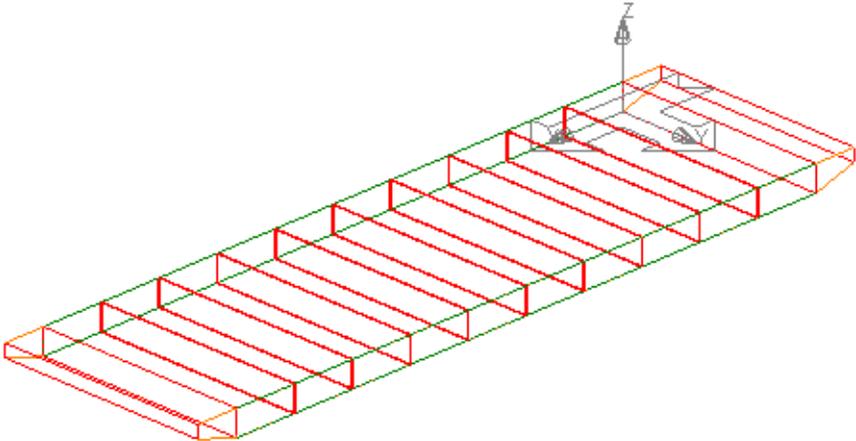
WL Radius (m)	Heel (deg)	Trim (m)	Displ (t)	KN (m)	GM (m)	DS (m-rads)	Deck (m)
0.00	0.00	0.000	0.00	-1.430	-1.430	0.000	0.000
0.00	10.00	0.000	0.00	-1.430	-1.430	0.000	0.000
0.00	20.00	0.000	0.00	-1.430	-1.430	0.000	0.000
0.00	30.00	0.000	0.00	-1.430	-1.430	0.000	0.000
0.00	40.00	0.000	0.00	-1.430	-1.430	0.000	0.000
0.00	50.00	0.000	0.00	-1.430	-1.430	0.000	0.000
0.00	60.00	0.000	0.00	-1.430	-1.430	0.000	0.000
0.10	0.00	0.000	40.66	0.000	61.671	0.000	-0.100
0.56	10.00	0.000	40.74	3.635	2.051	0.500	-0.563
0.76	20.00	0.000	40.67	3.775	-0.064	1.147	-0.760
0.88	30.00	0.000	40.65	3.620	-1.006	1.779	-0.880
0.94	40.00	0.000	40.65	3.317	-1.912	2.365	-0.944
0.96	50.00	0.000	40.64	2.898	-2.606	2.896	-0.960
0.94	60.00	0.000	40.67	2.381	-3.131	3.347	-0.943
0.30	0.00	0.000	119.93	0.000	20.082	0.000	-0.300
0.93	10.00	0.000	119.96	2.658	4.889	0.303	-0.931
1.28	20.00	0.000	119.82	2.887	0.747	0.761	-1.279
1.54	30.00	0.000	119.91	2.789	-0.481	1.231	-1.544
1.75	40.00	0.000	119.91	2.556	-1.139	1.669	-1.748
1.89	50.00	0.000	119.92	2.228	-1.682	2.035	-1.892
1.97	60.00	0.000	119.89	1.831	-2.103	2.373	-1.965
0.30	0.00	0.000	196.46	0.000	11.824	0.000	-0.300
1.17	10.00	0.000	196.51	1.770	5.867	0.160	-1.174
1.71	20.00	0.000	196.41	2.018	1.398	0.439	-1.706
2.13	30.00	0.000	196.38	1.990	0.566	0.768	-2.132
2.48	40.00	0.000	196.38	1.841	-0.116	1.032	-2.475
2.74	50.00	0.000	196.40	1.610	-0.686	1.291	-2.737
2.91	60.00	0.000	196.43	1.324	-1.019	1.474	-2.905
0.70	0.00	0.000	230.10	0.000	9.186	0.000	-0.700
1.42	10.00	0.000	230.17	1.248	5.253	0.104	-1.423
2.12	20.00	0.000	230.01	1.569	2.150	0.321	-2.116
2.71	30.00	0.000	230.08	1.596	1.119	0.546	-2.705
3.20	40.00	0.000	230.07	1.501	0.423	0.753	-3.199
3.61	50.00	0.000	230.08	1.320	-0.096	0.920	-3.614
3.95	60.00	0.000	230.09	1.088	-0.463	1.034	-3.951
0.90	0.00	0.000	282.90	0.000	8.228	0.000	-0.900
1.66	10.00	0.000	283.03	1.069	4.656	0.117	-1.662
2.51	20.00	0.000	282.82	1.455	2.279	0.314	-2.509
3.25	30.00	0.000	282.87	1.516	1.235	0.521	-3.253
3.90	40.00	0.000	282.87	1.442	0.532	0.712	-3.901
4.48	50.00	0.000	282.88	1.275	0.020	0.863	-4.484

DISEÑO FINAL DE LA BARCAZA AVEVA MARINE

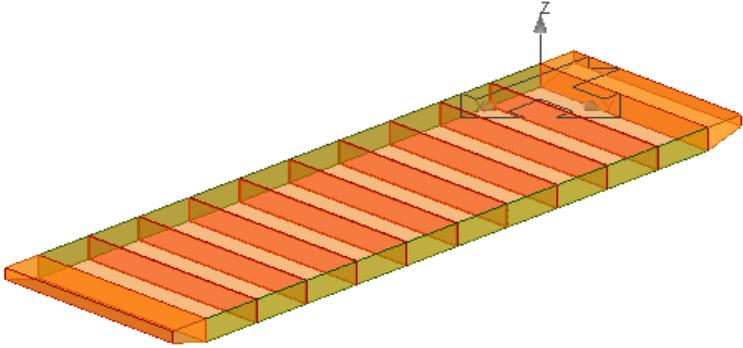
DIMENSIONES



COMPARTIMENTACION



BARCAZA



10. CONCLUSIONES

Se mostraron las ventajas que presenta el aluminio como material de construcción naval frente al acero, en cuanto a mantenimiento, costos de ciclo de vida, capacidad de carga, peso, resistencia. Además se mostraron soluciones para los posibles problemas en las construcciones en aluminio.

Presentamos cada una de las ventajas que tiene el transporte de carga fluvial frente al terrestre que es el más usado actualmente en cuando a consumo de combustible, emisiones de gases, capacidad de carga, seguridad entre otros factores.

Se definieron nuevas formas para la proa y popa (roda), se tuvieron en cuenta las restricciones del río tanto en calado como en zonas serpenteadas para elegir sus dimensiones y con el diseño de nuestra barcaza en AVEVA Marine se obtuvieron las características hidrostáticas.

Se hallaron los espesores y refuerzos de cada lamina de la barcaza de acuerdo a las normas que aplican para construcciones en aluminio, se calcularon los pesos de cada sección (fondo, costados, cubierta, mamparos, cuadernas y refuerzos.), se determinaron los centros de gravedad de la barcaza en el eje vertical, se determinaron las curvas cruzadas para hallar la estabilidad longitudinal y transversal además de las diferentes condiciones de cargas exigidas por las normas.

11. GLOSARIO

Proa: Parte delantera del barco.

Popa: Parte trasera del barco.

Eslora: dimensión de un navío tomada a su largo, desde la proa hasta la popa.

Manga: dimensión de un navío tomada a su ancho, desde estribor hasta la babor

Estribor: sobre la estructura naval mirando asía la proa, es la parte derecha del barco.

Babor: sobre la estructura naval mirando asía la proa, es la parte izquierda del barco.

Compartimentación: Forma en la que se ha dividido un barco

Borda: Rodea la cubierta principal de una embarcación, y que constituye la parte más elevada del casco.

Francobordo: o borda libre, según lo definido en el Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de la Organización Marítima Internacional (IMO), es la distancia medida verticalmente en el centro del buque, desde la intersección de la cara superior de la cubierta de francobordo con la superficie exterior del forro, hasta la línea de carga correspondiente.

Arqueo: El arqueo es el modo de medir la capacidad comercial de los buques.

Botadura: La botadura es la acción y efecto de botar un barco una vez terminada la reparación. Constituye también y principalmente, la ceremonia de puesta en el agua por primera vez de un barco o un velero. La botadura es el momento crítico para cualquier barco. Durante el bautismo de mar se comprobará si algunas de las decisiones de diseño fueron correctas.

Mamparos: Se designa con el nombre de mamparo a la construcción de madera o plancha en posición vertical, con las cuales se forman los compartimentos de a bordo; llevan puertas y, en general, están provistos de

Aberturas, en comunicación con el exterior, para la ventilación de los espacios que limitan.

Casco: armazón de un barco.

Cuadernas: Las cuadernas son cada una de las costillas por las que están formadas las embarcaciones, recorriéndolo de babor a estribor y estructurando el casco del navío

Roda: es una pieza prolongación de la quilla en su parte de adelante, que sube hacia arriba dándole la forma a la proa.

Módulo de sección: Se llaman módulos de sección o de resistencia de un área con respecto a un eje baricéntrico

Refuerzos (Stiffeners): Se utilizan para fortalecer a los miembros de Armazones, vigas y columnas en especial en los que hay aberturas.

Espejos de Proa y Popa: se llama espejo la superficie plana en las popas cuadradas y curvas en las redondas

Mamparos de Colisión: Mamparo estanco colocado detrás de la roda, para que en caso de colisión y ruptura de la proa, la embarcación no haga agua. El espacio que queda se aprovecha normalmente para colocar la caja de cadenas.

Puntal: Es la altura del cuerpo del buque desde la quilla hasta la cubierta, es decir, calado más francobordo.

Calado: Es la distancia vertical entre un punto de la línea de flotación y la línea base

Cubierta: En cada una de las superficies (suelos) de madera o metálicos de un buque (barco) que, a diferentes alturas respecto de la quilla, afirmados sobre

Escantillonado: Es el grosor de las piezas de la estructura de un buque, en particular de las planchas.

11. BIBLIOGRAFIA

[1] NAVIERA FLUVIAL COLOMBIANA S.A. (2010) Transporte de carga por el río Magdalena después de los dos gobiernos del Presidente Uribe
<http://fs03eja1.cormagdalena.com.co/nuevaweb/foro/archivos/Victor%20Peña.pdf>

[2] Materiales metálicos V. Galvañ, M. Sorriano, C. Eslon Universidad Politécnica de Valencia 2005
Advantages of Aluminum in marine applications_ABS.
Michael Kasten (2001 - 2010) Fuerza de aluminio vs Fuerza de Acero
<http://www.kastenmarine.com/alumVSsteel.htm>

[3]Extrusión
<http://www.construmatica.com/construpedia/Extrusi%C3%B3n>

[4] Cormagdalena Nuestro río
<http://fs03eja1.cormagdalena.com.co/nuevaweb/conozcanos/rio.htm>

[5] Álvaro Gallido (2011) Transporte Fluvial: Efectos del Transporte Fluvial en la Cadena Logística Internacional Presentación de PowerPoint - Latinports.org
Presentación de PowerPoint - Latinports.org

[6] Affari group Tipos de contenedores
<http://www.affari.com.ar/conttt.htm>

[7] <http://www.cormagdalena.com.co/>
Curso de introducción a la Ingeniería Naval
Rules For Building and Classing Aluminum Vessels” de ABS

[8] Código de estabilidad sin avería para todos los tipos de buques regidos por los instrumentos de la O.M.I. 2da edición.

<http://estabilidadbuque.blogspot.com/2011/07/estabilidad-y-curvas-hidrostaticas.html>

[9] AVEVA Initial Desing – Lines – For the rapid creation of any hull form

[10] AVEVA Initial Desing – Surface – For 3D modeling and visualising of hull features, from anchor pockets to superstructure

[11] AVEVA Initial Desing -- Compartment -- For the rapid definition of bulkheads, decks, superstructure etc.

[12] AVEVA Initial Desing – Hydrostatics – This module provides a comprehensive toolkit for naval architects. Particularly sophisticated routines are included for damage analysis.

ANEXOS

[1] MANUAL USO AVEVA MARINE

Crear un nuevo proyecto.

Para crear un nuevo proyecto de trabajo de surface y/o lines.

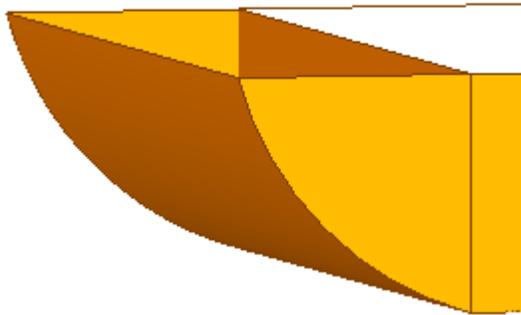
- Ingresar a inicio
- Todos los programas
- Carpeta Aveva (solo a la carpeta que dice el nombre solo)
- Ingresa a marine 12. Etc.
- Initial design
- Project tool
- Ya abierto el programa, selecciona en la lista izquierda la carpeta principal con el nombre de Project.
- Ya seleccionada la carpeta se procede a la barra de herramienta en el ítem y se crea una nueva carpeta o un nuevo proyecto.
- Ya creado el nuevo proyecto se ingresa nuevamente a initial design y se abre surface & compartmen.
- Se procede a guardar el archivo y ya es creado y listo para poder trabajar en él.

Para dar inicio a la realización del proyecto, una barcaza para el rio magdalena de la forma que se lleva a cabo según los comandos utilizado para llevar a cabo el diseño se realizan los siguientes pasos.

- Se inicia la realización del cuerpo de la barcaza con una forma primitiva, tomando el comando de la barra de herramienta se dé clic en solids (solido), posterior en block, con esto sale un cuadro de dialogo en el cual se piden las medidas que tendrá el cuerpo de la

barcaza, en este caso se le da 26 de length (largo), 8 de width (ancho) y 2 de height (alto) se tendrá en cuenta que todas las medidas serán dadas en metros para este caso, de ser lo contrario se hará la aclaración pertinente.

- Para realizar la figura como tal que sea algo cóncavo y se pueda ver las paredes como tal de la barcaza se dirige a la barra de herramienta y en el comando Operations se da clic en el icono detach face (eliminar cara) y después en la cara a eliminar para este es la parte superior.
- Ya para hacer las figuras para disminuir la resistencia al avance como se muestra en la figura siguiente.



- Se toma dos puntos de referencia con los comandos de línea, en este caso se puso uno en $(-2,0,2)$ (x,y,z) y el otro en $(-1.2,0,1)$ ya teniendo estos dos puntos se le da clic en el icono arc (arco), en la opción 3 vértice y selecciono uno a uno los vértices los punto hechos respectivamente y el ultimo vértice es la esquina del cuadro, con esto le doy la figura a de la proa y popa de la barcaza.

Como lo que necesito es la figura completa y otra igual en el mismo en el otro extremo, con el icono que se encuentra en Transformations le doy en translate, en la opción de relative le indico el valor que deseo y la coordenada que deseo trasladar para este caso la en la coordenada x y z es 0 y para la coordenada Y sería 8 la misma distancia transversal de la

barcaza, para que quede una copia de esto le doy en la opción de copy & repeat.

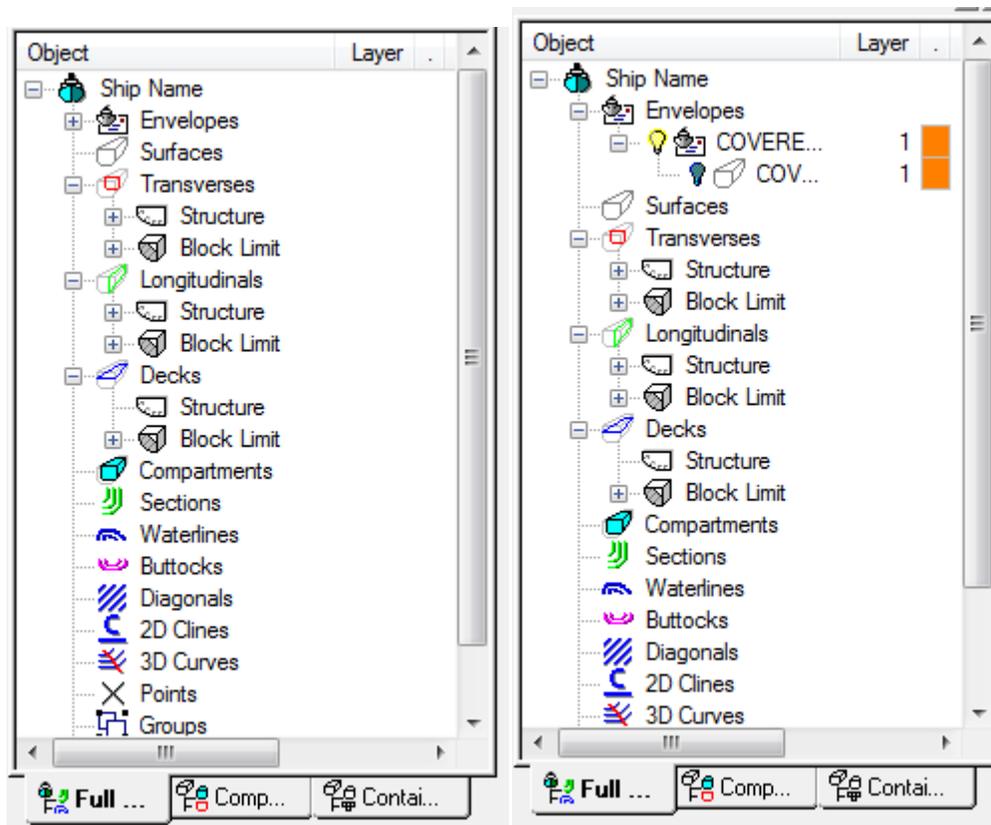
Ya tengo los dos marcos de la figura que quiero realizar trazo una línea en entre las dos puntas de los dos, sin importar que la línea inferior este aparentemente cerrada por la barcaza, ya con esto estoy realizando un cuadro al cual convertiré en sólido, para hacer esto se debe unir las líneas una a una para que quede siendo solo una y eso se logra gracias al comando que se encuentra en el comando line y tiene el nombre de join, se le da clic en el comando join y posterior a esto sale el puntero una figura de un barco, con este cuando se coloque sobre una línea salda un cuadro con el que podemos darnos cuenta que podemos seleccionar la línea, se selecciona una a una las líneas que se quieran unir.

Ya seleccionada el cuadro como tal se procede a realizar la figura en sólido, esto se logra al icono que encontramos operations y se llama cover hole. Con esto ya tenemos una lámina curva pero no se ha cubierto en los lados, para esto se traza una línea entre la parte superior del cubo y la lámina curva, con esto hacemos lo mismo que se había hecho anteriormente para solidificar la lámina.

Ya teniendo estos tres partes separadas, se juntan para ser un solo sólido, usando el icono unite, ya unido se traslada y se rota para ponerlo en el otro extremo de la barcaza y así conllevar a lo que es la simetría.

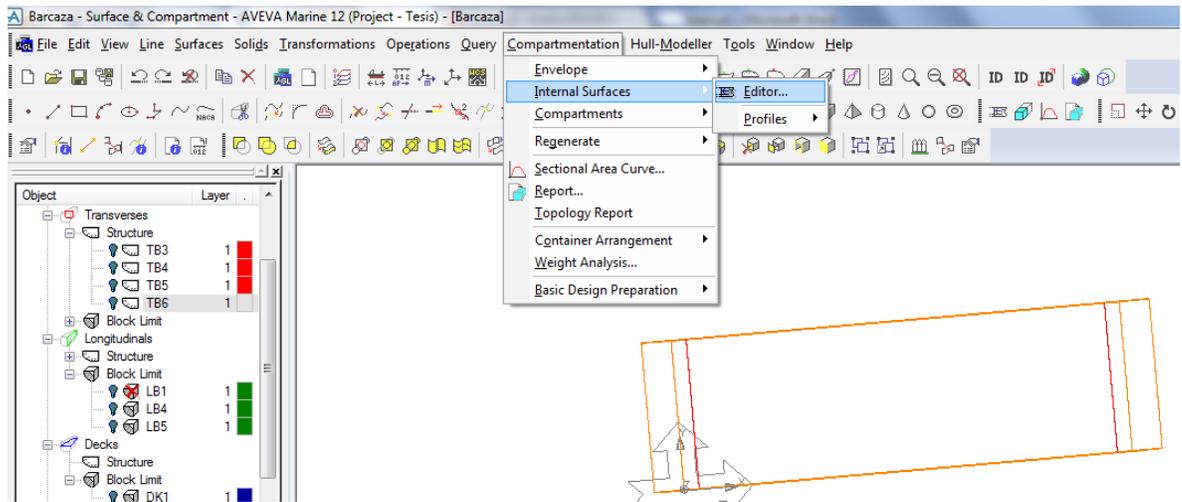
Ya realizado completamente el surface, es necesario realizar lo que es la compartimentación y la elaboración de los mamparos y para esto se requiere que el sólido anteriormente creado deje de estar ubicado en surface y pase a ser parte de la lista de envelopes, esto logra gracias a la función que se encuentra en la parte superior de la barra de herramientas que se llama compartimentación, dando clic en esto se extenderá una serie opciones, en estos momentos la cual necesitamos es enveloped create, ya con esto se le

da clic a la estructura completa y esta automáticamente pasa de ser un archivo de surface a un archivo de enveloped, eso se hace con el fin de que se pueda dividir a través de este prototipo base, hacer los mamparos transversales y longitudinales, hacer la compartimentación y hacer todas las distintas divisiones necesarias.

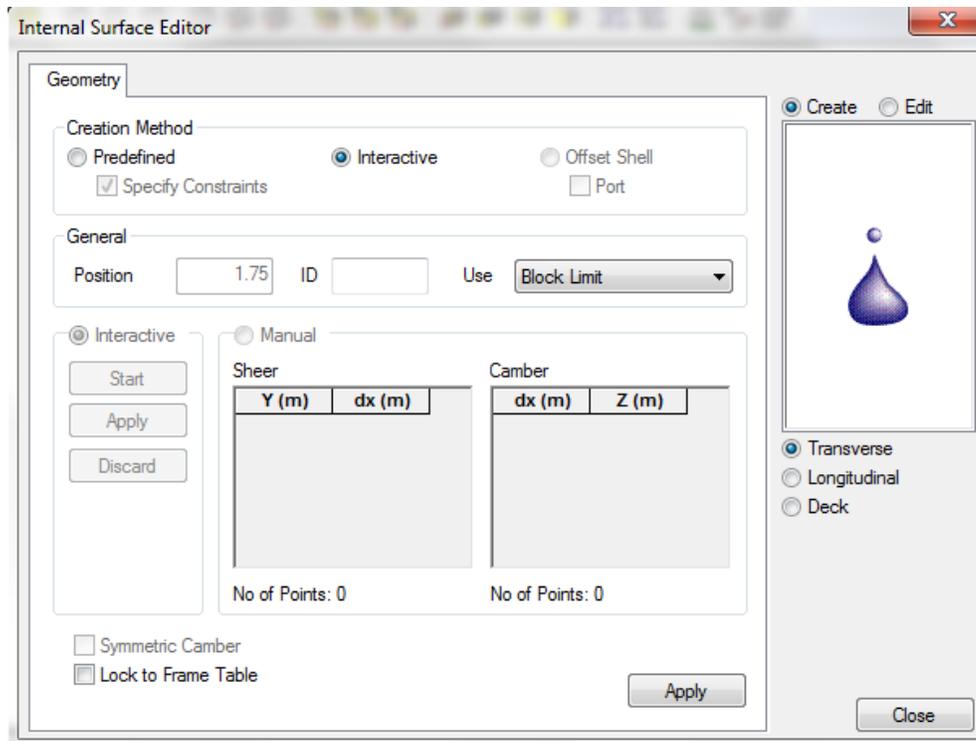


Para realizar la primera compartimentación se empieza a realizar las primeras transversales de Block limit, que son las dos líneas rojas vistas desde planta. Para realizar esto se dirige a la barra de herramienta

compartimentación>internal>surface>editor...

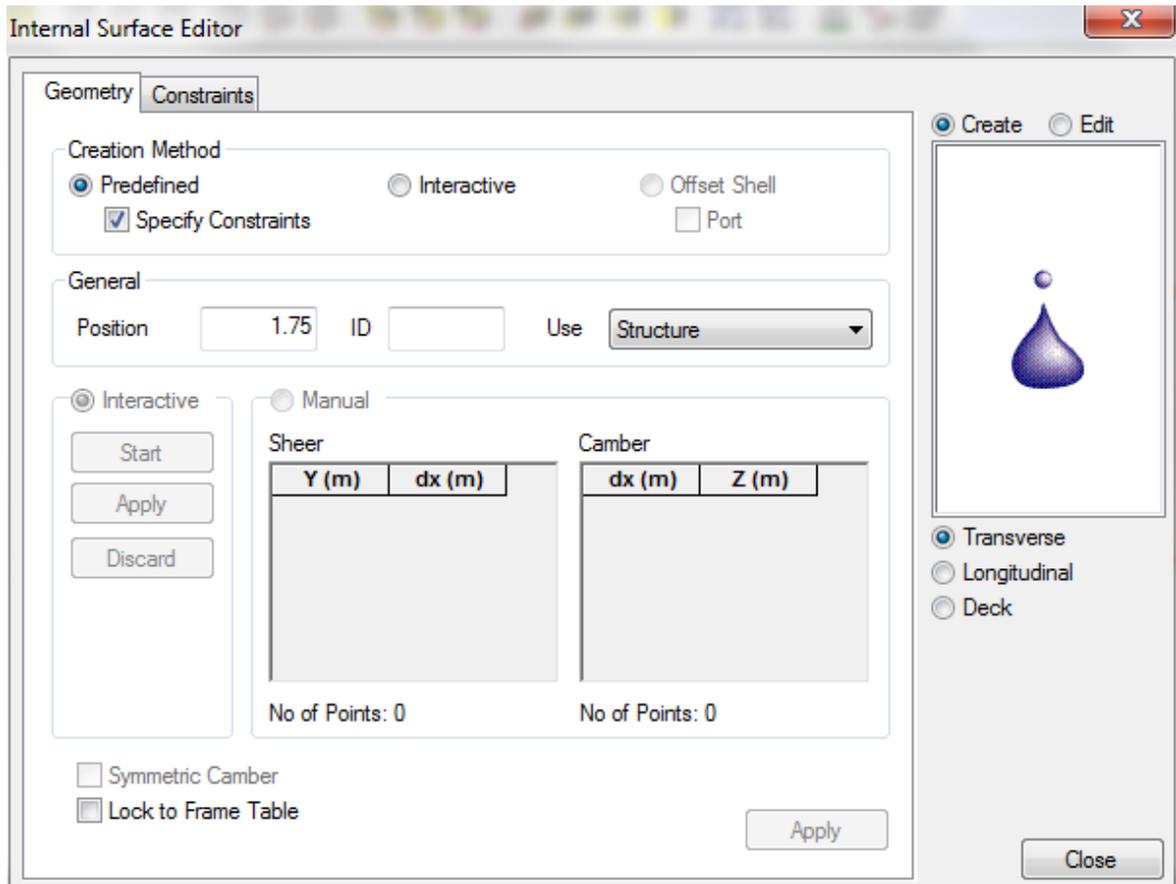


Y posterior sale esta pantalla, con esto se configura de tal forma en que este seleccionado la opción de interactive, block limit y transverse ya con esto le doy clic sobre apply y después de eso le doy clic en el lugar que quiera que me quede mi primer mamparo, y clic donde quiero que quede el segundo.

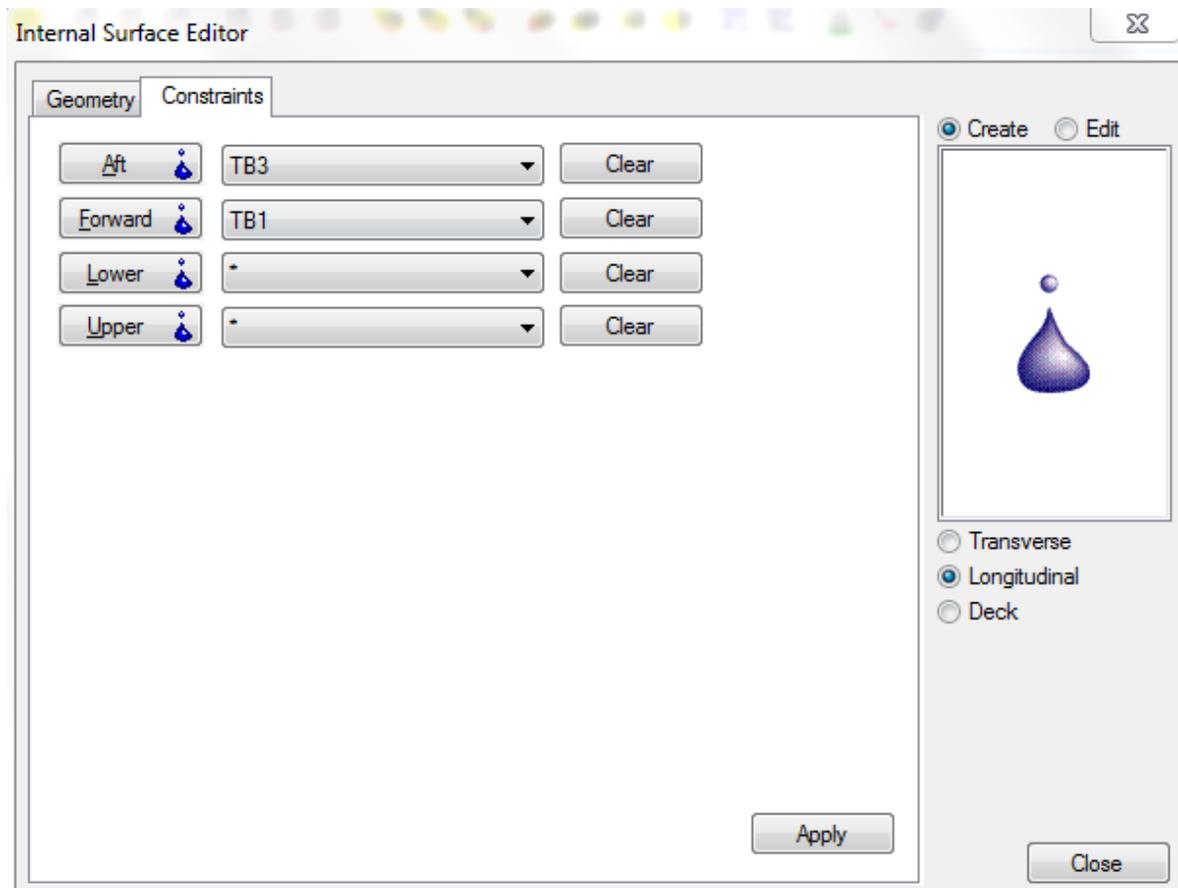


Que en este caso son las dos líneas rojas mostradas en la gráfica anteriormente mostrada.

Para realizar los otros mamparos se toman de referencia estas dos líneas para ser los límites y poder hacerlos de manera calculada y seguida.



Para los siguientes la configuración será: predefined, specify constraints, estructure y en donde se ve lo que es positions se le da la ubicación y en ID el nombre, ya configurado en este cuadro de dialogo procedemos a entrar a constraints con esto le damos de donde a donde queremos que valla los mamparos.



Ya con los mamparos puestos a lo largo de toda la barcaza, se realizan lo que son los compartimientos, estos cumplen con la función del programa realizar la separación de la embarcación y en el diseño puede ser los tanques de almacenamiento.

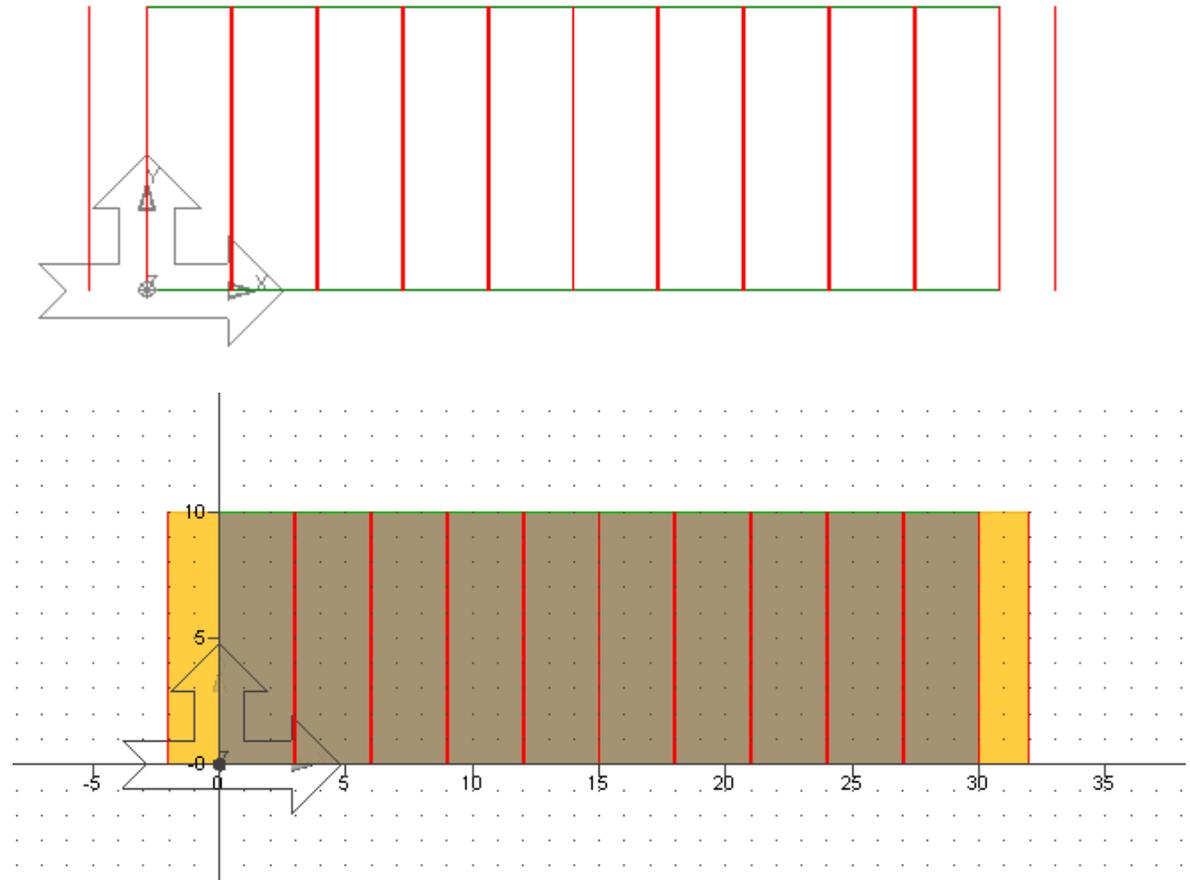
Estos se pueden realizar en la barra de herramientas compartmentations posterior en el ítem compartment-editor.

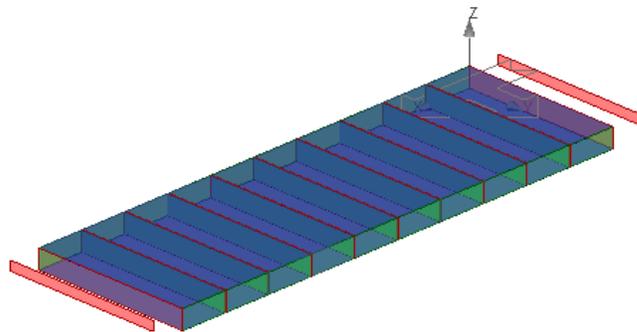
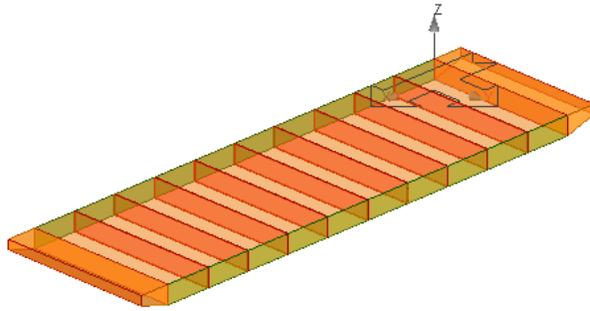
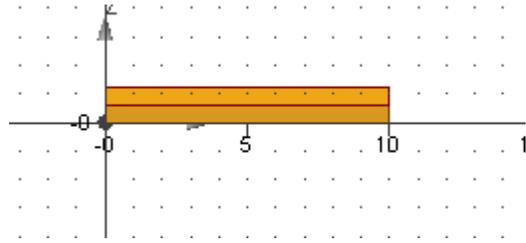
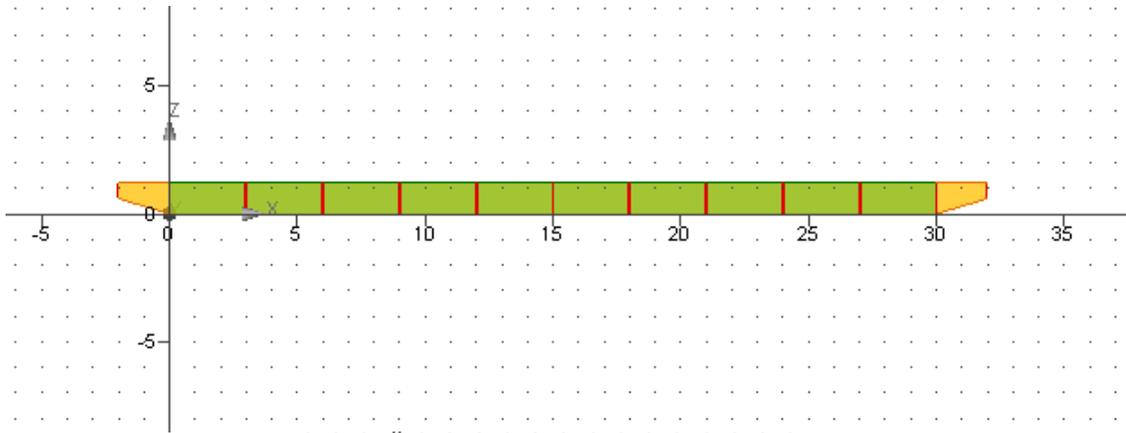
Con la compartimentación lista entre los mamparos realizados anteriormente se procede hacer los cálculos geométricos, de gran importancia para poder hacer los calculo hidrostáticos, estos se hacen en el menú de inicio en donde sale la opción de use>cálculos geométricos.

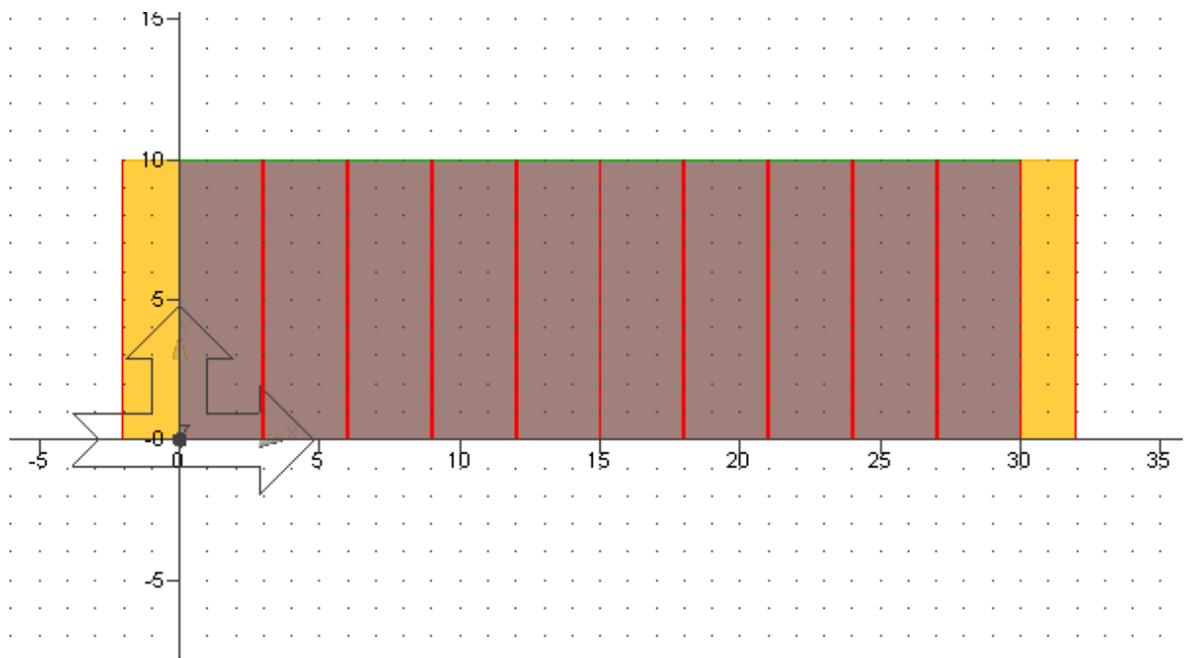
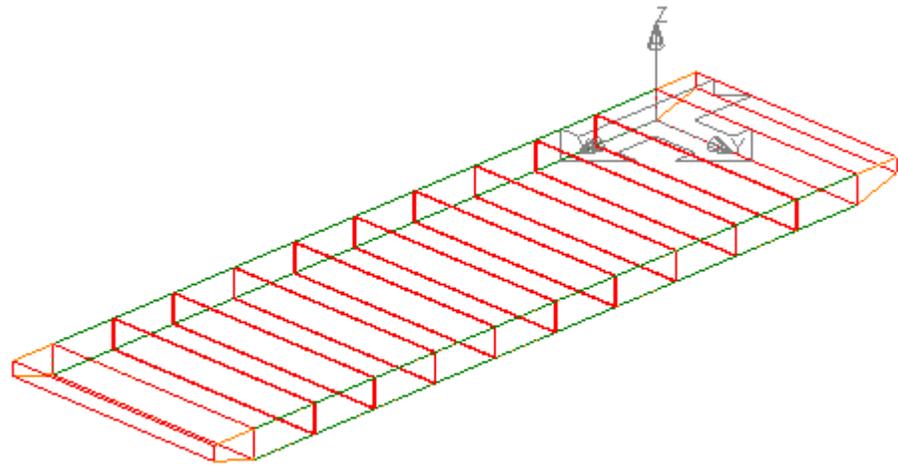
Ya con los cálculos geométricos listos se procede abrir en una ventana nueva la función de cálculos hidrostáticos, al abrir esto se procede a realizar los cálculos desde el icono nuevo, allí se escoge el cálculo geométrico al cual se le realizara los cálculos hidrostáticos.

Ya con esto listo sale una rama al lado izquierdo en donde salen todas las opciones de los cálculos a realizar, en cada rama se deben parametrizar según lo requerido y posteriormente calcular, automáticamente aveva marine arroja los resultados listos para ser impresos.

A continuación se mostraran unas gráficas y tablas de resultados realizadas por el programa.







Summary

Lightweight Summary

Item	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)	Aft ext. (m)	Fwd ext. (m)
BLO1	5.67	0.889	3.125	0.429	0.00	0.000	0.000
TB1	0.19	0.000	5.000	0.600	0.00	0.000	0.000
TB10	0.19	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
TB11	0.04	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
TB13	0.04	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
TB2	0.19	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
TB3	0.19	3.000	5.000	0.600	0.00	2.970	3.030
TB4	0.19	6.000	5.000	0.600	0.00	5.970	6.030
TB5	0.19	9.000	5.000	0.600	0.00	8.970	9.030
TB6	0.19	0.000	0.000	0.000	0.00	8.970	9.030
TB7	0.19	0.000	0.000	0.000	0.00	8.970	9.030
TB8	0.19	0.000	0.000	0.000	0.00	8.970	9.030
TB9	0.19	0.000	0.000	0.000	0.00	8.970	9.030
LB1	0.87	5.000	0.000	0.600	0.00	0.000	30.000
LB2	0.87	5.000	10.000	0.600	0.00	0.000	30.000
DK1	12.90	5.000	5.000	1.200	0.00	0.000	30.000
DK2	4.90	5.000	5.000	0.000	0.00	0.000	30.000
Total	27.24	3.901	4.381	0.713	0.00		

Weight Distribution

Lightweight Distribution

X Position (m)	Wt.aft (t/m)	Wt.fwd (t/m)
0.00	0.000	2.606
2.97	2.090	5.324
3.03	5.313	2.080
5.97	1.569	4.802
6.03	4.792	1.559
8.97	1.048	4.281
9.03	4.271	1.037
30.00	0.000	0.000

Tables

Trim	0.00	metres
Heel	0.00	degrees
Shell thickness	0.00000	mm
Keel thickness	0.00000	mm
Hog (+ve)/ Sag (-ve)	0.00000	metres
Water density	1.02500	tonnes/cu.m

All drafts are moulded

Hydrostatics

Draft (m)	Displ (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m ²)	LCF (m)	KML (m)	KMT (m)	WSA (m ²)	TPC (t/cm)	MTC (t-m/cm)
0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	300.00	0.00	-1.#J
0.10	40.66	16.954	0.047	293.33	15.000	528.612	61.671	315.03	3.01	1.#J
0.30	119.93	17.115	0.139	280.00	15.000	151.364	20.082	345.48	2.87	1.#J
0.50	196.46	17.283	0.230	266.67	15.000	73.982	11.824	376.47	2.73	1.#J
0.70	250.10	16.906	0.306	260.00	15.000	50.498	9.186	402.96	2.67	1.#J
0.90	282.90	16.141	0.378	260.00	15.000	44.750	8.228	424.56	2.67	1.#J

