

Conectividad en las ciudades costeras y su extensión hacia el mar.

Sistema de transporte colectivo de pasajeros, mediante embarcación tipo
"Hyswas" para el territorio marítimo de Valparaíso.

Tesis para optar al grado de Magíster en Arquitectura y Diseño,
mención Náutico y Marítimo

Candidato a Magister: Carolina Andrea Chávez Gatica

Directores de Tesis: Sr. Edison Segura Arias, Sr. Boris Ivelic Kusanovic, Sr.
Marcelo Araya Aravena

Escuela de Arquitectura y Diseño,
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Año 2013

Indice

I. Abstract	6
II. Resumen	7
III. El Encargo	
A. Origen del encargo	10
B. Actualidad del encargo	10
C. Importancia de resolver el encargo	11
IV. Objetivos	
A. Objetivo General	12
B. Objetivos Específicos	12
V. Fundamento Teórico	
A. El borde costero de la V Región	15
B. Características oceánicas de la V Región	32
C. Habitabilidad en espacios públicos	45
D. Sistemas de transporte marítimo en el mundo	46
E. Habitabilidad en embarcaciones	56
F. Fundamentos de embarcación Swath y Hyswas.....	62
VI. Fundamento Creativo	
A. Observación del borde costero de la V Región	111
B. La Extensión de la ciudad y el mar.....	143
C. Chile, una franja por descubrir desde el Pacífico	149
VII. Fundamento Técnico	
A. Flotabilidad y estabilidad	157
B. Olas	182
C. Teoría de formación de olas en cuerpos flotantes en movimiento ...	196
D. Resistencia a la marcha en multicascos	101
E. Hidroalas en embarcaciones	208
F. Formas hidrodinámicas en los Swath	229
G. Maniobrabilidad en los Swath	240

H. Propulsión	242
I. Estructura y construcción en los Swath	247
J. Datos comparativos de embarcaciones Swath	256
K. Teoría de Modelos	257
VIII. Hipótesis	261
IX. Metodología	
A. Espiral de diseño y requerimientos de alto nivel	264
B. Dibujos bidimensionales y tridimensionales digitales	265
C. Modelos tridimensionales para pruebas	265
D. Análisis hidrodinámico con “Canal de arrastre”	266
E. Utilización del “Canal de Ensayo de Cascos”	267
X. Resultados	
A. Espiral de diseño y requerimientos de alto nivel	289
B. Dibujos y modelos de las primeras propuestas	292
C. Dibujos y modelos del Hyswas de la hipótesis final	309
D. Pruebas iniciales en el “Canal de arrastre”	345
E. Análisis hidroestático del modelo	351
F. Pruebas iniciales en el “Canal de ensayo de cascos”	351
G. Pruebas posteriores en el “Canal de arrastre”	364
H. Pruebas posteriores en el “Canal de ensayo de cascos”	367
Conclusiones	370
Bibliografía	372
Anexos	378
Colofón	387

I. Abstract

Encargo:

Reconvertir las caletas pesqueras y también darle solución al colapso vehicular del borde costero de la región.

Objetivo:

Diseñar un sistema marítimo de locomoción colectiva y turística, que conecte las ciudades e integre las caletas. Y que esto sea posible a través de una embarcación que evite los movimientos que provocan mareos en los pasajeros.

Fundamento:

Concepción de una necesaria extensión de la ciudad hacia el mar, a través de la navegación. Se plantea nombrar unidades territoriales y maritoriales. Se aplica el funcionamiento de embarcaciones que poseen un casco sumergido con hidroalas.

Hipótesis:

Se piensa que una embarcación que posee tres cascos: dos laterales y uno central sumergido, y que aprovecha la sustentación dada por sus hidroalas, puede navegar con bajo índice de movimiento.

Metodología:

Método del Espiral de Diseño
Pruebas hidrodinámicas con modelo en un "Canal de ensayo de cascos"

Resultados

Problemas iniciales con la estabilidad estática, se solucionó bajando el centro de gravedad. Después, hay problemas en la estabilidad durante la navegación. Se baja el centro de gravedad y mejora la estabilidad dinámica mientras navega.

Conclusiones

Se logra una navegación estable a 10 nudos de velocidad agregándole un peso de 715 gr. Con un ángulo de ataque de las alas de proa de 10° y en las de popa 15° .

II. Resumen

Encargo:

Origen del Encargo

Nace del interés personal por observar y estudiar el territorio desde el mar de Valparaíso.

Actualidad del Encargo

Más de la mitad de la población de la V Región, vive en el borde costero. Hay un gran crecimiento poblacional y del turismo, colapso vehicular, y decaimiento económico de las caletas.

Importancia de Resolver el Encargo

Es necesario reconvertir las caletas, porque desaparecerán. Además, la congestión vehicular deteriora la calidad de vida de los ciudadanos.

Objetivos:

Objetivo General

Diseñar un sistema de conectividad marítima, que solucione la crisis de las caletas artesanales y la congestión vehicular.

Objetivos Específicos

1. Diseñar un sistema marítimo de locomoción colectiva y turística, que conecte las ciudades y las caletas, reconvirtiéndolas en paraderos del sistema.
2. Diseñar una embarcación que mitigue las olas en el mar abierto, evitando los movimientos que causan mareo en los pasajeros.

Fundamento:

Fundamento Teórico

Concepción del litoral como un bien escaso y disputado, que es necesario devolverlo a la ciudad, a través de la integración de los componentes terrestres y marítimos.

Fundamento Creativo

La ciudad se debe extender hacia el mar, a través del reconocimiento y nombramiento de unidades maritoriales y territoriales.

También a través de una embarcación que permita la navegabilidad como parte de lo cotidiano, y virtuoso de la ciudad.

Fundamento Técnico

Se aplica el funcionamiento de las embarcaciones que poseen un casco con un bulbo sumergido y que posee hidroalas, lo que permite cortar la ola y así bajar índices de movimiento.

Hipótesis:

Embarcación que posee tres cascos: dos laterales y uno central sumergido, que posee perfiles alares que lo sustentan cuando adquiere velocidad. En este estado, la línea de flotación se ubicará a la altura de los arbotantes, los cuales cortarán la ola, evitando que la embarcación se mueva.

Metodología:

1. Espiral de Diseño
2. Dibujos bidimensionales y modelos tridimensionales digitales y reales
3. Utilización del "Canal de arrastre"
4. Utilización del "Canal de ensayo de cascos"

Resultados:

Problemas con la estabilidad estática, que se solucionaron bajando el centro de gravedad de la embarcación. Luego, la embarcación se prueba en el canal de ensayo de cascos, pero no se estabiliza cuando se sustenta por las alas. Se baja nuevamente el centro de gravedad y mejora la estabilidad dinámica.

Conclusiones:

Se logra una navegación estable a 10 nudos de velocidad agregándole un peso de 715 gr. Con un ángulo de ataque de las alas de proa de 10° y en las de popa 15° .

El funcionamiento de la nave no resulta eficiente hasta ahora, ya que el peso es de 120 toneladas, lo cual es mucho para una embarcación de 20 m de eslora, pero esto se puede optimizar.

III. El Encargo

- A. Origen del encargo
- B. Actualidad del Encargo
- C. Importancia de darle solución

A. Origen del Encargo

Es un autoencargo que nace a partir de la inquietud personal por observar y estudiar la relación entre el hombre y el mar, específicamente en la V Región de Valparaíso. Es en este observar donde surge la necesidad de solucionar, a través del diseño, el decaimiento económico de las caletas de pescadores artesanales, situación que origina el autoencargo.

Inicialmente se piensa mejorar la situación económica de las caletas de la V Región a través del cultivo de especies marinas. Sin embargo, en base a la opinión de expertos en el tema, se descarta esta posibilidad.

Posteriormente, se plantea darle auge a las caletas, a través de la interrelación de éstas con los otros modos de habitar el borde costero. A partir de esto, se plantea un sistema de conectividad marítima de pasajeros para locomoción colectiva y turístico, que une las ciudades del borde costero de la V Región, siendo las caletas de pescadores los principales puntos conectores entre la ciudad y el mar. Ésta última propuesta conforma el autoencargo que se intenta resolver en esta tesis.

B. Actualidad del Encargo

En la V Región, un poco más de la mitad de la población vive en el borde costero y el potencial económico de la región se está concentrando cada vez más en estas zonas.

Esta región se destaca por presentar una variabilidad de usos en el borde costero, sin embargo algunas de estos usos no se están desarrollando de forma conjunta y complementaria para el desarrollo del bien común.

Unas de las situaciones presentes en el borde costero, es el decaimiento económico de las caletas de pescadores artesanales que afecta directamente a los trabajadores asociados a la pesca artesanal en la región (4.000 trabajadores) y a sus familias. Otra situación del borde costero, es el atochamiento vehicular que se produce en las vías costeras.

Otro punto que caracteriza esta región costera es el gran crecimiento que ha tenido la población y el desarrollo turístico de esta zona, especialmente en la época estival.

Otras regiones de Chile también se encuentran bajo las mismas o algunas de estas situaciones, e incluso otros países de América y el mundo. Nuestro país presenta muchas ciudades asentadas en el litoral, debido a su geografía y no hay que olvidar que más de la mitad de la población del mundo vive a menos de 60 km de la costa.

C. Importancia de dar solución al encargo

Es muy importante relacionar a ciertos sectores de la población para facilitar el buen desarrollo del habitar en el borde costero. Por un lado hay mucha población, atochamiento vehicular, gran presencia de turistas y por otro lado hay caletas pesqueras con trabajadores desmotivados y deteriorados económicamente.

Es necesario rescatar y mantener presentes las caletas de pescadores artesanales. Si no se les da un empuje económico a las caletas, están destinadas a desaparecer. Perder las caletas artesanales, sería perder un conector de la ciudad con el mar, perder un espacio que recibe a muchos trabajadores y sus familias, y también desaparecería el oficio tradicional de la pesca artesanal.

Por otro lado el atochamiento vehicular terrestre presenta una serie de problemas urbanos, que deterioran la calidad de vida de los ciudadanos. Un colapso que se da mayormente en la época estival, por la gran llegada de turistas.

IV. Objetivos

A. Objetivos Generales

B. Objetivos Específicos

A. Objetivo General

Diseñar un sistema de conectividad marítima que solucione el decaimiento económico de los pescadores artesanales en sus caletas y el creciente colapso vehicular presente en el litoral.

B. Objetivos Específicos

1. Diseñar un sistema marítimo de locomoción colectiva y turística, que conecte las ciudades e integre las caletas, reconvirtiéndolas en paraderos del sistema, utilizando su infraestructura marítima y terrestre.
2. Diseñar una embarcación que mitigue las olas en el mar abierto, evitando los movimientos de escora y cabeceo, que causan mareos en los pasajeros.

V. Fundamento Teórico

- A. El borde costero de la V Región
- B. Características oceánicas de la V Región
- C. Habitabilidad en espacios públicos
- D. Sistemas de transporte marítimo en el mundo
- E. Habitabilidad en embarcaciones
- F. Fundamentos de Embarcación Swath y Hyswas

V. Fundamento Teórico

A. El borde costero de la V Región

1. El territorio y sus elementos
2. Pesca artesanal y su situación actual
3. El turismo como oportunidad para las caletas
4. El Litoral
5. El colapso vehicular en el borde costero
6. Tiempos de viaje navegando en la V Región
7. La relación que da paso a la propuesta

B. Características oceánicas de la V Región

1. Corrientes marinas
2. Olas y Mareas
3. Vientos
4. Estadísticas de cierre del Puerto de Valparaíso

C. Habitabilidad en espacios públicos

1. Variables que afectan la habitabilidad
2. Lugar, espacio y habitantes

D. Sistemas de transporte marítimo en el mundo

1. Cádiz, España
2. Nueva York, EEUU
3. Auckland, Nueva Zelanda
4. Rotterdam, Holanda
5. Chicago, EEUU
6. Valdivia, Chile
7. Valparaíso, Chile (años ´70)

E. Habitabilidad en embarcaciones

1. Ejemplos de habitabilidad en embarcaciones de dos o tres cascos
2. Habitabilidad en Embarcacion Amereida

F. Fundamentos de embarcación Swath y Hyswas

1. Swath y Hyswas en el triángulo de sustentación
2. Características y antecedentes generales de los Swath
3. Características de las formas de los Swath
4. Ventajas de los Swath
5. Limitaciones de los Swath
6. Usos de los Swath
7. Características y antecedentes generales de los Hyswas
8. Características de las formas de los Hyswas
9. Prototipos y proyectos de embarcaciones Hyswas

A. El borde costero de la V Región

1. El territorio y sus elementos

Para comprender las características territoriales del borde costero de la región, se recorre la extensión de costa entre el Río Aconcagua y el Río Maipo, ubicada en la V Región de Valparaíso, Chile.

Se visita cada una de las caletas, ya que éstas se consideran un espacio que relaciona fuertemente la ciudad con el mar.

La población del borde costero de toda la región es de 830.036 habitantes, lo cual representa un 53,9% del total de población a nivel regional.

Los pescadores artesanales inscritos del territorio continental de la región son 4.036, y en el territorio insular son 369 personas.

La región posee 24 caletas en su territorio continental y 6 caletas en el territorio insular.

Hay dos grandes conurbaciones: Valparaíso, Viña del Mar, Concón / Santo Domingo, San Antonio, Cartagena, Las Cruces, El Tabo, El Quisco, Algarrobo.

Los principales ríos de la región son La Ligua, Petorca, el Río Aconcagua y el Río Maipo.

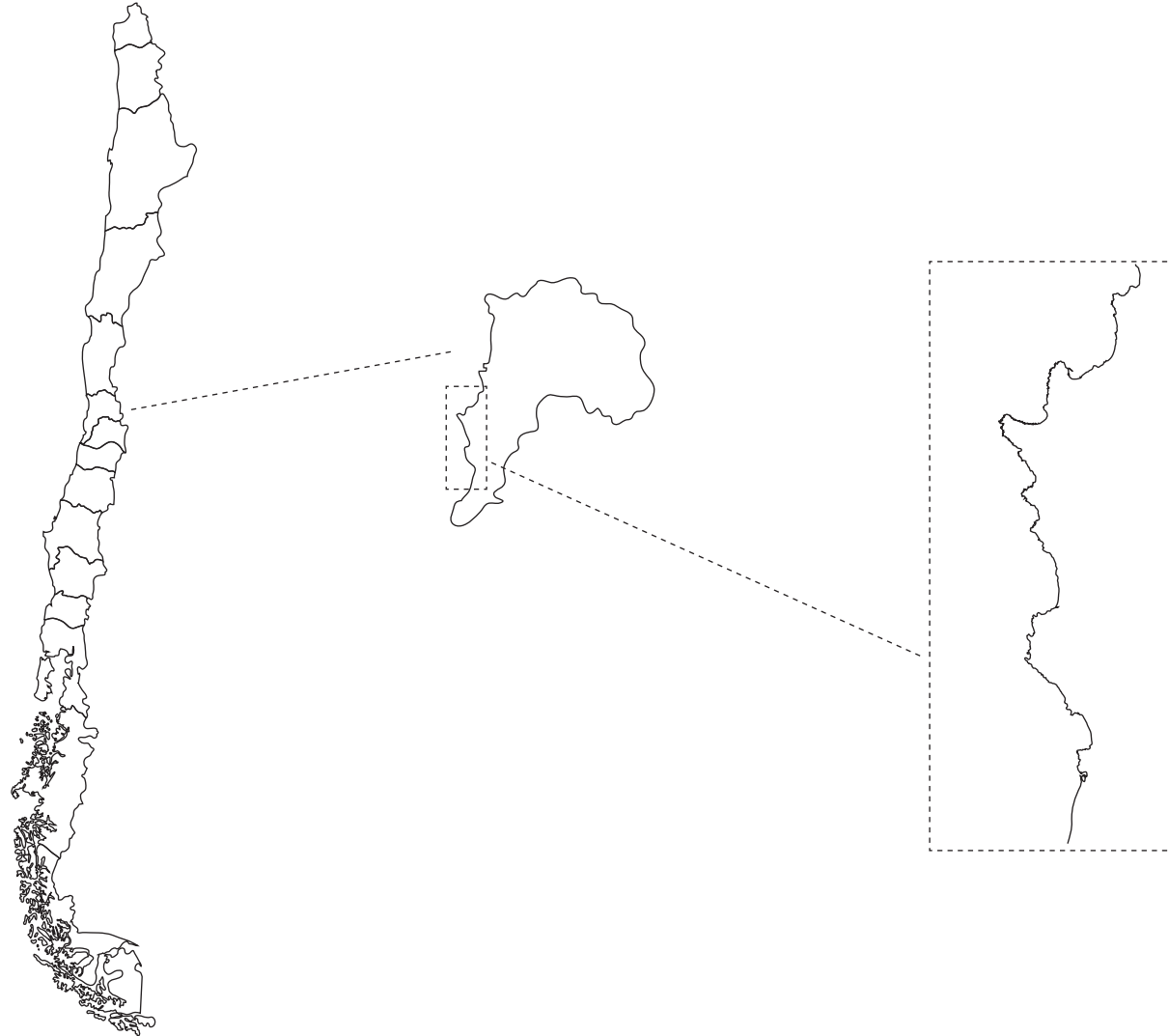


Figura 1. Extensión de costa donde se realiza el estudio.
Fuente: Elaboración propia

Mapa del territorio estudiado

A continuación se expone un mapa que muestra el territorio de borde costero que se estudió. Se muestra una extensión desde la línea de costa hasta las primeras cumbres de la Cordillera de la Costa. Se pueden ver las ciudades, las aguas interiores, bahías, caletas, puntas, los principales cerros, batimetría, etc.

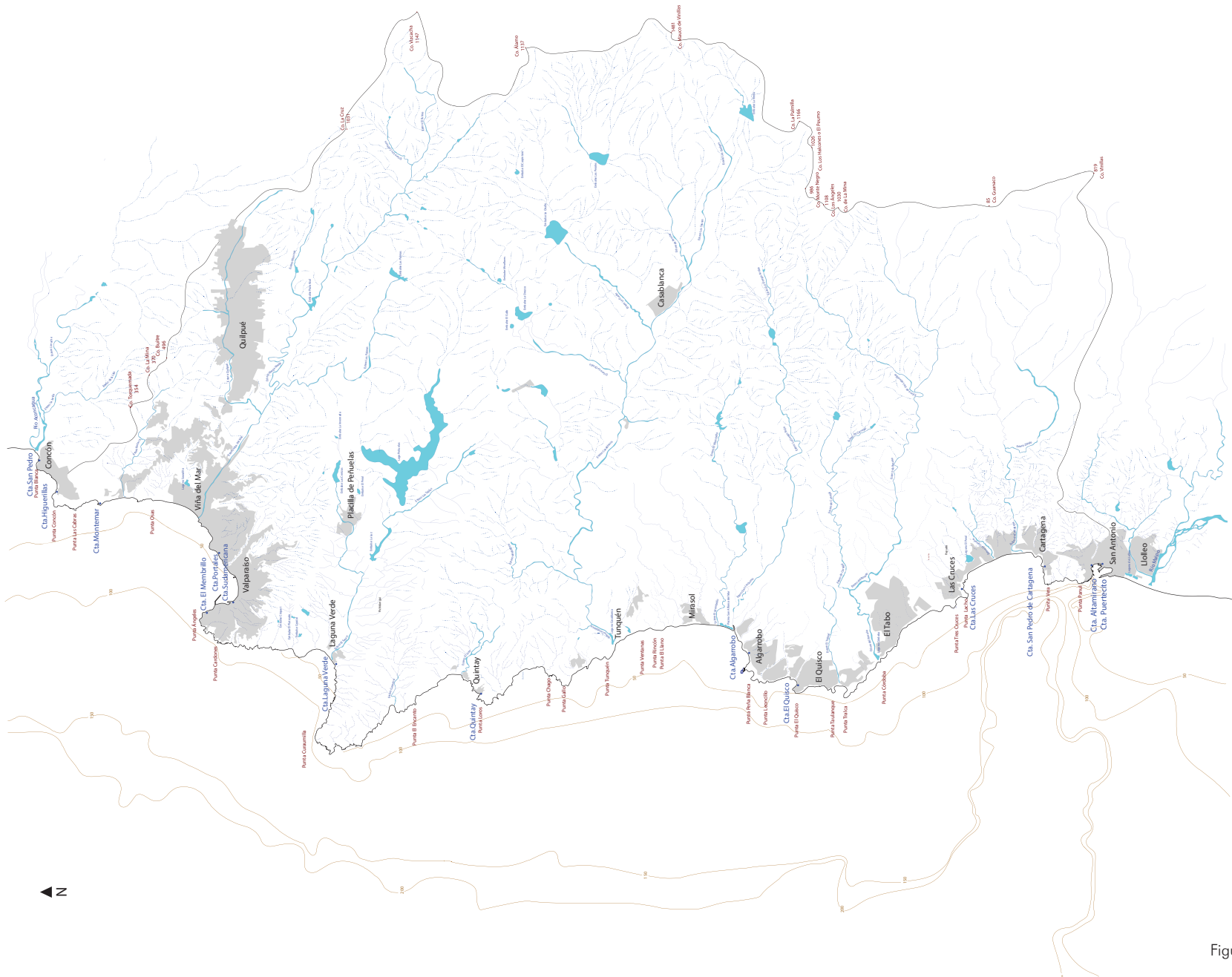


Figura 2. Mapa del territorio estudiado.
Fuente: Elaboración propia

2. Pesca Artesanal y su situación actual

a) Pesca artesanal y las caletas de la V Región

En busca de los sectores del borde costero que han estado estrechamente relacionados al mar, está la pesca artesanal, actividad que se desarrolla en las caletas, pero que en los últimos años no ha tenido un desarrollo armónico económicamente.

La caleta de pescadores constituye el centro operativo de la pesca artesanal. En ella se realiza la actividad productiva, la comercialización y actividades afines.

La región posee 24 caletas en su territorio continental y 6 caletas en el territorio insular. La mayoría de las caletas se concentran dentro de las principales ciudades - puertos como Valparaíso, San Antonio y Quintero. Sin embargo casi todas las localidades poseen su caleta.

b) Comunidades pesqueras

El sector pesquero artesanal es uno de los sectores económicos que aporta significativamente a la producción de los alimentos para consumo humano directo, proporcionando además empleo y beneficios económicos a quienes se dedican a esta actividad. “Durante el año 2011 se incorporaron al Registro Pesquero Artesanal 5.900 pescadores y 1.600 embarcaciones, alcanzando un total de 85.294 pescadores y 12.761 embarcaciones” (Sernapesca, 2011). En las comunidades hay pescadores artesanales, sus grupos familiares y trabajadores de actividades asociadas al proceso productivo.

Los pescadores artesanales inscritos del territorio continental de la región son 4.036, y en el territorio insular son 369 personas. Ellos se organizan en sindicatos. Cada caleta posee uno o más sindicatos. La mayoría están compuestos de hombres adultos, sin embargo muchas mujeres de los mismos pescadores trabajan cumpliendo funciones importantes en la actividad productiva. Son encarnadoras, algueras

recolectoras o cumplen funciones administrativas dentro del sindicato. Por lo general trabajando en tierra.

c) Situación Social de las Caletas

Muchos de los trabajadores de las caletas hacen referencia a estar insertos en una comunidad con muchos problemas sociales. Hay temas recurrentes como la pobreza, la identidad de los pescadores, los bajos niveles de educación, la imagen del pescador, el alcoholismo y el mínimo recambio generacional.

“Históricamente este sector ha gozado de escasa relevancia en el escenario público del país, situación que se ve reflejada en las bajas inversiones públicas, insuficiente presencia de programas de largo plazo y una falta de consideración como actor político relevante en la historia chilena, participando sólo a través de la directiva de las organizaciones que los agrupa”. (Fundación para la Superación de la Pobreza, 1997)

“La cultura del pescador artesanal, que se podría englobar bajo el concepto de extractiva, se encuentra estrechamente ligada a la relación del hombre con su fuente de trabajo, el mar. Y en alto grado de incertidumbre que implica esta labor, lo lleva a planificar su trabajo a corto plazo; en él, el concepto de “espera” sólo se remite a la llegada de buen tiempo y sus ingresos económicos están determinados por factores fuera de programación. Así, la vida del pescador está fuertemente entregada a la planificación diaria que atenta contra cualquier experiencia destinada a fomentar la asociatividad, la proyección a largo plazo, y la relación con el resto de la sociedad en la que se encuentran inmersos”. (Fundación para la Superación de la Pobreza, 1997)

d) Disponibilidad de Recursos Pesqueros

“Respecto al estado de los recursos hidrobiológicos, el análisis que se ha efectuado, indica que un número importante de las especies que sustentan la actividad económica, se encuentran en un franco estado de sobreexplotación. En otras palabras, la pesca de dichos recursos ha llegado a un nivel de explotación tal que, con la captura de las unidades extractivas autorizadas, ya no existen excedentes productivos de las especies hidrobiológicas”. (Fundación para la Superación de la Pobreza, 1997)

Frente a este problema los pescadores se resignan y no hacen cambios radicales para solucionarlo. Se mantiene esta situación y peor aún, en muchos casos, aportan al problema.

Según cuenta don Francisco Poblete, tesorero de la directiva del sindicato de pescadores de la Caleta Portales de Valparaíso, la realidad se resume en el siguiente dicho “pan para hoy hambre para mañana”. Esto explica claramente cuál es el pensamiento a la hora de extraer y comercializar los pescados. Mientras haya peces, se sacan todos lo que se pueda y se venden a muy bajo precio. Son los propios pescadores los que manejan los precios de los productos, pero no le sacan el provecho que se debe. Así se desvaloriza el producto y se transforma en un círculo vicioso, en el que el pescador sólo quiere sacar y sacar, aunque sean pequeños peces.

A continuación se presenta un gráfico que clarifica cómo ha ido evolucionando el desembarque artesanal en los últimos años en la V Región, ha habido una disminución de éste a causa de la falta de recursos.

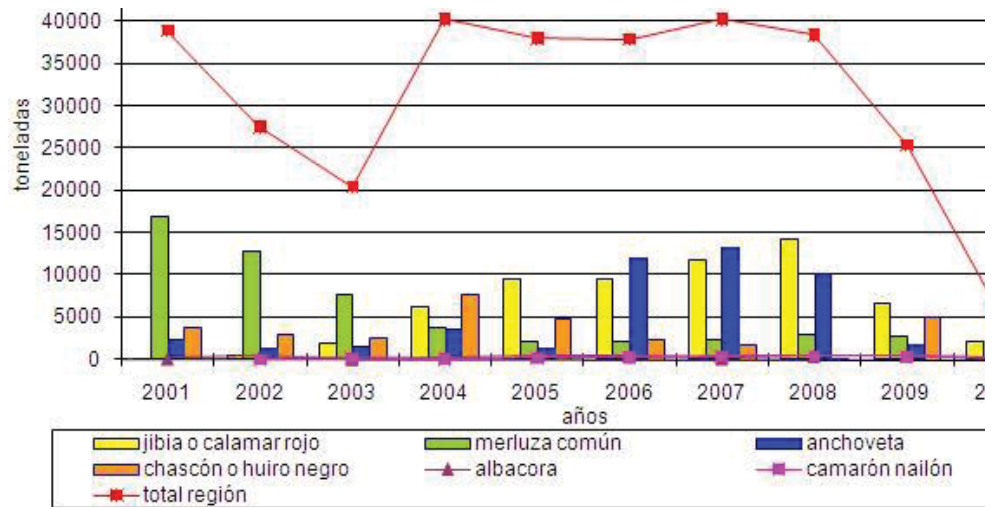


Figura 3. Desembarque Artesanal Región de Valparaíso, 2007. Fuente: Sernapesca

e) Ilustraciones de especies marinas extraídas por la pesca artesanal

A continuación se presentan ilustraciones de las distintas especies que se extraen artesanalmente en las costas de la región. Esto como parte del estudio de la actividad pesquera y su relación con el ambiente.

Especies que se extraen artesanalmente en la V Región



Merluza



Congrio Colorado



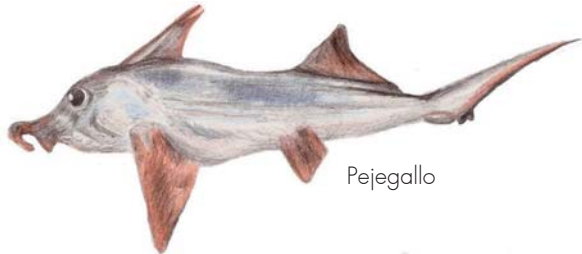
Corvina



Jurel



Sierra



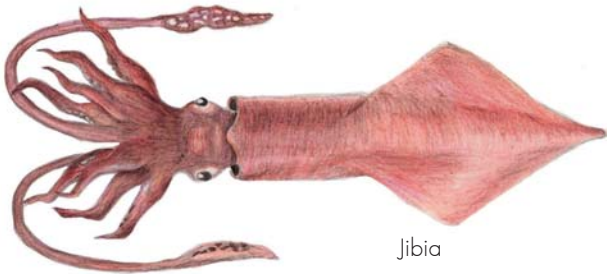
Pejegallo



Caballa



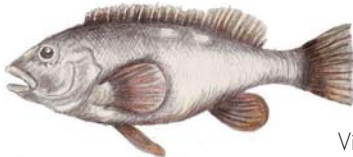
Lisa



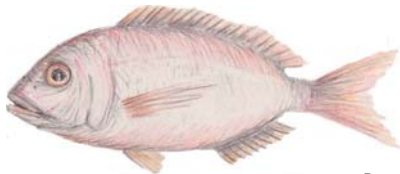
Jibia



Congrio Negro



Vieja



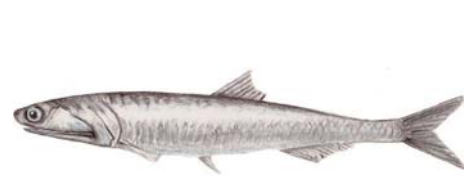
Breca



Pejesapo



Jaiba



Anchoveta



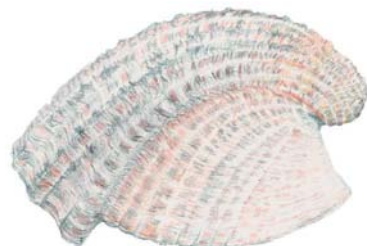
Sardina



Picoroco



Almeja



Loco



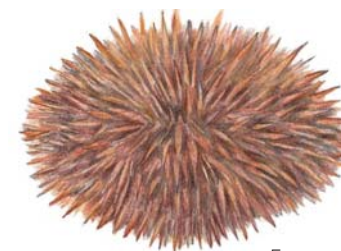
lapa



Choro



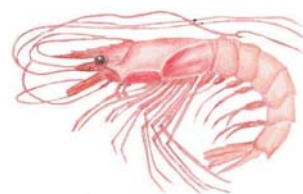
Piure



Erizo



Tégula



Gamba



Camarón Nailon



Camarón de roca



Langostino Amarillo



Langostino Colorado



Huiro Negro



Huiro Palo



Cochayuyo

Figura 4. Ilustraciones de las especies extraídas artesanalmente en la V Región. Fuente: Elaboración propia.

f) Datos de las caletas artesanales del territorio estudiado, que permite comparar las características fundamentales de cada una de ellas.

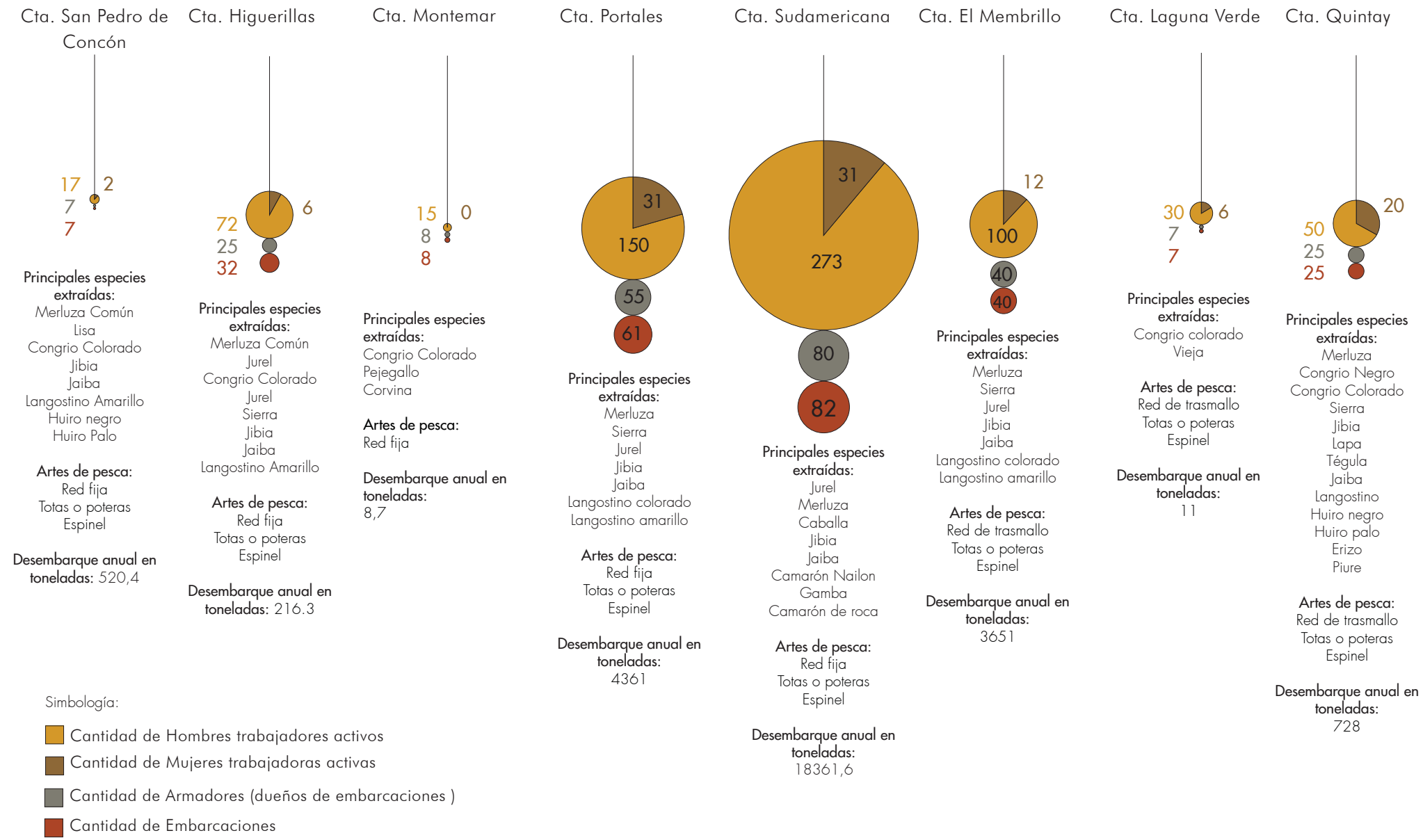
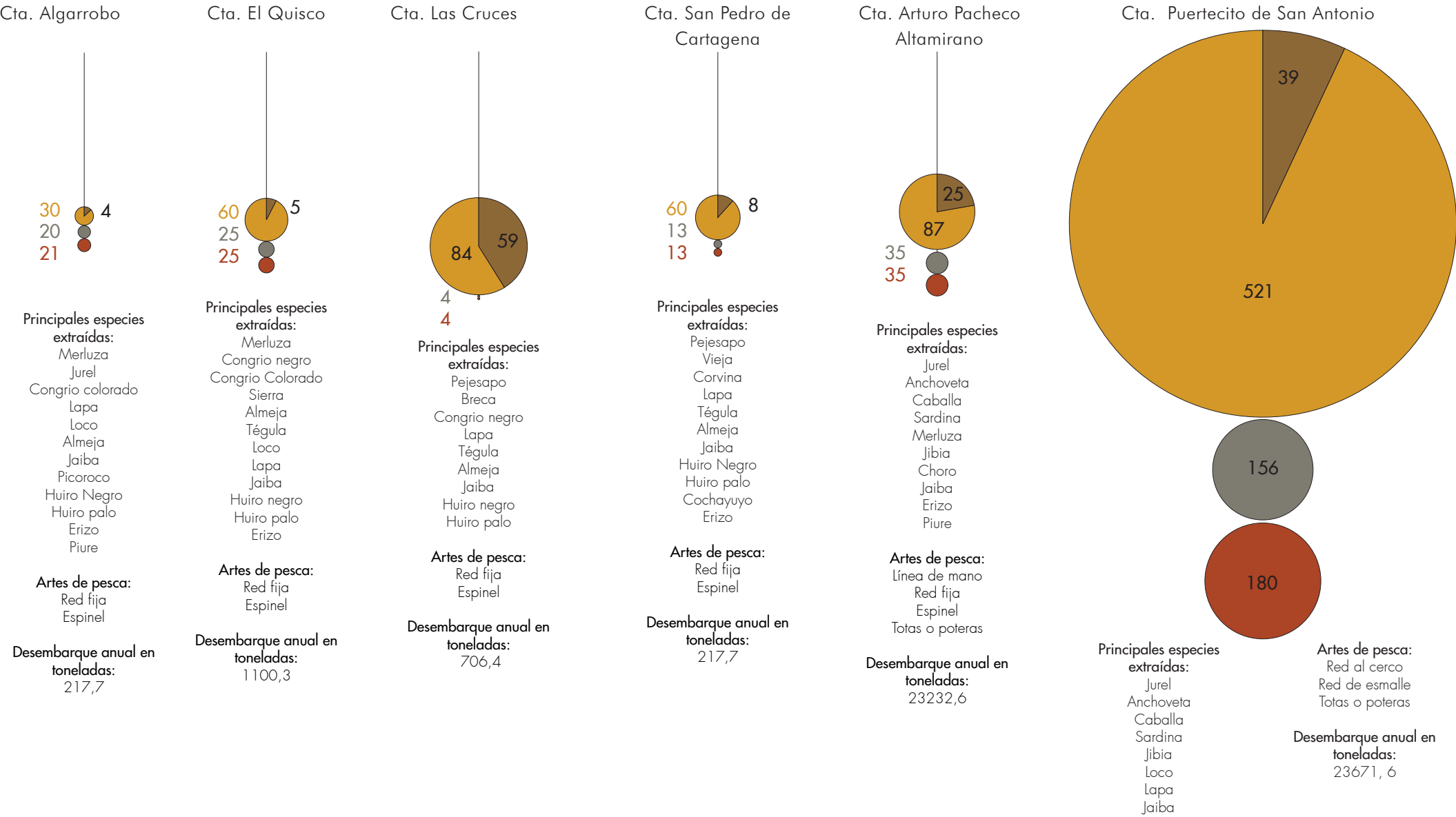


Figura 5. Esquematzación de recopilación de datos de las caletas. Elaboración propia.
Fuente de datos: Sernapesca y pescadores de las caletas nombradas



3. El turismo como oportunidad para las caletas

A través del estudio y el recorrer del territorio se evidencia una potencial relación entre las caletas y el turismo.

Existe una gran relación entre lo que los pescadores pueden entregar y lo que la población podría recibir de ellos. Los pescadores son personas muy arraigadas a sus quehaceres que resultan atractivos para los turistas. El turismo y la pesca son dos actividades que se pueden complementar. De hecho cuando se les pregunta a los pescadores qué factores pueden convertirse en oferta para el desarrollo de las caletas, la mayoría dice que el turismo.

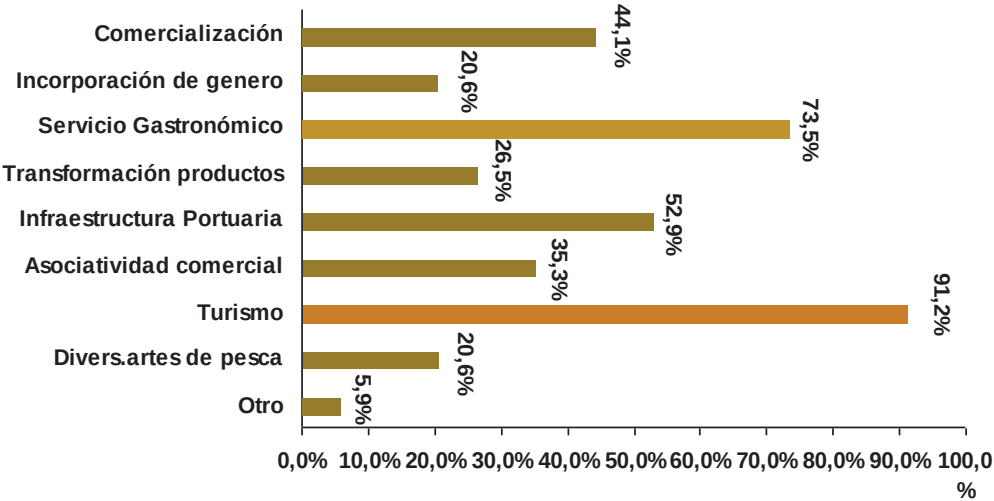


Figura 6. Factores que pueden convertirse en una oferta para el desarrollo de las caletas (No excluyentes). Fuente: Sernapesca, 2008

Actualmente, por la falta de recursos pesqueros en la zona, la mayoría de los productos que se venden en las caletas de la región son traídos del sur de Chile. Las caletas están evolucionando de ser una unidad de actividad primaria extractiva, a una unidad de actividad terciaria, ofreciendo sus productos y servicios. Es un punto de distribución de productos. Es por esto que el turismo es absolutamente compatible con la reorientación que se está generando en las caletas.

La V Región recibe a muchos turistas, en su mayoría nacionales y santiaguinos. Estos últimos prefieren notablemente vacacionar en la V Región, por su cercanía a la Región Metropolitana y por su condición de balneario.

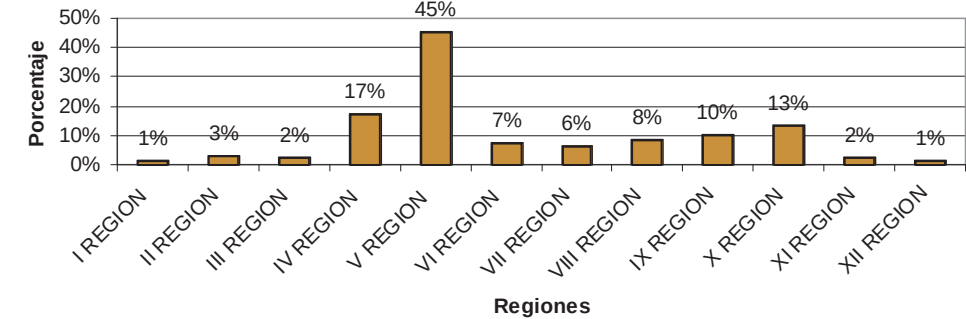


Figura 7. Distribución de Turistas Santiaguinos por Región. Fuente: Mercurio, Collect. Estudio “Veraneo de los Chilenos” 2002

Además, gran parte de los turistas santiaguinos prefieren la playa antes que la ciudad, el campo, los lagos o la montaña. Así lo muestra el siguiente gráfico.

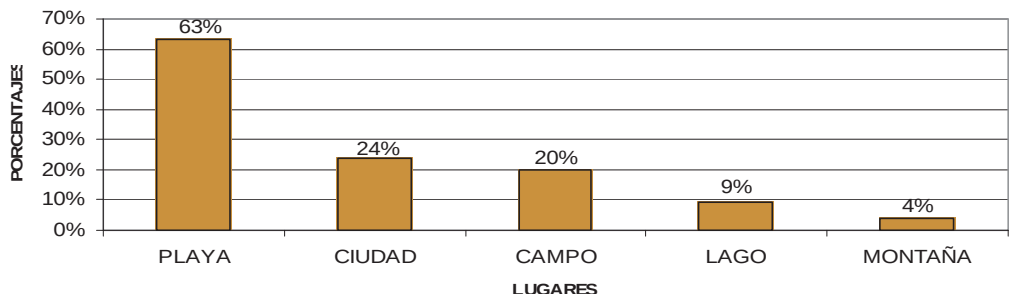


Figura 8. Lugares preferentes por los turistas de Santiago en la Región de Valparaíso.
Fuente: Mercurio, Collect. Estudio “Veraneo de los Chilenos” 2002

Esto complementado con los datos que entrega Sernatur en el año 2006, donde especifica que del 100% de santiaguinos que vienen a la Región de Valparaíso, el 44,1% se concentra en las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar – Reñaca, mientras que el resto lo hace en los otros balnearios de la Región.

4. El litoral

“Los espacios litorales se entienden como espacios problema, ya que se visualizan de manera disfuncional en los distintos usos que se puede tener, y porque en él confluyen diferenciadas funcionalidades: existen actividades económicas de distinta índole; existen leyes y zonas de usos, que para algunos tiene distintos intereses, y entra en conflicto ya que es un bien escaso. La necesidad de una ordenación específica del litoral nace de su realidad como bien escaso y progresivamente valorado para la localización de diferentes usos y actividades humanas que compiten por su utilización; de aquí su denominación de “espacio disputado””(Bussenius, 2011)

“Valparaíso ha olvidado el mar: quizá la dureza del mar lo ha hecho vacilar. La orilla del mar esta vedada, la gente marinera que ve llegar los buques desde los cerros no pueden llegar hasta el borde del agua, la gente de tierra no puede tomarse en ninguna terraza, ningún refresco; nadie puede nunca mojarse los pies en el agua. Se ha perdido la orilla, se ha perdido el misterio de la unión de la tierra con el agua, del agua con la roca, con el molo, del agua con arena y cuando hemos perdido el borde. Dado nuestra más profunda metafísica especial de hoy, hemos perdido la forma, hemos perdido el mar en Valparaíso”. (Cruz, 1953)

¿Cómo se le devuelve su destino marítimo a Valparaíso o cómo se le da a la ciudad su espacio disputado?

“La gestión integrada de zonas costeras, se entiende como un proceso dinámico, continuo e interactivo destinado a promover el desarrollo sostenible de las zonas costeras mediante integración de políticas, objetivos, estrategias y planes sectoriales en el espacio y tiempo y la integración de los componentes terrestres y marinos del litoral” (Barragán, 2003)

“Incluir el mar en el transporte, pues las calles ya están hechas, por qué no pensarlo así?” (Técnico IBM, del plan “Ciudades Inteligentes” para la ciudad de Valparaíso, 2013. Disponible en: <http://www.24horas.cl/regiones/valparaiso/vina-del-marproponen-nuevo-sistema-de-transportes-648688>)

5. Colapso vehicular en el borde costero

El recorrido por la costa se realizó por vía terrestre en transporte de locomoción colectiva. Esta situación hizo aparecer en el estudio una nueva arista y consigo una problemática: el colapso vehicular en el borde costero.

El potencial económico de la región ha atraído a mayor población a esta zona, produciéndose una congestión vehicular importante a lo largo del borde costero. Esto se incrementa notablemente en verano, colapsando el sistema de conectividad terrestre de la zona costera. Por ejemplo en la ruta costera que une Algarrobo y San Antonio durante la época estival, los tiempos de viaje son más del doble a los tiempos de viaje en temporada normal.

En las zonas costeras hay un evidente colapso de las vías de transporte privado y público. Esto porque dichas vías son las que conectan las principales ciudades de la región. Por lo general son vías angostas, ya que tienen el límite de la costa y las primeras cumbres del litoral. Esto sucede por ejemplo en las vías que unen Valparaíso - Viña del Mar - Concón.

La siguiente imagen corresponde a un fragmento de un mapa que muestra el grado de saturación de las vías que unen Valparaíso con Viña del Mar y Concón. Las líneas en color rojo corresponden a las vías más saturadas.

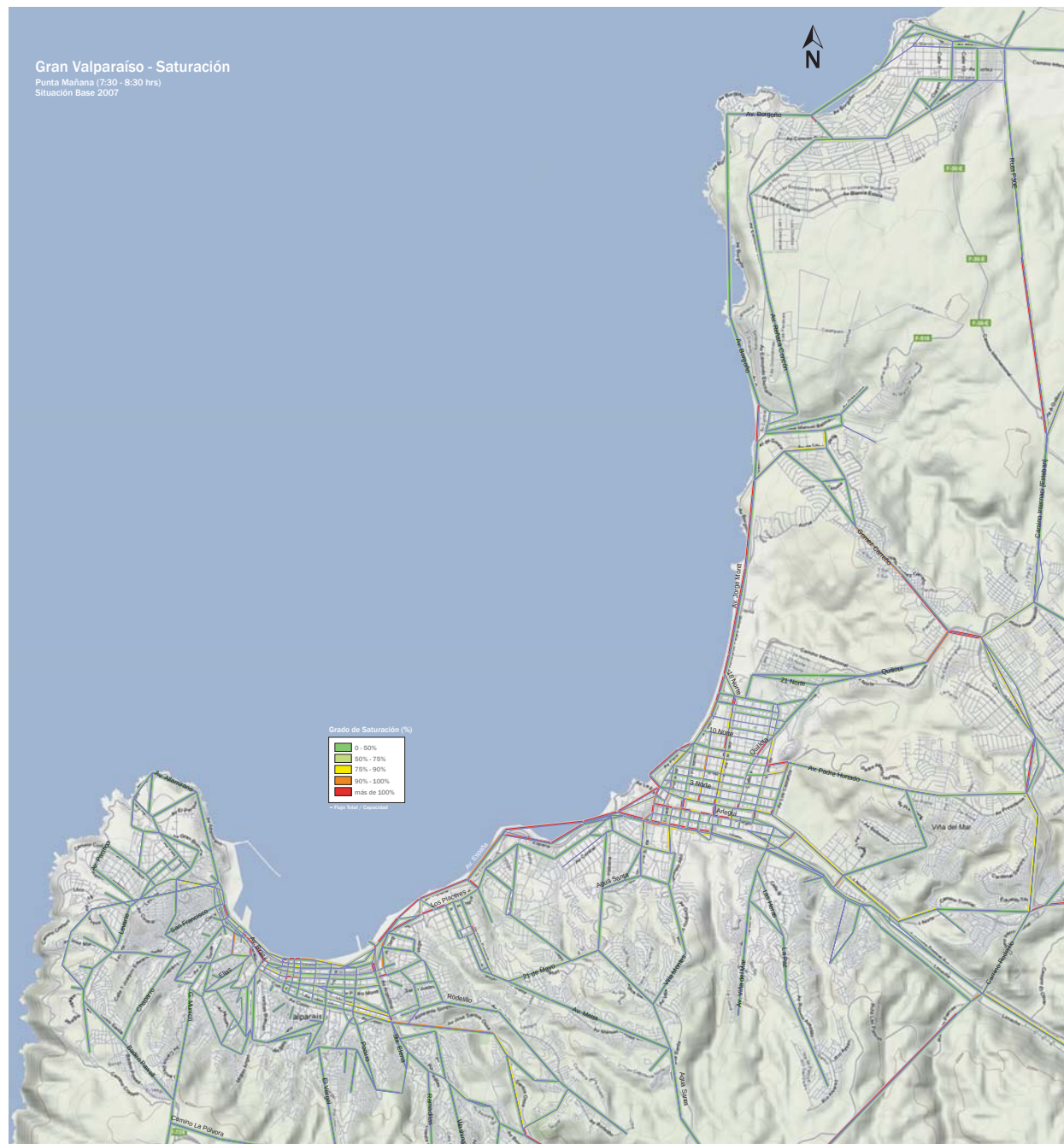


Figura 9. Fragmento de mapa de saturación del Gran Valparaíso.
Fuente: Situación Base Gran Valparaíso 2007, Secretaría de Planificación de Transporte, Chile

6. Tiempos de viaje navegando en la V Región

Según datos entregados por pescadores de la Caleta Portales de Valparaíso, es apropiado que las rutas marítimas vayan a una distancia de separación de 5 millas aproximadamente a la tierra. Distancia apropiada para no chocar con las olas que rebotan en la tierra. Esto varía de lugar en lugar. Las rutas que se intentan proyectar deben tender a la línea recta entre las puntas, pasando por las caletas en caso necesario. Esto para disminuir distancias y tiempos.

Hay recorridos mucho más rápidos que los que se hacen por tierra. Por ejemplo si estoy en Valparaíso en la Caleta El Membrillo y quiero ir a Caleta Higuera, y me traslado en un bote bongo de pescador, me demoraría 35 minutos app. (motor de 60 hp). Por tierra me demora alrededor de 1 hora para el mismo recorrido.

Tiempos aproximados en un bote de pescador con motor de 60 hp

Portales- Higuera: 35 min

Portales- Membrillo: 5 min.

Membrillo-Laguna Verde: 1 hora.

Laguna Verde- Quintay: 45 min.

Quintay- Algarrobo: 1 hora.

Algarrobo El Quisco: 15 min.

El Quisco- Las Cruces: 1 hora.

Las Cruces- Cartagena: 15 min.

Cartagena- San Antonio: 25 min.

(Datos entregados por un pescador experimentado de Caleta Portales)

Estos datos son referenciales para calcular los tiempos, ya que dependen de la embarcación en que se viaja. Ahora bien, muchas de las distancias en el recorrido son mucho menores a las de tierra.

7. La relación que da paso a la propuesta

Resumiendo todo lo expuesto anteriormente en el fundamento teórico, se puede decir que hay tres grandes situaciones en el borde costero del territorio recorrido, situaciones que se presentan también en el resto de la región y el país. Estas son:

-Decaimiento económico y social de las caletas pesqueras artesanales

-Potente actividad turística

-Atochamiento vehicular por las vías del borde costero

Dicho esto, lo que se propone es generar la interrelación de estas situaciones para lograr un bien común. Esto se lograría creando el encuentro entre las gran cantidad de personas que circulan por el borde costero, con las caletas de pescadores. Este encuentro se lograría a través de la reorientación del actual flujo terrestre (que colapsa) hacia el mar. Como parte de esta reorientación se piensa que la caleta debe ser la conexión entre la ciudad y el mar. Por lo tanto la caleta pasa a ser un punto de tránsito de personas, lo que posibilitaría nuevas actividades económicas basada en la entrega de servicios a ciudadanos y turistas.

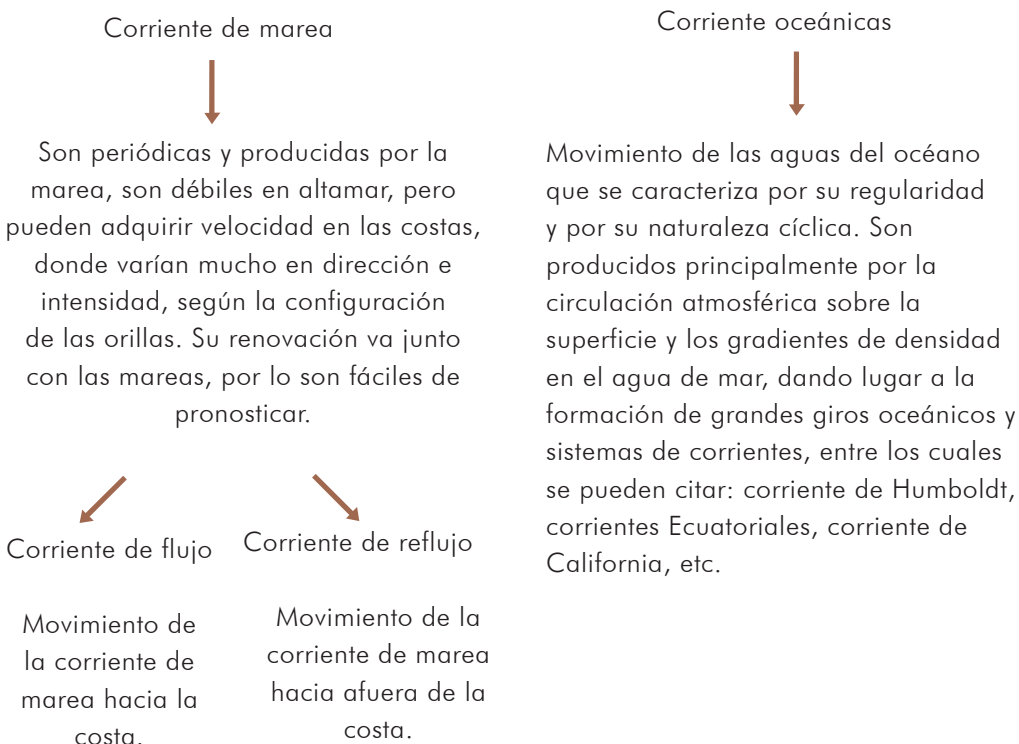
Esta es la base teórica que fundamenta el Sistema de transporte de pasajeros por vía marítima a lo largo de la V Región.

Para llevar a cabo este proyecto se deben estudiar otros ámbitos teóricos que guiarán la forma que tomará este Sistema de Transporte Marítimo y la embarcación que lo hará posible.

B. Características oceánicas de la V Región

1. Corrientes Marinas

Movimiento horizontal del agua. De las corrientes que se producen en el mar, existen dos tipos: la corrientes de marea y corrientes oceánicas. Las zonas donde dos corrientes se encuentran suelen ser particularmente ricas en nutrientes y vida.



a) Corrientes de la costa de Chile

En la zona norte y central de Chile se distinguen dos corrientes hacia el norte y dos hacia el sur (en la figura 11 se grafican claramente estas corrientes). El flujo norte corresponde al sistema de corrientes de Humboldt, con una rama oceánica o corriente Perú Chile y otra costera llamada también Corriente Costera de Chile. En tanto los flujos sur corresponden a la contracorriente oceánica del Perú y a la contracorriente costera de Chile, también denominada Contracorriente Chile-Perú. A los 43°S aproximadamente se acerca al continente la Corriente de Deriva del Oeste que se bifurca en dos ramas: hacia el sur, la Corriente del Cabo de Hornos y hacia el norte la Corriente de Perú o Corriente de Humboldt.

b) Corrientes en la V Región

La V Región de Valparaíso, como el resto del territorio chileno, se encuentra bajo la influencia de las corrientes de Humboldt y de Gunther. La corriente de Gunther –que se desplaza de norte a sur– se caracteriza por su alta temperatura, alta salinidad y contenido de oxígeno muy bajo. Su zona de influencia abarca desde Faro Carranza (Valparaíso sur) hasta la costa de El Callao (Perú), recorre este espacio por debajo de la corriente de Humboldt. Por su parte, la Corriente de Humboldt, que se divide en dos formando las ramas costera y oceánica, transporta hacia el norte, entre los 40°S y 45°S aproximadamente, masas de agua más frías, de baja salinidad y alto contenido de oxígeno disuelto, características que la hacen poseer las mejores condiciones para soportar la vida marina.

Pero estas condiciones no son estables, pues se presentan cada cierto tiempo alteraciones a las condiciones de temperatura, salinidad y oxígeno, el más importante es el fenómeno del Niño, que equivale a un virtual desastre ecológico al afectar a la cadena alimenticia del océano.

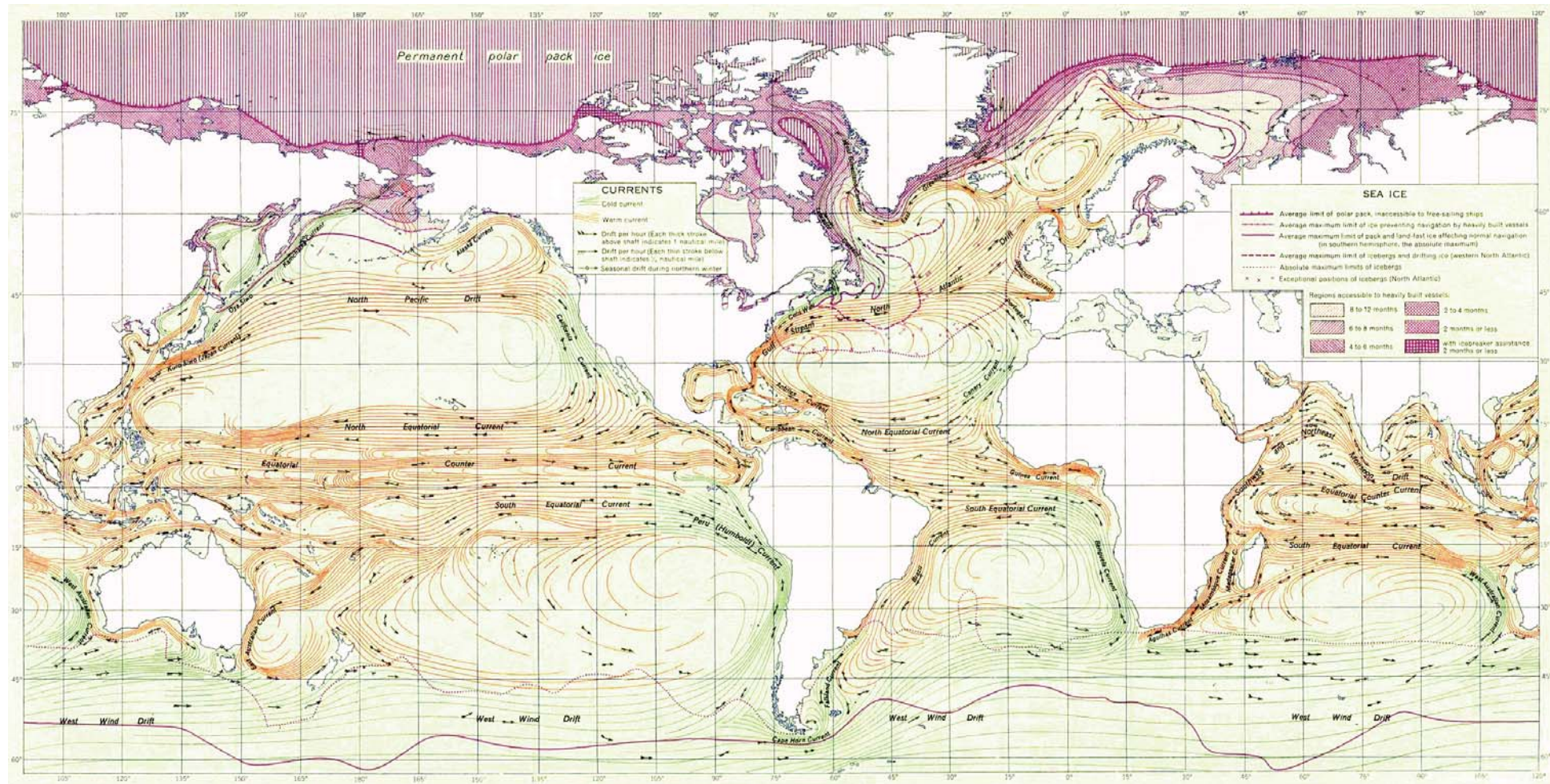


Figura 10. Ocean Currents and Sea Ice from Atlas of World Maps.
Fuente: US Army, 1943

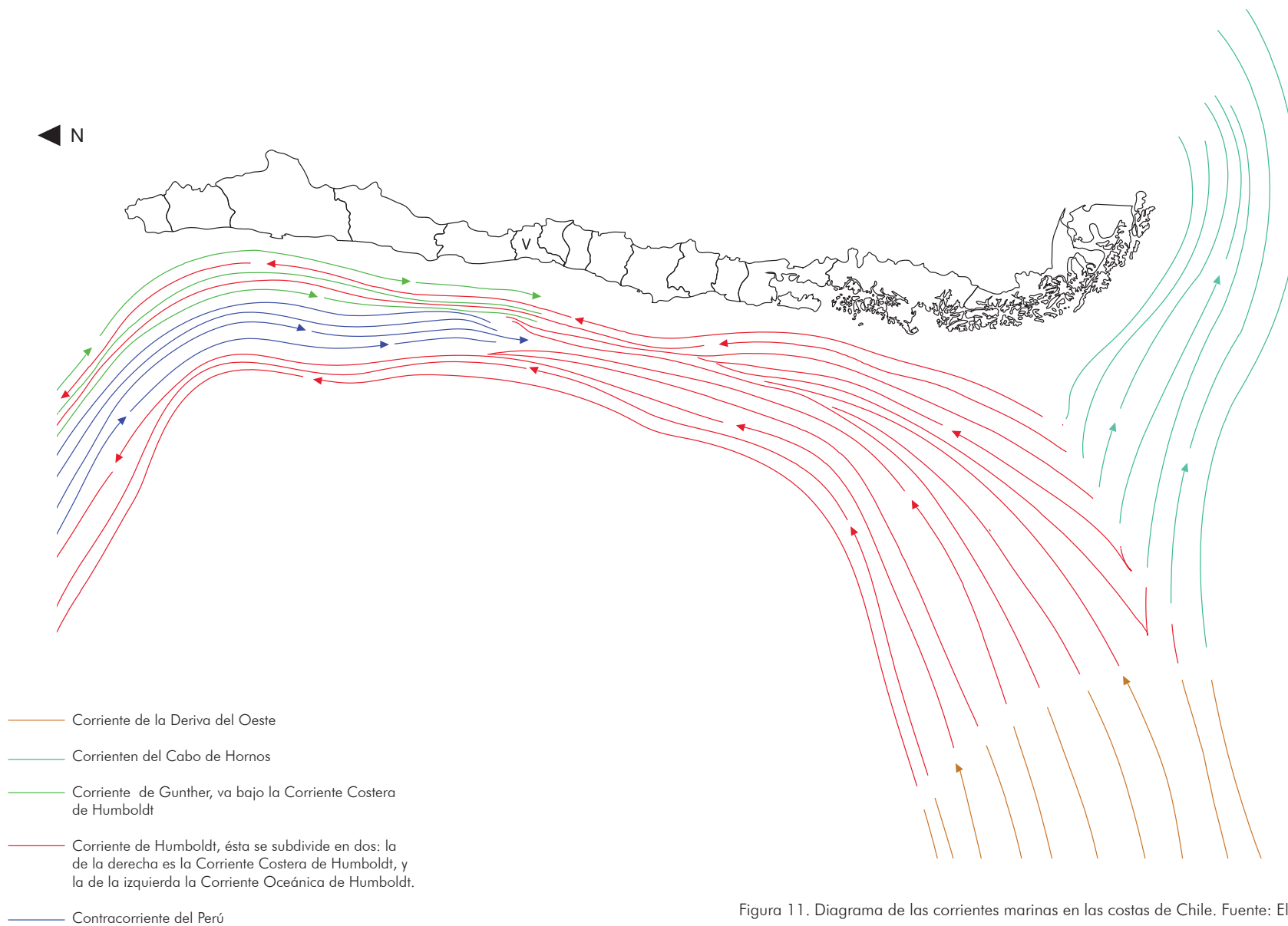


Figura 11. Diagrama de las corrientes marinas en las costas de Chile. Fuente: Elaboración Propia

2. Olas y Mareas

“La dirección W, tiene el mayor porcentaje de incidencia y constituye la dirección reinante, mientras que las direcciones SW y NW se consideran como las direcciones dominantes. En cuanto a las alturas de ola oceánica, observó que en condiciones de verano para la dirección W, es de 1 m y para la dirección S de 1,5 m, mientras que en invierno para ambas direcciones es de 2,5 m. Para la condición de temporal, la altura promedio de la dirección NW, es de 6 m”(GIZC e Instituto de Geografía - PUCV, 2008)

Una característica frecuente en Chile Central, son las llamadas marejadas, provocadas por las perturbaciones atmosféricas del frente polar, generando oleaje de tempestades de alrededor de 5 m de altura. Las mareas en la costa central de Chile, son de régimen mixto semidiurno, lo cual significa que existen dos bajamares y dos pleamares durante el día y con distinta amplitud.

Para el puerto principal de Valparaíso, la diferencia en altura entre una pleamar y una bajamar consecutiva es de 1,66 m. La mayor amplitud de la marea llenante (altura media entre la pleamar y la bajamar consecutiva) corresponden a 1,76 m. (GIZC e Instituto de Geografía PUCV, 2008)

3. Vientos

El sistema de vientos en la zona central de Chile, está regido principalmente por la presencia del anticiclón del Pacífico Sur, y el forzamiento térmico local generado por la diferencia de temperatura océano-continente. En general, el ciclo anual del viento a lo largo de esta costa en la región de Valparaíso, se caracteriza por la influencia mayoritaria de los vientos anticiclónicos del sur y suroeste, de características netamente oceánicas, estos se presentan mayoritariamente entre Octubre y Marzo. La presencia de vientos del norte y noroeste tienen mayor frecuencia entre Mayo y Agosto, y tienen fuerte correspondencia con la presencia de frentes de mal tiempo. En la región, se registran bajas intensidades de vientos entre las 20:00 hrs y las 07:00 hrs. Entre las 10:00 y las 18:00 hrs. se direccionan hacia la costa, y el resto del día hacia mar abierto. (GIZC e Instituto de Geografía PUCV, 2008)

4. Estadísticas de Cierre del Puerto de Valparaíso

En esta sección se expone un certificado entregado por la Capitanía de Puerto de Valparaíso, que certifica la estadística sobre los cierres del puerto. Se nombran todos los días del año 2009, 2010, 2011 y 2013 en que se cerró el puerto, ya sea para naves menores con radar, para naves menores sin radar o para todo tipo de naves.

Se muestra la fecha, el horario en que se cerró , la condición de puerto, la condición de tiempo y situación marítima.

Las siguientes imágenes son escaneos del documento original. Luego se analizan los datos expuestos.

Desde el mes de Enero 2009 a la fecha, en el Puerto de Valparaíso se ha establecido la condición de puerto cerrado en las siguientes fechas:

C. P. (V) ORDINARIO N° 12.110/1

CERTIFICADO



EL CAPITÁN DE PUERTO DE VALPARAÍSO QUE SUSCRIBE,

CERTIFICA

Que, desde el mes de enero 2009 a la fecha, en el puerto de Valparaíso se ha establecido la condición de puerto cerrado en las siguientes fechas:

DÍA	HORA		CONDICIÓN PUERTO	CONDICIÓN TIEMPO	SITUACIÓN MARÍTIMA
	DESDE	HASTA			
31-01-09	08:20	12:20	NORMAL	CERRAZÓN DE NEBLINA	SE CIERRA EL PUERTO PARA EE.MM. TANTO DENTRO COMO FUERA DE LA BAHÍA QUE NO POSEAN RADAR.
13-02-09	18:50	21:00	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA EE.MM. DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA POR CONDICIÓN DE VIENTO.
23-02-09	11:00	17:15	NORMAL	CERRAZÓN DE NEBLINA	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA EE.MM. QUE NO POSEAN RADAR FUERA DE LA BAHÍA.
07-03-09	17:30	19:30	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA EE.MM. DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
13-03-09	22:52	-	NORMAL	CERRAZÓN DE NEBLINA	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA EE.MM. DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA QUE NO POSEAN RADAR.
14-03-09	-	00:01		CERRAZÓN DE NEBLINA	CIERRE PUERTO EE.MM. DENTRO Y FUERA BAHÍA QUE NO CUENTEN CON RADAR.
30-03-09	00:50	07:40	NORMAL	CERRAZÓN DE NEBLINA	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA EE.MM. QUE NO POSEAN RADAR, DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
22-04-09	02:50	08:20	NORMAL	CERRAZÓN DE NEBLINA	SE CIERRA EL PUERTO POR CERRAZÓN DE NIEBLA PARA EE.MM. DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA QUE NO CUENTEN CON RADAR.
22-04-09	22:00	-	NORMAL	CERRAZÓN DE NEBLINA	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA EE.MM. QUE NO POSEAN RADAR.
23-04-09	-	07:30		CERRAZÓN DE NEBLINA	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA EE.MM. DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA QUE NO POSEAN RADAR.
24-04-09	12:15	13:20	NORMAL	CERRAZÓN DE NEBLINA	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA EE.MM. DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA QUE NO POSEAN RADAR.
15-05-09	08:58	-	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA NAVES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
19-05-09	11:47	-	NORMAL	CERRAZÓN DE NEBLA	CERRADO PARA NAVES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
20-05-09	-	08:11		CERRAZÓN DE NEBLA	CERRADO PARA NAVES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.

Figura 12. Página 1 Certificado de estadísticas de cierre del Puerto de Valparaíso. Fuente: Capitanía del Puerto de Valparaíso, Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante, República de Chile.

A-Nº 900262

21-05-09	04:03	07:40	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA NAVES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	MINORES
03-06-09	06:08	09:09	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA NAVES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	MINORES
16-07-09	12:54	14:54	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA NAVES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	MINORES
27-08-09	21:36	-	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA NAVES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	MINORES
28-08-09	-	03:06	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA NAVES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	MINORES
06-09-09	11:56	13:31	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA NAVES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	MINORES
12-09-09	06:53	-	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA NAVES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	MINORES
13-09-09	-	06:59	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA NAVES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	MINORES
30-10-09	06:38	08:15	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA NAVES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	MINORES
29-11-09	18:47	-	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA NAVES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	MINORES
30-11-09	-	07:02	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA NAVES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	MINORES
12-01-10	17:10	21:20	NORMAL	VARIABLE	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA EE.MM. DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA DE VALPARAISO, POR CONDICIONES DE VIENTO.	MINORES
14-01-10	08:55	10:10	NORMAL	CERRAZÓN DE NEBLINA	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA EE.MM. DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA, QUE NO POSEAN RADAR	MINORES
20-01-10	15:55	18:35	NORMAL	VARIABLE	PUERTO CERRADO PARA NAVES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	MINORES
22-01-10	09:10	11:00	NORMAL	CERRAZÓN DE NEBLINA	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA EE.MM. QUE NO POSEAN EQUIPOS DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN, EN NAVEGACIÓN FUERA DE LA BAHÍA.	MINORES
10-02-10	09:30	11:08	NORMAL	CERRAZÓN DE NEBLINA	PUERTO CERRADO PARA EE.MM. QUE NO TENGAN RADAR, DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	MINORES
14-02-10	07:00	15:04	NORMAL	CERRAZÓN DE NEBLINA	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA EE.MM. QUE NO POSEAN ELEMENTOS DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN, DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	MINORES
25-03-10	02:00	02:45	NORMAL	CERRAZÓN DE NEBLINA	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA EE.MM. QUE NO POSEAN ELEMENTOS DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN, DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	MINORES
25-03-10	07:30	16:00	NORMAL	CERRAZÓN DE NEBLINA	SE ESTABLECE PUERTO CERRADO PARA EE.MM. DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA, QUE NO POSEAN RADAR.	MINORES
25-03-10	20:15	22:40	NORMAL	CERRAZÓN DE NEBLINA	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA EE.MM. QUE NO POSEAN EQUIPOS DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN, EN NAVEGACIÓN FUERA DE LA BAHÍA	MINORES
03-05-10	21:25	-	NORMAL	CERRAZÓN DE NEBLINA	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.	MINORES
04-05-10	-	13:14	NORMAL	CERRAZÓN DE NEBLINA		MINORES

Figura 13. Página 2 Certificado de estadísticas de cierre del Puerto de Valparaíso.
Fuente: Capitanía del Puerto de Valparaíso, Dirección General del Territorio Marí-
timo y de Marina Mercante, República de Chile.

A-N° 900263

07-06-10 08-06-10	15 10:00	-	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO MENORES RADAR.	PARA QUE NO CUENTEN CON RADAR.	EMBARCACIONES MENORES
13-06-10	10:00	09:09	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
13-06-10	18:50	00:39	NORMAL	MAL TIEMPO	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
15-06-10	00:40	08:49	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
17-06-10	09:00	-	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
18-06-10	00:55	07:29	NORMAL	MAL TIEMPO	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
18-06-10	07:30	15:29	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
23-06-10	16:45	-	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
24-06-10	-	07:44	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
04-07-10	11:00	-	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
05-07-10	-	07:59	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
05-07-10	08:00	-	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
06-07-10	-	11:19	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
06-07-10	11:20	15:39	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
06-07-10	15:40	18:14	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
06-07-10	18:15	-	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
07-07-10	-	07:40	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
14-08-10	12:20	13:19	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
14-08-10	13:20	14:09	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
15-08-10	13:00	-	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
16-08-10	-	08:09	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
18-08-10	15:05	-	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
19-08-10	-	07:30	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
07-09-10	06:45	13:45	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES
09-09-10	08:54	12:55	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA NAVES MENORES	PARA NAVES MENORES

Figura 14. Página 3 Certificado de estadísticas de cierre del Puerto de Valparaíso.
Fuente: Capitanía del Puerto de Valparaíso, Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante, República de Chile.

A-Nº 900264



26-09-10	14:45	-	NORMAL	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA ELEMENTOS DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN, DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
27-09-10	06:36			
11-12-10	14:35	-	NORMAL	CERRADO PARA NAVES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
12-12-10	-	09:04		
12-12-10	12:03	-	NORMAL	CERRADO PARA NAVES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
13-12-10	-	08:14		
11-03-11	05:40	-	NORMAL	CERRADO PARA TODO TIPO DE EMBARCACIONES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
12-03-11	-	09:26		
03-04-11	22:20	11:14	NORMAL	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.
04-04-11	11:15	15:07	NORMAL	SUSPENSIÓN DE MANIOBRAS DE ATRAQUE Y DESATRAQUE DE NAVES MERCANTES.
25-04-11	13:15	16:24	NORMAL	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.
02-05-11	07:35	17:34	NORMAL	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.
03-05-11	10:25	16:49	NORMAL	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.
12-05-11	13:45	16:29	NORMAL	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.
17-06-11	16:50	-	NORMAL	CERRADO PARA NAVES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
18-06-11	-	08:44		
18-06-11	08:45	11:09	NORMAL	CERRADO PARA NAVES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
18-06-11	11:10	23:09	CERRADO	CERRADO TOTALMENTE – PARALIZACIÓN DE ACTIVIDAD.
18-06-11	23:10	-	CERRADO	CERRADO TOTALMENTE – PARALIZACIÓN DE ACTIVIDAD.
20-06-11	-	23:59		
21-06-11	00:00	07:59	NORMAL	CERRADO PARA MOVIMIENTO DE NAVES MAYORES.
13-07-11	08:15	08:46	NORMAL	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.
13-07-11	17:00	-	NORMAL	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
14-07-11	-	12:09		
14-07-11	12:10	16:09	NORMAL	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
14-07-11	16:10	20:59	CERRADO	CERRADO TOTALMENTE – PARALIZACIÓN DE ACTIVIDAD.

Figura 15. Página 4 Certificado de estadísticas de cierre del Puerto de Valparaíso.
Fuente: Capitanía del Puerto de Valparaíso, Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante, República de Chile.

A-N° 900265

14-07-11	21:00	-	NORMAL	MAL TIEMPO	CERRADO MENORES BAHÍA.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
15-07-11	-	07:44	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
15-07-11	07:45	10:59	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
09-08-11	04:15	13:59	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
09-08-11	17:15	-	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
10-08-11	-	06:59	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
10-08-11	21:00	-	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
11-08-11	-	10:09	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
11-08-11	12:00	13:29	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
15-08-11	09:00	-	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
16-08-11	09:00	11:59	NORMAL	MAL TIEMPO	CERRADO PARA MOVIMIENTO DE NAVES MAYORES.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
16-08-11	12:00	16:39	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
13-09-11	10:50	13:44	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
25-09-11	07:00	13:59	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
27-09-11	09:38	14:44	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
22-12-11	16:00	20:04	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
25-12-11	08:00	15:29	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
27-12-11	03:55	05:59	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
03-05-12	11:20	11:54	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
25-05-12	15:00	-	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
26-05-12	-	18:19	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
26-05-12	18:20	22:34	NORMAL	MAL TIEMPO	CERRADO PARA MOVIMIENTO DE NAVES MAYORES.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
26-05-12	22:35	08:44	CERRADO	TEMPORAL	CERRADO TOTALMENTE – PARALIZACIÓN DE ACTIVIDAD.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
27-05-12	08:45	15:09	NORMAL	MAL TIEMPO	CERRADO PARA MOVIMIENTO DE NAVES MAYORES.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
27-05-12	15:10	20:29	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
02-06-12	17:47	20:57	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.
03-06-12	19:55	23:49	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.	PARA DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA.

Figura 16. Página 5 Certificado de estadísticas de cierre del Puerto de Valparaíso.
Fuente: Capitanía del Puerto de Valparaíso, Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante, República de Chile.

A-N° 900266

03-06-12	08:20	-	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
06-06-12	-	08:21	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
12-06-12	08:00	15:09	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
12-06-12	15:10	-	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
13-06-12	-	12:24	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
13-06-12	12:25	18:29	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
14-06-12	23:06	-	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
15-06-12	-	00:35	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
15-06-12	16:15	18:19	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
16-06-12	14:10	17:59	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
16-06-12	18:00	23:59	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
17-06-12	00:00	07:59	NORMAL	MAL TIEMPO	CERRADO PARA MOVIMIENTO DE NAVES MAYORES.
17-06-12	08:00	19:34	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
25-06-12	22:00	-	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
26-06-12	-	03:59	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
30-06-12	17:30	18:59	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
30-06-12	22:10	-	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
01-07-12	-	07:59	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
02-07-12	01:36	-	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
03-07-12	-	07:55	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
19-07-12	05:17	09:14	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
19-07-12	18:14	-	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
20-07-12	-	09:57	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
20-07-12	14:12	-	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
21-07-12	-	01:53	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
02-08-12	18:02	-	NORMAL	MAREJADAS	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
03-08-12	-	09:39	NORMAL	MAREJADAS	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
15-08-12	10:43	-	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
16-08-12	-	06:46	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
16-08-12	11:15	-	NORMAL	MAREJADAS	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
17-08-12	-	20:26	NORMAL	MAREJADAS	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.
24-08-12	20:43	-	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA.

Figura 17. Página 6 Certificado de estadísticas de cierre del Puerto de Valparaíso.
Fuente: Capitanía del Puerto de Valparaíso, Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante, República de Chile.

FECHA	HORA	ESTADO	VARIABLE	COMENTARIOS
25-08-12	-			MENORES FUERA DE LA BAHIA
29-08-12	06:40	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
20-09-12	16:57	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHIA
25-09-12	10:23	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
25-09-12	15:00	NORMAL	CERRAZÓN DE NIEBLA	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
09-10-12	08:25	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES FUERA DE LA BAHIA
23-11-12	18:00	NORMAL	TIEMPO VARIABLE	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHIA
26-11-12	22:20		-	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
27-11-12	-	NORMAL	01:00	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
03-12-12	05:48	NORMAL	11:29	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
25-12-12	15:20		-	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHIA
26-12-12	-	NORMAL	00:20	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHIA
26-12-12	13:00	NORMAL	18:40	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHIA
29-12-12	08:45	NORMAL	15:00	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
15-02-13	09:37	NORMAL	13:25	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
22-02-13	10:18	NORMAL	20:31	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES QUE NO CUENTEN CON RADAR
23-02-13	18:17	NORMAL	21:41	CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHIA

Se extiende el presente certificado a petición del Sra. Carolina Andrea Chavéz Gatica, estudiante de Magister Náutico Marítimo de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Se deberán cancelar los derechos de acuerdo al artículo N° 501 del D.S.(M)
427 de fecha 25 de Junio de 1979.

Valparaíso, 11.9 MAR 2013

ANTONIO GARRIGA VARELA
CAPITÁN DE FRAGATA LT
CAPITÁN DE PUERTO DE VALPARAISO

DISTRIBUCIÓN:
1.- INTERESADO.
2.- RECAUDACIONES.
3.- ARCHIVO OP.

Figura 18. Página 7 Certificado de estadísticas de cierre del Puerto de Valparaíso. Fuente: Capitania del Puerto de Valparaíso, Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante, República de Chile.

Análisis de datos de cierre del Puerto de Valparaíso

Para analizar los datos expuestos anteriormente, se consideró la cantidad de días cerrados para una embarcación menor con radar. Estos días están marcados con “ticket” en las imágenes anteriores.

Los días de puertos cerrados para naves menores con radar, son los siguientes:

Año 2009: 16 días

Año 2010: 26 días

Año 2011: 17 días

Año 2012: 34 días

Promedio: 22 días al año se cierra el Puerto de Valparaíso para naves menores con radar. Esto corresponde al 6% de los días del año.

De los 93 días en que se cerró el Puerto de Valparaíso para naves menores con radar, entre los años 2009 y 2012, el 60% de los días es por causa del tiempo variable, el 16% es por causa del mal tiempo, el 14% es por causa de la cerrazón de neblina, el 4% es por causa de marejadas, otro 4 % es por temporal y el 1% es por alerta de tsunami. Así lo muestra el siguiente gráfico.

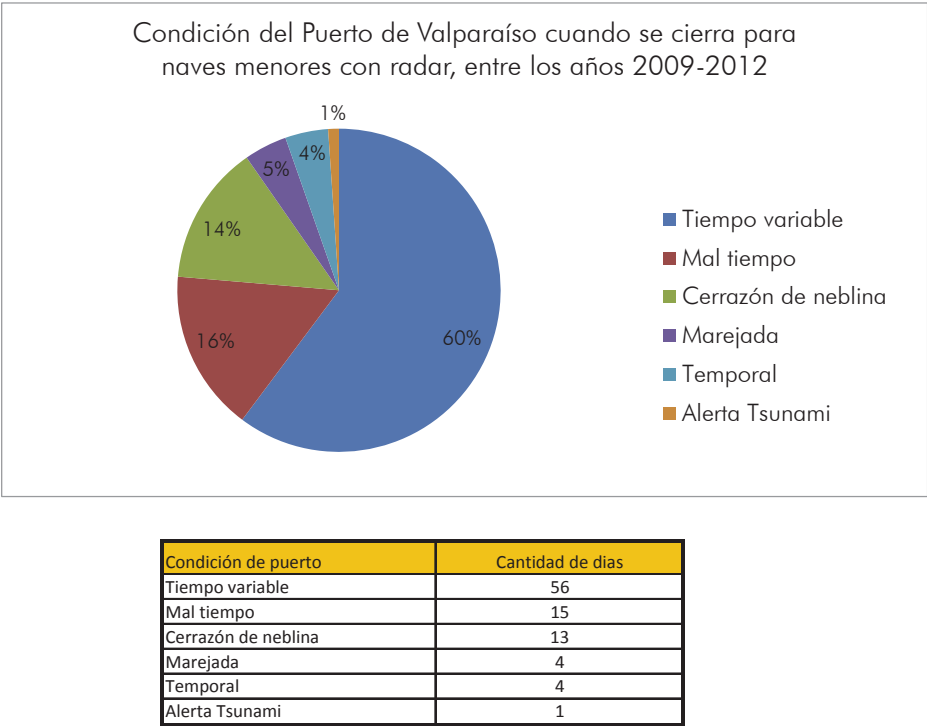


Figura 19. Gráfico de Condición del Puerto de Valparaíso cuando se cierra para naves menores con radar, entre 2009 y 2012. Fuente: Elaboración propia

Entre el 2009 y el 2012, el puerto se cerró 160 días, ya sea para naves menores, naves menores con radar o para naves mayores. De estos 160 días en que se cerró, el 46 % de los días se cerró a causa de la cerrazón de neblina, el 38% de los días se cerró por tiempo variable, el 9% de los días se cerró por el mal tiempo, el 4% de los días se cerró por las marejadas, el 2% de los días se cerró por temporal y el 1% se cerró por alerta de tsunami.

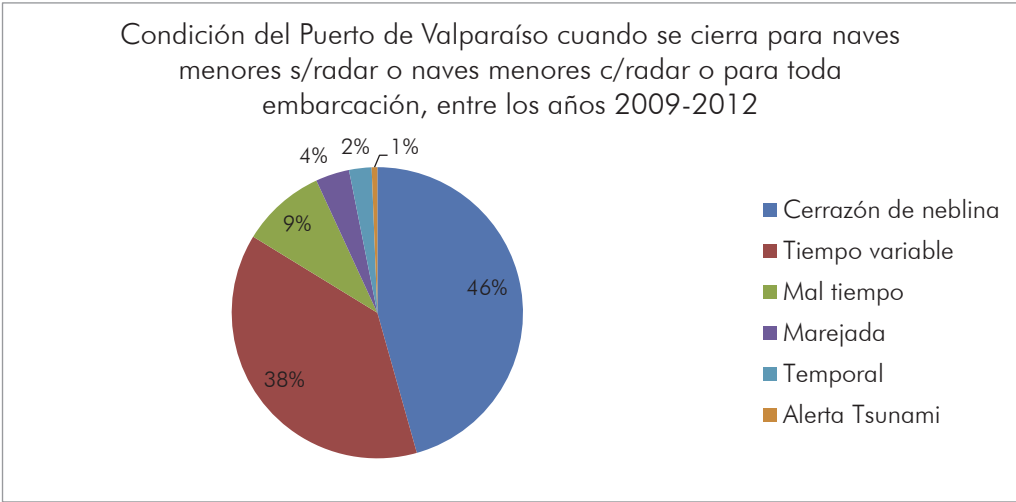


Figura 20. Gráfico de condición del Puerto de Valparaíso cuando se cierra para naves menores s/radar o naves c/radar o para toda embarcación, entre 2009 y 2012. Fuente: Elaboración propia

La obra que se proyecta en el Sistema de Transporte Marítimo, debe responder a estos requerimientos ambientales antes mencionados.

Por otro lado, al pensar en un sistema de transporte público, es preciso tener claro lo que significa la habitabilidad en estos espacios, para ello a continuación se expone el estudio teórico de habitabilidad en espacios públicos.

C. Habitabilidad en espacios públicos

1. Variables que afectan la habitabilidad

“La relación positiva del espacio que nos acoge nos habla de un alto grado de habitabilidad” (Harrison y Swain, 2003). Es difícil definir “la habitabilidad”, pero esta definición citada resume de forma sencilla el concepto. Lo que resulta más fácil de definir son las variables que afectan la habitabilidad en una obra. Por ejemplo, para proyectar la embarcación del Sistema de Transporte Marítimo se pueden enumerar las principales variables:

Cinetosis (mareos)

Ruido

Seguridad

Abrigo

Densidad peatonal

Accesos

Circulación

Iluminación

Moviliario

Suelos

Infraestructura

2. Lugar, espacio y habitantes

“Lo que hace que un espacio sea lugar es el rol singular que posee en la ciudad y que lo hace distintivo, único, con valor y significado propio. La organización de los espacios públicos depende, de la relación espacial de los individuos. Se pueden generar distancias de intimidad y de socibilizar entre los individuos, o esferas visuales que establecen límites de lo privado y lo público.” (Harrison y Swain, 2003)

“El espacio público es aquel donde la gente desarrolla las actividades funcionales y rituales que unen a la comunidad” (Carr, Francis y Rivlin). Los mismos autores hablan que en los espacios públicos se dan actividades rutinarias normales de la vida diaria o festividades periódicas. Las actividades de la rutina responden a la función, mientras que la festividad es un ritual que une, y que no está dada por la función.

Se debe dar interactividad entre la persona y el espacio. El espacio es un conjunto de estímulos que la persona los recibe y asocia para que se produzca la conexión. Debería permitir el descanso y escapar de la confusión, el ruido y hacinamiento de la ciudad.

D. Sistemas de transporte marítimo en el mundo

Como parte del estudio para proponer el diseño del Sistema de Transporte Marítimo en la V Región, se hace necesario revisar casos referenciales similares que ya estén operando. Se hace una comparación para entender las características de los sistemas ya implementados.

La figura 21 nos permitirá comparar las distancias que se recorren en los otros sistemas a revisar. Esta imagen satelital corresponde a la bahía de Valparaíso, Viña del Mar y Concón. La línea roja corresponde a un recorrido entre Caleta Membrillo, Valparaíso y Caleta San Pedro de Concón

También se agregan datos demográficos de cantidad de habitantes que involucra el sistema, como dato de comparación.



Figura 21. Fragmento de territorio donde se aplicaría el Sistema de Transporte Marítimo en la V Región.
Fuente: Elaboración Propia

Valparaíso: 275.982 hbts.

Viña del Mar: 286.931 hbts

Concón: 32.273 hbts.

Total habitantes conurbacion Valpo - Viña del Mar - Concón: 594.186 hbts.

1. Cádiz, España

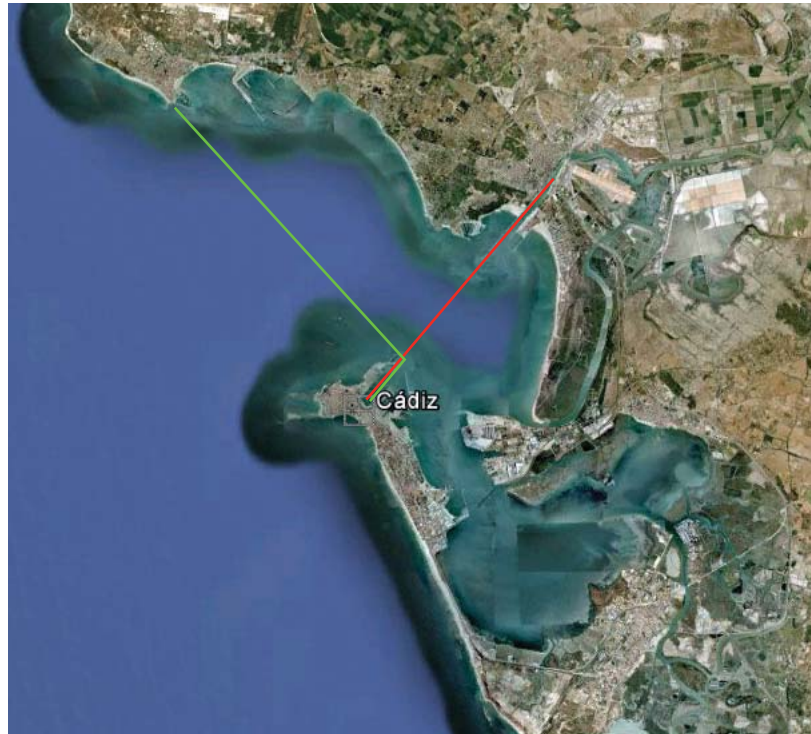


Figura 22. Dos rutas de los taxis marítimos en el sistema de transporte para pasajeros de Cádiz, España. Fuente: Elaboración propia, en base a datos del Consorcio de Transportes Bahía de Cádiz, www.cmtbc.es

Población total de Cádiz: 1.230.594 habitantes

Embarcaciones Sistema de Transporte en Cádiz, España



Catamarán de pasajeros. Posee un toldo rígido plegable en la cubierta superior para proteger contra el calor y la lluvia.

Eslora 25'80 m.

Manga 8'00 m.

Puntal 2'70 m.

Motor 2 MAN de 1100 C.V (1085 HP)

Pasajeros 150 (+3) personas

Figura 23. Fotografías de la embarcación para pasajeros de Cádiz, España. Fuente: Astilleros Dalmau. Disponible en: www.astillerosdalmau.com

2. Nueva York, EE.UU



Figura 24. Ruta de los taxis marítimos en el sistema de transporte para pasajeros de Nueva York, EE.UU. Fuente: Elaboración propia en base a datos de New York Water Taxi. Disponible en: www.nywatertaxi.com

Población de la ciudad de Nueva York: 8.500.0000 habitantes.

Embarcaciones Sistema de Transporte en Nueva York, EE.UU



Figura 25. Fotografías de la embarcación para pasajeros de NY, EE.UU. Fuente: New York Water Taxi. Disponible en: www.nywatertaxi.com

Estas embarcaciones tienen 16,76 m de eslora y capacidad para 75 pasajeros. Se traslada por los ríos Hudson y East River, cubriendo el uptown, midtown y downtown de Manhattan, así como también Brooklyn. No sólo lo usan turistas sino también residentes. Ofrecen distintos tipos de recorridos, las Commuter-Routes, los Harbour Tours, recorridos pre establecidos que llevan a un lugar en concreto, como por ejemplo la Estatua de la Libertad. El tercer tipo de ruta se llaman Hop-on Hop off y tienen lugar los fines de semana sólo por las mañanas. Se puede comprar un billete completo que permite subir y bajar del Water Taxi tantas veces como se quiera o pagar según el número de paradas. Este servicio sólo se da entre Abril y Noviembre.

3. Auckland, Nueva Zelanda

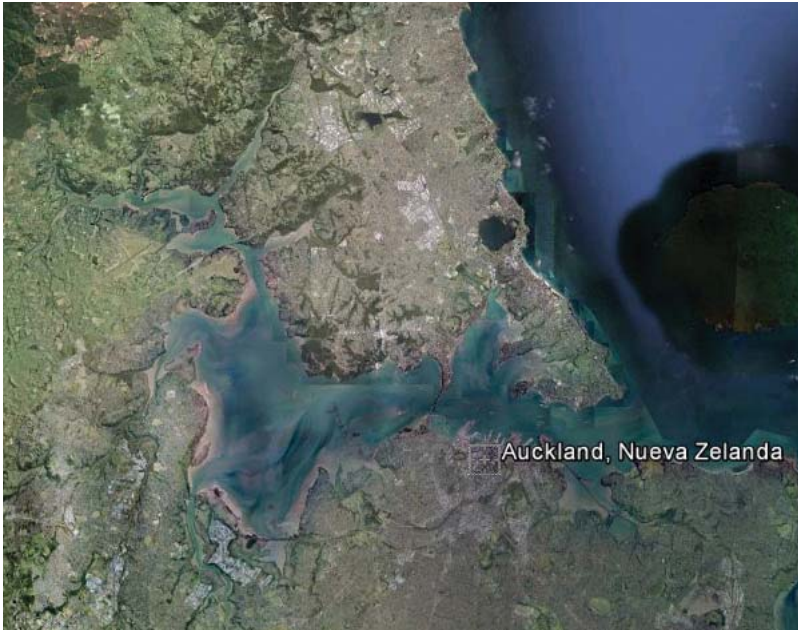


Figura 26. Territorio donde operan los taxis marítimos en el sistema de transporte para pasajeros de Auckland, Nueva Zelanda. Fuente: Google Earth

Población de la ciudad de Auckland: 1.237.239 habitantes

Embarcaciones Sistema de Transporte en Auckland, Nueva Zelanda



Figura 27. Fotografías de la embarcación para pasajeros de Auckland, Nueva Zelanda. Fuente: Lomocean. Disponibl en: <http://www.lomocean.com>

Especificaciones:

Longitud: 11.1 m

Manga: 4.1 m

Puntal: 1.2 m

Potencia: 575 hp

Combustible: 800 litros

Velocidad: 30 nudos

4. Rotterdam, Holanda



Figura 28. Ruta de los taxis marítimos en el sistema de transporte para pasajeros de Rotterdam, Holanda.
Fuente: Elaboración propia en base a datos de Water Taxi Rotterdam, www.watertaxirotterdam.nl

Población de la ciudad de Rotterdam: 2.82.000 habitantes.

Los taxis marítimos se usan básicamente para ir de un lugar en el lado Norte del río al otro en el lado Sur -o viceversa- o simplemente como elemento turístico del viaje.

En esta ciudad no es un medio de transporte muy económico -unos 5 Euros (\$3200 pesos chilenos) por un recorrido de 3 ó 4 minutos, pero a veces es práctico para evitar las combinaciones de transporte que se tendrían que hacer para dar la vuelta que permita cambiar de orilla.

Embarcaciones Sistema de Transporte en Rotterdam, Holanda

El Taxi Marítimo de Rotterdam cuenta con una flota que consta de 4 taxis acuáticos clásicos y 5 taxis de malla rápido. Estos barcos están cubiertos y poseen calefacción. Todos pueden establecer un máximo de 8 pasajeros. Además, de un taxi de 12 personas, llamado MSTX6. Debido a que los barcos son bastante rápidos, rebotan en el agua, por lo que necesitan un mantenimiento constante. Tienen su propio departamento técnico.

Maastaxis

Cuando el clima lo posibilita, pueden ir 5 personas sentadas en la cubierta de popa. Estos taxis son de malla de poliéster y son impulsados por un motor Yanmar motor de 6 cilindros de 370 CV (364,96 HP) con un chorro de agua. Estos barcos alcanzan una velocidad de 45 km/hra. El calado es de 50 cm y pesa 1,814 toneladas.



Figura 29. Fotografías de la embarcación Maastaxi para pasajeros de Rotterdam, Holanda.
Fuente: Water Taxi Rotterdam, www.watertaxirotterdam.nl

MSTX6

Esta embarcación también es de malla de poliéster. Tiene capacidad para 12 personas. El MSTX6 es impulsado por 2 motores de 6 cilindros Steyr de 190 caballos de fuerza cada uno con un chorro de agua y alcanza una velocidad de 50 km/h. El calado es de 40 cm y el desplazamiento de 1,587 toneladas.



Figura 30. Fotografías de la embarcación MSTX6 para pasajeros de Rotterdam, Holanda. Fuente: Water Taxi Rotterdam, www.watertaxirotterdam.nl

Taxi clásico

Estas embarcaciones son de acero y madera. Son propulsadas por un motor Yanmar de 70 CV (69 HP) 4 cilindros con un eje de la hélice. Tiene una eslora de 7,5 metros, una manga de 1 metro y una velocidad de 15 a 90 km/h. Su calado es de 60 cm y el desplazamiento de 2.500 kg.



Figura 31. Fotografías de la embarcación Taxi clásico para pasajeros de Rotterdam, Holanda. Fuente: Water Taxi Rotterdam, www.watertaxirotterdam.nl

5. Chicago, EE.UU

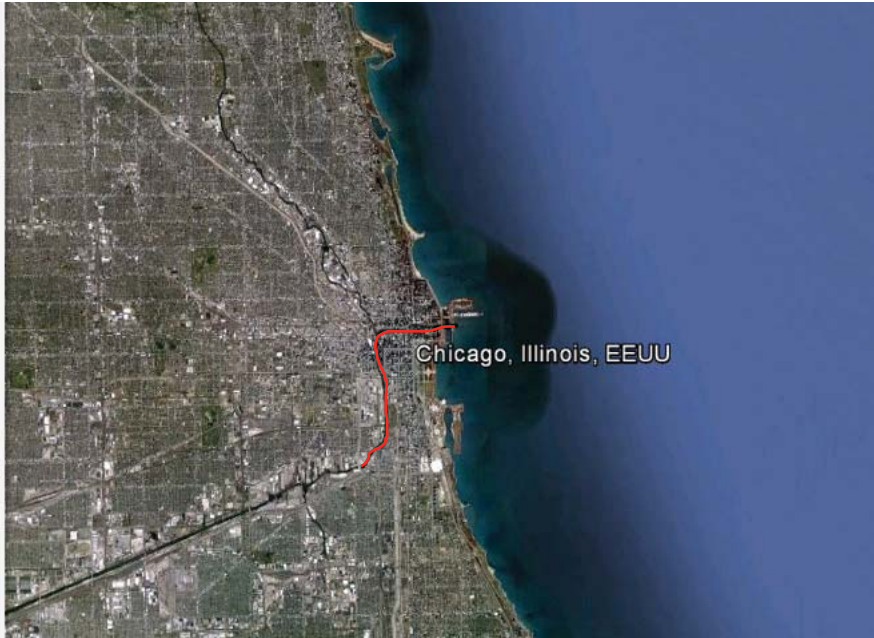


Figura 32. Ruta de los taxis marítimos en el sistema de transporte para pasajeros de Chicago, EE.UU.
Fuente: Elaboración propia en base a datos de Chicago Water Taxi, www.chicagowatertaxi.com

Población en la ciudad de Chicago: 2.695.598 habitantes



Figura 33. Mapa esquemático del recorrido que se realiza en este sistema. Fuente: Chicago Water Taxi, www.chicagowatertaxi.com

Embarcaciones Sistema de Transporte en Chicago EE.UU



Este sistema de taxi marítimo funciona en un tramo del río Chicago, el cual desemboca en el Lago Michigan. Las tarifas varían según el plan que se elija. Por ejemplo se puede sacar un ticket por 16 US que dura 10 viajes de ida. Es decir se pagan 770 pesos chilenos por un viaje de ida.

Se pueden diferenciar tres tipos de embarcaciones.

Poseen climatización y servicios higiénicos

Pueden transportar hasta 158 pasajeros.

Figura 34. Fotografías de la embarcación para pasajeros de Chicago, EE.UU. Fuente: Chicago Water Taxi, www.chicagowatertaxi.com

6. Valdivia, Chile



Figura 35. Mapa Sistema de Transporte Fluvial en Valdivia.
Fuente: Wikilosríos, www.wikilosrios.cl

Población en la ciudad de Valdivia: 127.750 habitantes

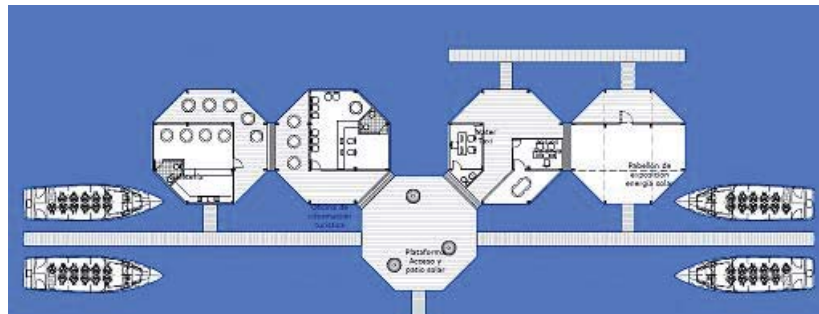


Figura 36. Plano Sistema de Transporte Fluvial en Valdivia.
Fuente: Wikilosríos, www.wikilosrios.cl

Embarcaciones Sistema de Transporte en Valdivia, Chile

Las embarcaciones del Sistema Interconectado Fluvial, diseñadas por Navtec S.A y construidas por Alwoplast S.A., con materiales compuestos y fibra de carbono, son propulsadas por energía solar auto-generada por medio de placas fotovoltaicas, con capacidad de 16 pasajeros inicialmente, con velocidades promedio de 6 a 8 nudos (11 a 15 km/h app). Estos unirían los puntos intermedios entre las Comunidades de Alto el Cruces y Collico, integrando los campus de las Universidades Valdivianas.



Figura 37. Embarcaciones tipo del Sistema de Transporte Fluvial en Valdivia.
Fuente: Wikilosríos, www.wikilosrios.cl

7. Valparaíso, Chile (años '70)

El Argonauta

“¿Quién no recuerda el “Argonauta” ex “Uthlande” paseando turistas por la bahía de Valparaíso en la década del setenta? Una semblanza de esta motonave diseñada para la navegación fluvial que no se adaptó a las condiciones de nuestro mar abierto y que terminó sus días varada en los mares del Sur.” (Ortega)

Durante los primeros años de la década de los setenta, un empresario adquirió la motonave “Uthlande” para dedicarla al turismo en la bahía de Valparaíso y viajes a las islas de Juan Fernández.

“Su idea llenaba una necesidad, siempre soñada, pero nunca realizada, de hacer viajes cortos, de placer por nuestra costa central, creando un atractivo, no explotado hasta entonces, para los turistas santiaguinos y mendocinos, todos ellos de tierra adentro, que invaden nuestras costas en los meses de verano, donde contaban con quince camarotes, salón, comedor, bar y cubierta para tomar el sol”. (Bravo, 2007)

“La nave fue bautizada “Argonauta” y organizó viajes locales diurnos, que zarpaban de Valparaíso a mediodía y recorrían la costa hasta Quintero, mientras los turistas almorzaban a bordo pero, lo que no consideró la firma propietaria, era que la nave había sido diseñada para la navegación fluvial, con solamente 313 toneladas de registro, tenía muy poco calado y una relación entre su eslora y su manga que la hacían sumamente propensa a los grandes balances, requisito para que los entusiastas turistas que contrataban sus servicios, terminaran completamente mareados, no pudiendo almorzar y jurando no repetir la aventura. Peor aún fueron las giras a las islas de Juan Fernández, donde es sabido que se recibe la marejada de través y no podía haberse concebido un buque más inapropiado para ello.”(Ibídem)

“Fracasada su aventura turística y con algunos años que lo habían deteriorado, el buque fue vendido y destinado a los canales fueguinos, con el fin de establecer una presencia chilena en la zona, cuya pertenencia en ese momento se debatía en las cancillerías en espera del laudo arbitral de la corona británica.” (Ibídem)



Figura 38. Fotografía de embarcación “Argonauta”
Fuente: Mario Ortega. Disponible en:
<http://cl.fotolog.com/pinceladaspuerto/49531044/>



Figura 39. Fotografía de embarcación “Argonauta” frente al Hotel Sheraton Miramar.
Fuente: Autor desconocido.



Figura 40. Fotografía de embarcación “Argonauta” a un costado del Muelle Prat. Fuente: Autor desconocido. Disponible en: <http://historiadelmundoydechile.blogspot.com/2013/07/el-argonauta.html>

Según lo publica “Datos del Mundo y de Chile”, (Datos del Mundo y de Chile, 2013) en un artículo electrónico, no hay mucha información sobre esta nave construida en Alemania, pero recorriendo Internet se ha logrado recopilar ciertos datos de este barco turístico.

FICHA TECNICA

Fecha de construcción: 1955

Astilleros: Husumer Schiffswerft GmbH, Husum, Alemania.

Dimensiones: eslora: 45,66 metros, manga 8,34 metros, calado 1,50 metros

Propulsión: 2 motores Diesel MAK de 6 cilindros.

Potencia: 480 HP

Arqueo bruto: 313 toneladas

Peso Bruto (DWT): 250 toneladas

Velocidad: 11 nudos

Pasajeros: 619 (no indica si incluye a la tripulación)

Tipo de nave: Barco de pasajeros.

E. Habitabilidad en Embarcaciones

En esta sección se presentarán ejemplos de embarcaciones para pasajeros que se encuentran distribuidas a lo largo del mundo. Estas referencias ayudarán a entender la realidad de embarcaciones similares a las que se piensan para el proyecto de Sistema de Transporte Marítimo para Valparaíso. Se muestra la habitabilidad, espacios interiores y las instalaciones generales que poseen estas embarcaciones.

Se analizan embarcaciones trimaranes y la embarcación Amereida.

1. Ejemplos de habitabilidad en embarcaciones de dos o tres cascos

Nautilus Seaview

Modalidad: Trimarán	Servicios: Bar, WC, Aire Acondicionado
Eslora: 25 mts.	Capacidad/PAX : 250
Manga: 9,60 mts.	Comunicaciones: Estación Radiotel-radar
Peso: 54 Tones	Opera en: Mar Mediterráneo, Islas Medas, España
Motores: 2 x 7,60 Hp	
Velocidad: 18 nudos	



Figura 41. Figura de la embarcación Nautilus Seaview.
Fuente: <http://www.estacionesnauticas.info>



Figura 42. Fotografía embarcación Nautilus Seaview. Fuente: Planether, 2008, <http://cabinasubmarina.wordpress.com/2008/10/13/seguros-y-rapidos-trimaranes/>

Benchijigua Express

Modalidad: Trimarán

Eslora: 126,65 mts

Manga: 30 mts.

Velocidad: 42 nudos

Capacidad: 1.350 pasajeros y 341 coches.

Opera en: Mar Atlántico, Islas Tenerife, España



“El Trimarán Benchijigua Express es la embarcación multicasco más moderna del mundo. Desde 2005 cubre la ruta Tenerife (Los Cristianos)- La Gomera (San Sebastián) en poco más de 30 minutos, la ruta Tenerife (Los Cristianos) – La Palma (S.C. de La Palma) en 2 horas.

Su capacidad, velocidad y comodidad, son el socio ideal del pasajero, que ve estas embarcaciones como puentes entre islas”. (Fred Olsen Express, 2010)

Esta embarcación es un hotel flotante. Posee instalaciones para el descanso y para el viajar.



Figura 43. Fotografías embarcación Benchijigua Express. Fuente: Austal, <http://www.austal.com/en/products-and-services/commercial-products/ferries-vehicle-passenger/benchijigua-express.aspx?source=category>

Corazon de Arribes

Catamaran de pasaje para uso en aguas interiores con cabina totalmente acristalada para poder ver paisaje superior.

Eslora 15'95 m

Manga 5'45 m

Puntal 1'45 m

Motor 2 Solé Diesel

Pasajeros: 100 personas



Figura 44. Fotografías de la embarcación Corazón de las Arribes. Fuente: Corazón de Arribes, Paseos en Barco

Boat boat

“Esta embarcación es alimentada por hidrógeno recorre los canales de Amsterdam desde el año 2008. Los 100 pasajeros que puede transportar podrán disfrutar del paisaje de esta ciudad holandesa, gracias a la cubierta transparente, la cual ha sido realizada con policarbonato.”(Motores futuro, 2011)

Características:

Dimensiones: 100 x 4 m.

Velocidad máxima de 16 Km/h.



Figura 45. Fotografías de la embarcación Boat boat.

Fuente: Motores futuro, 2011, <http://motoresfuturo.wordpress.com/2011/03/04/172/>

Dolphin Uslan

Eslora: 54,5

Manga: 15,2

Pasajeros: 473

“Las cabinas son presentadas para altos números de pasajeros y rampas de entablado exteriores son utilizadas para ayudar el embarco de pasajeros”. (One2three naval architectures)



Figura 46. Fotografías de la embarcación Dolphin Uslan. Fuente: One2three Naval Architectures, www.one2three.com.au/t55.html

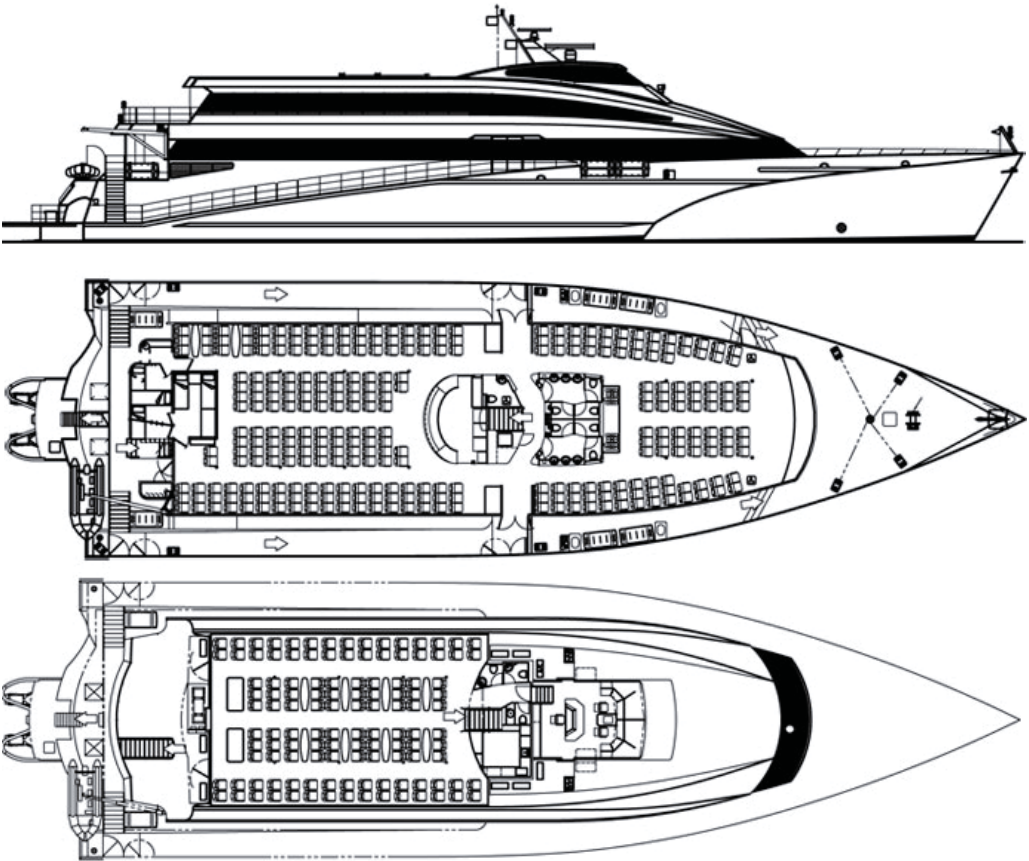


Figura 47. Planos de la embarcación Dolphin Uslan. Fuente: One2three Naval Architectures, www.one2three.com.au/t55.html

2. Habitabilidad en embarcación Amereida

“Macrohabitabilidad y microhabitabilidad

Podemos distinguir una macrohabitabilidad: esto es la concepción del barco como un gran objeto habitable; distinguimos además lo que llamaremos microhabitabilidad: que son los objetos más pequeños y muy próximos al cuerpo, que se insertan con la macrohabitabilidad y que se funden en un solo gran elemento.” (Ivelic, 2006)

Como ejemplo de esto, se diseña una plataforma para habilitar espacio para un taller.

“Plataforma plegable y flotadores auxiliares

Se quiere que la cubierta de la embarcación se amplíe en el estar, mediante plataformas desplegables, para acoger un taller.

Asimismo, que las plataformas desplegadas aumenten la estabilidad transversal del barco, con la colocación de flotadores auxiliares en sus extremos. Esto para permitir realizar los delicados trabajos en cubierta: taller de máquinas y herramientas y alternativamente como laboratorio de aguas y patologías.”(Ivelic, 2006)

En cuanto a microhabitabilidad, se diseñan muchos objetos aplicando las siguientes peculiaridades:

1. La Plegabilidad: Aumento o disminución de su dimensión. Capacidad de un objeto de aparecer y desaparecer.
2. Abrir y cerrar: Hermetizar y deshermetizar, hacer aparecer y desaparecer el objeto allí guardado o las personas allí protegidas.

3. Adosabilidad: Capacidad de los objetos de unirse unos a otros. Aparecen aumentando su magnitud, desaparecen al apilarse tanto en horizontal como en vertical.

4. Tridimensionalidad: Al ocupar cualquier punto en el espacio en su máxima extensión, tienen incluida en su no uso la mínima extensión o desaparición.

5. Convertibilidad: El objeto asume una doble función. Ante el requerimiento de una de las funciones desaparece la otra y viceversa.

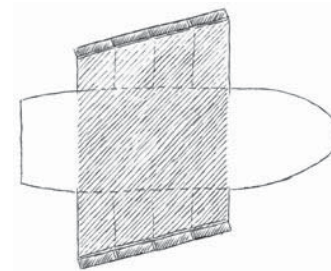


Figura 48. Planta de plataforma y flotadores desplegados. Fuente: Ivelic, 2006

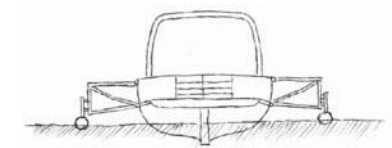


Figura 49. Elevación posterior con plataforma y flotadores desplegados. Fuente: Ivelic, 2006



Figura 50. Fotografía Embarcación Amereida
Fuente: Ivelic, 2006

F. Fundamentos de embarcación Swath y Hyswas

A continuación se presenta el estudio sobre la teoría de funcionamiento de las embarcaciones Swath y Hyswas.

1. Swath y Hyswas en el triángulo de sustentación

Para situar las embarcaciones Swath y Hyswas en el mundo de los objetos náuticos, resulta apropiado proceder a observar los siguiente esquemas.

Estos esquemas son dos maneras de mostrar el llamado “triángulo de sustentación”. En ellos se muestran los tipos de embarcaciones según las fuerzas que utilizan para lograr sustentarse. Las tres fuerzas principales son la boyantes, la potencia, y la fuerza hidrodinámica.

Los Swath, nombrados en la figura 52 como “Multihull”, están ubicados junto a la fuerza de boyantes. Mientras que los Hyswas, nombrados en el esquema como “Hybrid Hydrofoil” se encuentra ubicado entre las fuerzas de boyantes y las fuerzas dinámicas.

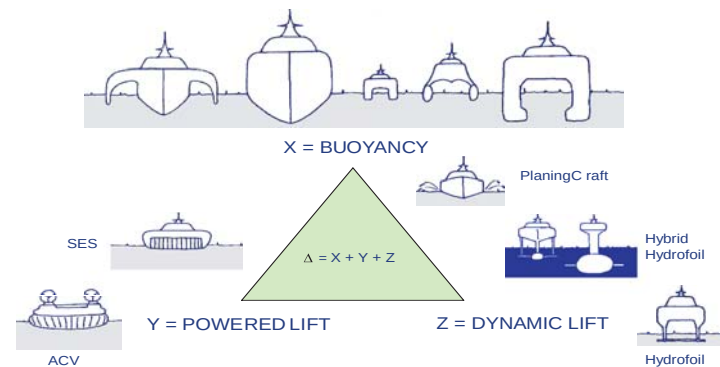


Figura 51. Triángulo de sustentación. Fuente: Kai Levander, 2012, Passenger Ship Architecture.

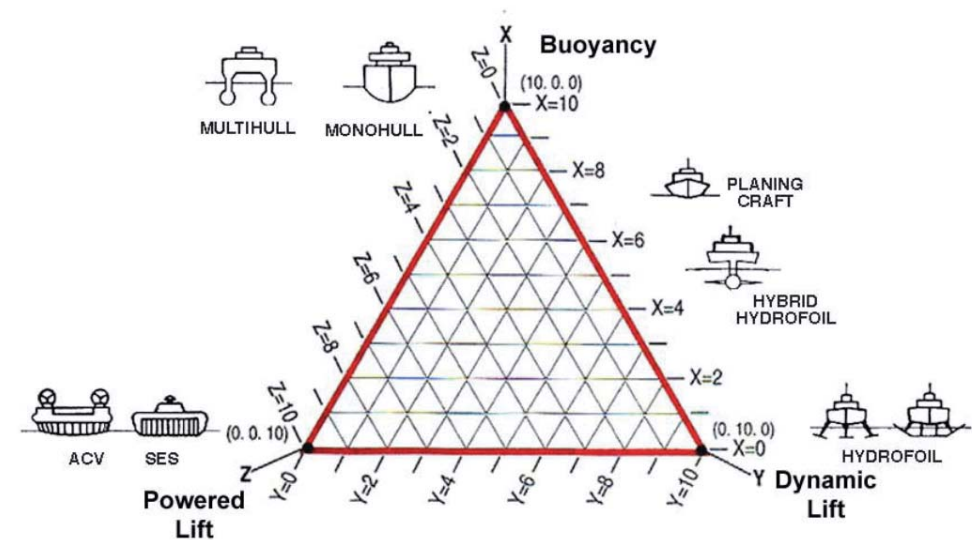


Figura 52. Triángulo de sustentación. Fuente: Clark, Ellsworth y Meyer, 2004, The Quest for speed at sea, disponible en: http://www.foils.org/02_papers%20downloads/041115nswctd_quests-peed.pdf

2. Características y antecedentes generales de los Swath

A continuación se expone el estudio y análisis personal, basado en buena parte en la tesis de Pérez, 2000, llamada “Estudio Hidrodinámico de un Catamarán Tipo Swath”.

a) Origen histórico de los swath

El término Swath es una sigla que significa “Small Waterplane Área Twin Hull”, en español “Catamarán de pequeña área de flotación”. Esta característica hace que esta embarcación se vea menos afectada por los movimientos de las olas, comparándola con los monocascos o catamaranes equivalentes.

Surgen en 1972, como unión de los conceptos TRISEC, y SSP. TRISEC viene de la palabra trisección, y define a un tipo experimental de buques divididos en tres partes: una bajo el agua, otra por encima, y la que servía de unión entre éstas. SSP son las siglas de plataforma semisumergida.

En 1967, El Dr. Reuven Leopold de “Litton Industries” presenta a la armada norteamericana este concepto de barco de alta velocidad TRISEC (Ver Fig. 53)

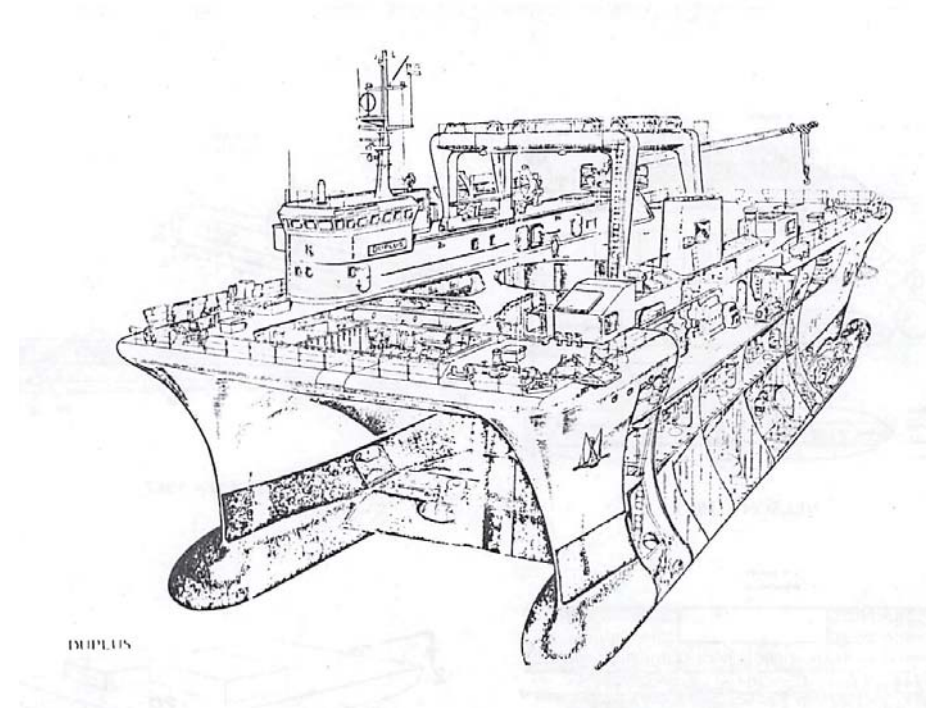


Figura 53. Barco de alta velocidad TRISEC.
Fuente: Lang, Semi Sumerged Ship Corporation,
Sloggett, 1985.

b) Swath Kaimalino como antecedente

El primer Swath fue el “Kaimalino”, de 200 toneladas de desplazamiento y 18 nudos de velocidad, que podía mantener hasta con un estado de mar 6 y altura de ola de hasta 6 m. Los Swath, debido a sus formas, tienen poca pérdida de velocidad por mala mar. Podía afrontar estados de mar 7 con olas de 9 m de proa a baja velocidad con movimientos y aceleraciones dentro de límites aceptables que disminuían apreciablemente en mares de costado. Para un monocasco de semejante desplazamiento, el mantener la velocidad con ese estado de mar y el mantener unos movimientos que no superaran los criterios establecidos con mar 7, hubiera resultado difícil.

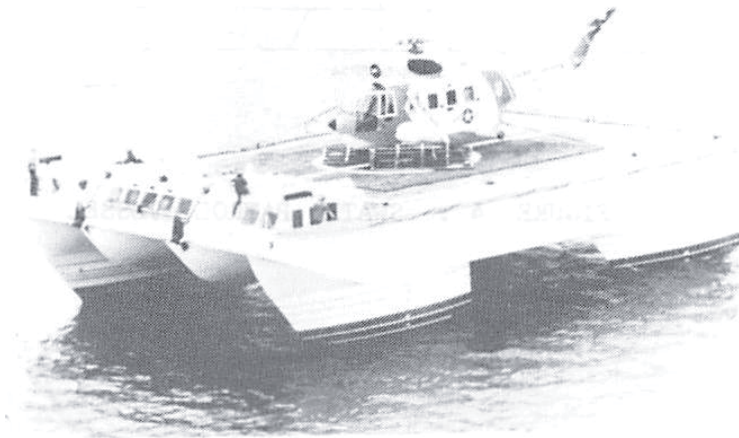


Figura 54. Kaimalino 225 toneladas. Fuente: US Navy . Disponible en: Commercial Opportunities for SWATH Vessels, Peter Lovie , Thomas Lang, 1988

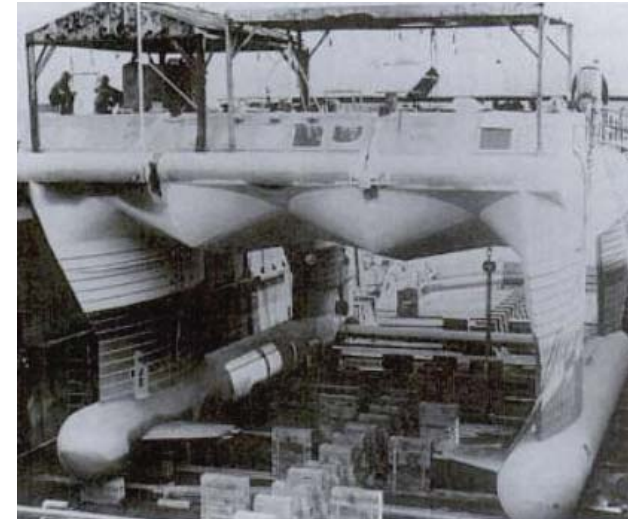


Figura 55. Kaimalino. Fuente: Polmar, 2005, The Naval Institute Guide to the Ships and Aircraft of the U.S. Fleet, EE.UU.

c) Descripción general de un Swath

Un Swath podría describirse como un buque de dos cascos en forma de torpedo cada uno (Lower hull o casco sumergido) del que sale un o más arbotantes esbeltos (Strut), estando ambos cascos unidos por un cuerpo central o caja (Box), denominación que parece obvia dada la forma cuadrada de esta caja. Los cascos sumergidos permanecerán bajo el agua y el área de flotación se define por la intersección de los arbotantes con el plano que define la superficie del agua.

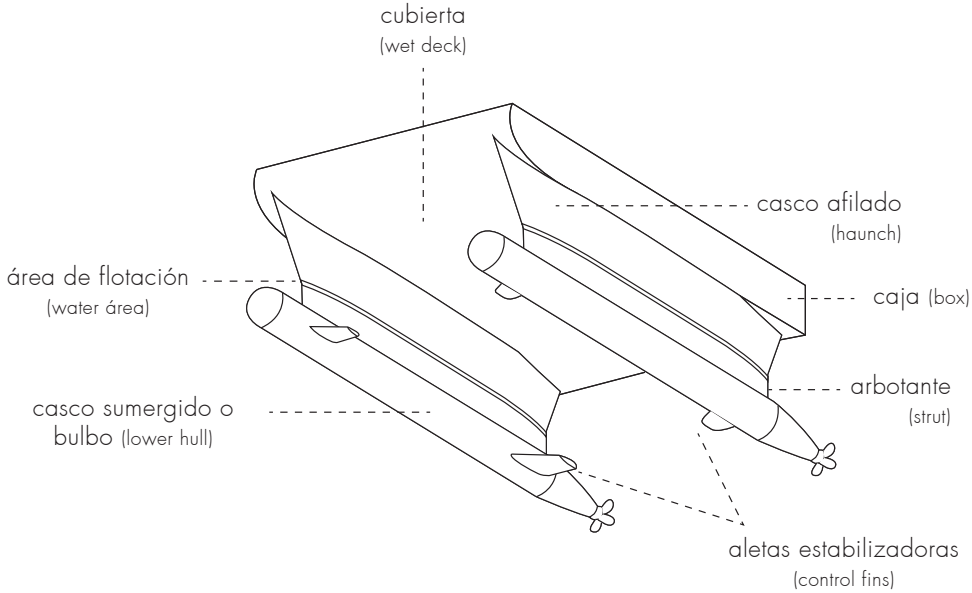


Figura 56. Esquema partes de una embarcación Swath.
Fuente: Elaboración propia

Planos Generales de un Swath, destacando en color amarillo los arbotantes, por su importancia en el área en la flotación. En este esquema se muestra un Swath con dos arbotantes.

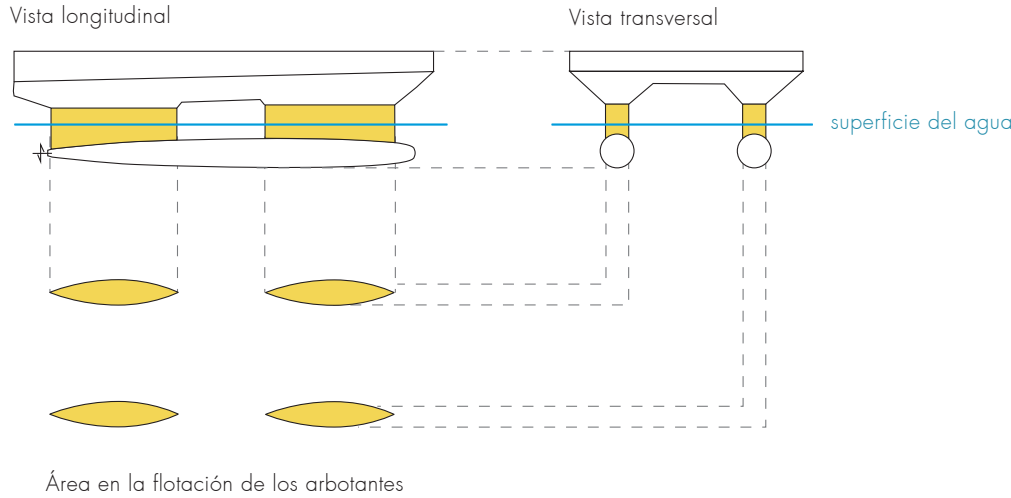


Figura 57. Esquema de las vistas de un Swath.
Fuente: Elaboración propia

3. Características de las formas de los Swath

a) Dimensiones principales

En cuanto a las dimensiones principales y comparando con el mismo desplazamiento que un monocasco, los Swath tienen menor eslora, más manga y más calado. Para minimizar el efecto de los golpes de las olas en la parte baja de la caja, los Swath tienen mayor puntal que un monocasco.

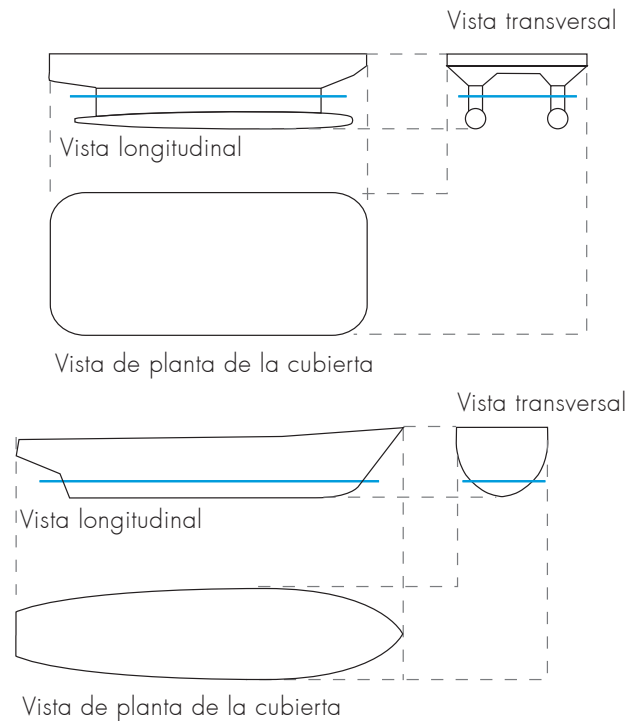


Figura 58. Esquema de comparación de las dimensiones de Swath y Monocasco de igual desplazamiento. Fuente: Elaboración propia

b) Reducida área de flotación

Centrándose en la obra viva, la principal diferencia entre un swath y un monocasco reside en la reducida área en la flotación del primero. Esta diferencia afecta aparte de los aspectos hidrostáticos, en los de disposición interior, estabilidad, maquinaria y aspectos estructurales. La reducida área en la flotación de un Swath hace que éstos no se vean tan afectados por la mala mar, porque las fuerzas de excitación a las que se ven sometidos por parte de las olas son menores. El volumen necesario para mantener el barco a flote se encuentra por debajo de la superficie del agua, donde se ve menos afectada por la acción de la ola.

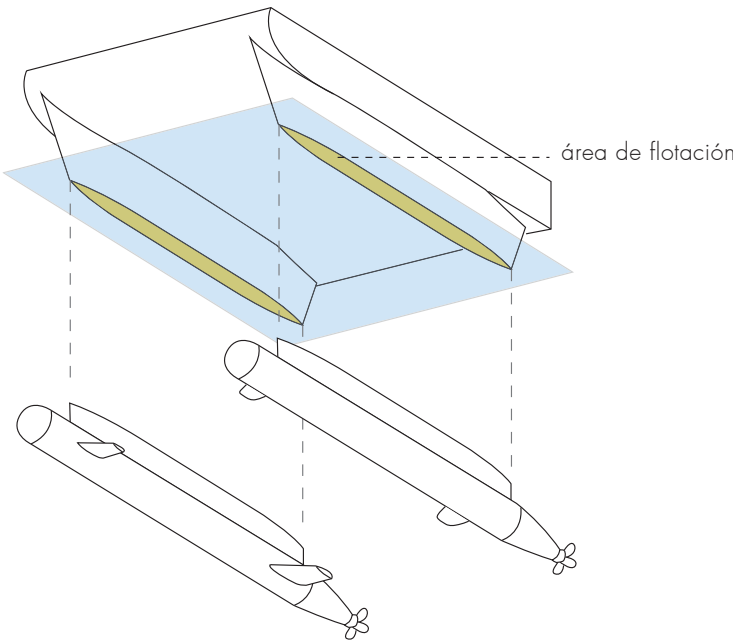


Figura 59. Esquema mínima área de flotación en un Swath. Fuente: Elaboración propia

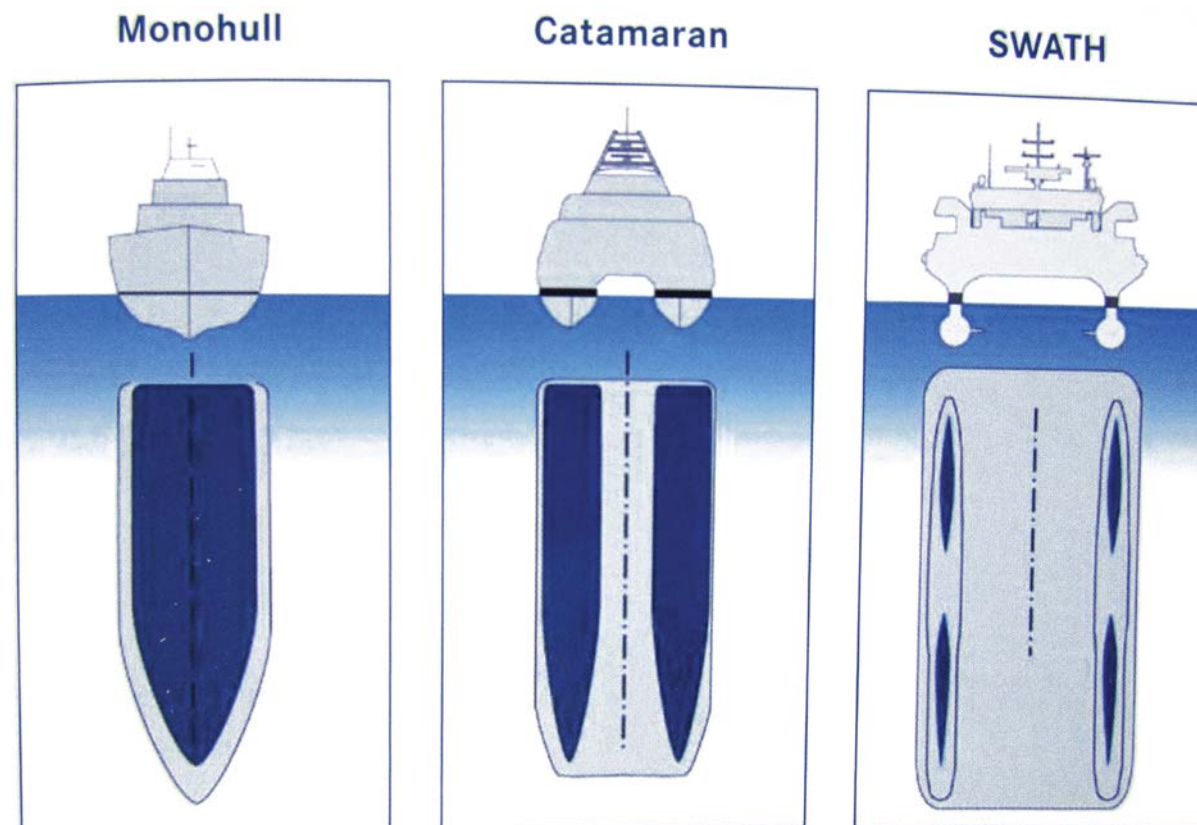


Figura 60. Comparación del área de flotación entre un monocasco, un catamarán y un swath.
Fuente: Abeking & Rasmussen. Revista "MCMV & Patrol Craft"

c) Reducida área de flotación, menor TPC

La consecuencia fundamental de esta reducida área en la flotación es un valor pequeño de las toneladas por centímetro de inmersión (TPC), que indica lo sensible que es un buque a los cambios de peso en la fase de diseño o de operación. Se puede hablar de que estas TPC son entre el 20 y el 40% de las de un monocasco de igual desplazamiento.

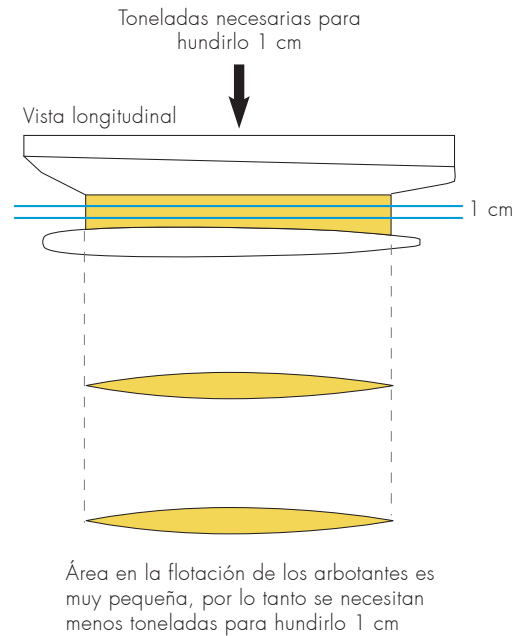


Figura 61. Esquema mínimas toneladas por centímetro de inmersión debido a menor área de flotación. Fuente: Elaboración propia

d) Reducida área de flotación, menor MT1

Por otro lado, la sensibilidad de un buque ante el trimado, se mide por el momento longitudinal necesario para que la nave varíe su asiento en 1 cm (MT1). En estos buques, la reducida área en la flotación y su pequeña eslora en la misma hacen que estas MT1 sean pequeñas, del orden de entre un 10 y un 20% de las del monocasco de desplazamiento equivalente.

El trimado o asiento es la diferencia de calados entre proa y popa

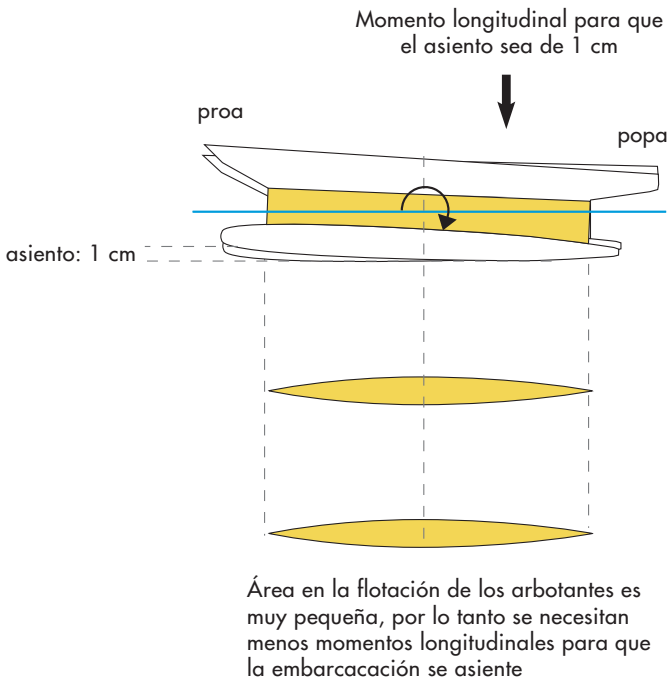


Figura 62. Esquema sobre el pequeño momento necesario para que la nave varíe su asiento en 1 cm. Fuente: Elaboración propia

e) Mayor resistencia al avance

Los Swath poseen una menor eficiencia en términos de resistencia al avance en aguas tranquilas, debido a la mayor superficie mojada que presentan respecto a los monocascos de similar desplazamiento.

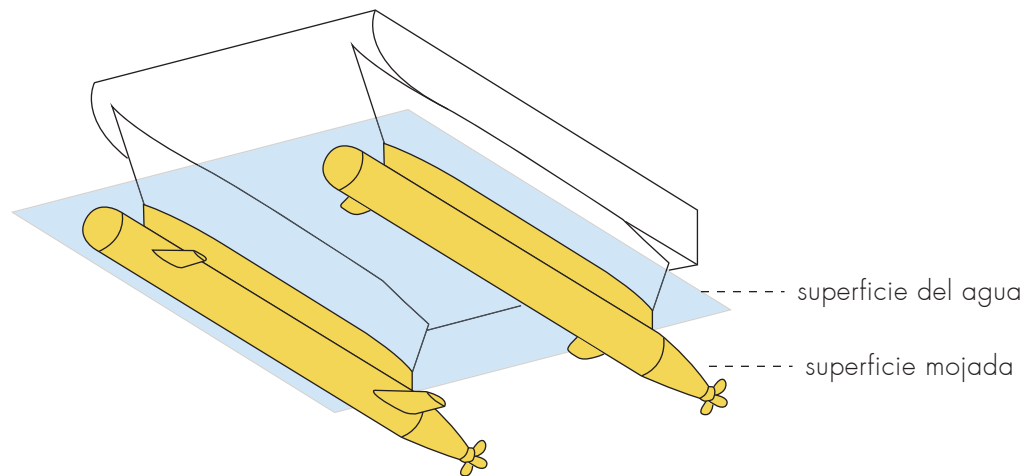


Figura 63. Superficie mojada de un swath.
Fuente: Elaboración propia

f) La mayor manga produce mayor $ME1^\circ$

Con el momento necesario para escorar 1° la embarcación ($ME1^\circ$) se puede saber la sensibilidad a la escora. Al poseer mayor manga, necesitará un mayor momento para escorar la nave 1° . Igualmente, al poseer mayor manga en relación con los monocascos, compensa las bajas TPC y MT1. Pero hay que tener cuidado con este parámetro, pues al tener mayor manga que el monocasco, los momentos de escora que se logran con la distribución interior de pesos, también serán mayores que en el monocasco equivalente.

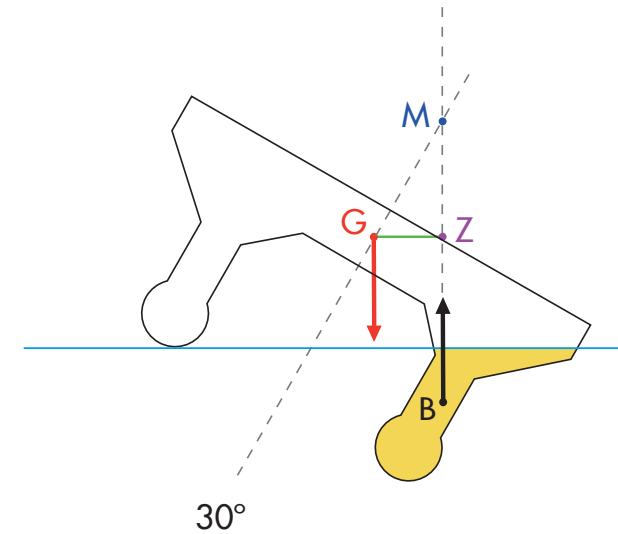


Figura 64. Esquema de un Swath escorado 30°
Fuente: Elaboración propia

g) Formas hidrodinámicas para el slamming

El efecto del slamming en la parte interna de los cascos, puede minimizarse disponiendo en una parte de proa del fondo de la caja formas hidrodinámicas que haga que el agua no impacte directamente contra un fondo plano, sino que circule sin golpear. Esto es usado en los modernos catamaranes del tipo “Wave Piercing” (perforador de olas), bastante extendidos para el tráfico de pasaje, que además minimizan el efecto de slamming entre cascos, aprovechando los efectos dinámicos de la velocidad de este flujo.



Figura 65. Imagen del trimarán “Earthrace Ecoboat” Fuente: Estudio Mar, Barcos Sorprendentes. Disponible en: <http://www.estudiomar.org.es/Disenos%20de%20Barcos.html>

El “Earthrace Ecoboat”, es un trimarán que navega sin flotar sobre las olas, como es habitual, sino atravesándolas

h) Cabeceo

Los Swath son sensibles al trimado por la mínima área en la flotación. Por esta misma razón son también propensos al cabeceo, movimiento que se produce mientras navega. Este movimiento se resuelve a través de aletas estabilizadoras o ensanchando los arbotantes justo por encima de la línea de flotación, con el fin de ganar volumen en caso de un movimiento de cabeceo.

Ensanchamiento de la zona superior de los arbotantes

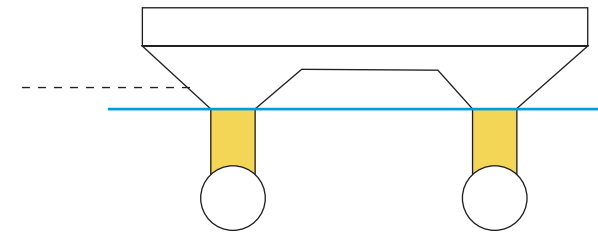


Figura 66. Ensanchamiento de arbotantes para contrarrestar el cabeceo
Fuente: Elaboración propia

i) Efecto Munk

Es un efecto hidrodinámico que hace “cabecear” a estos buques cuando aumentan su velocidad. Este efecto aumenta su resistencia al avance. Este se produce debido a una distribución longitudinal de presiones asimétrica originadas por sustentación en los cascos sumergidos, parece una cierta tendencia del buque a “cabecear” una vez superado un cierto límite de velocidad.

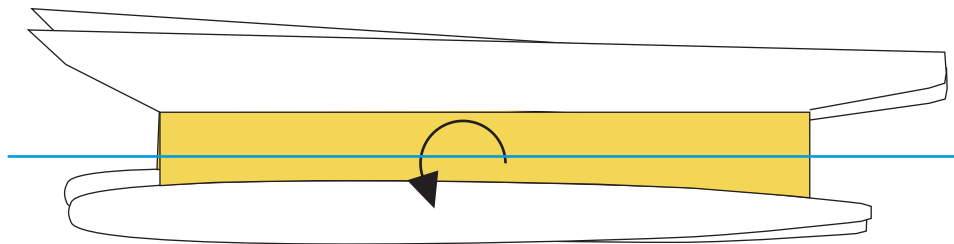


Figura 67. Movimiento de los Swath producto del cabeceo y efecto Munk

Fuente: Elaboración propia

4. Ventajas de los buques Swath

a) Menos movimientos en los swath

La característica fundamental de estos buques es su bajo índice de movimientos, tanto a alta como a baja velocidad, en un amplio intervalo de estados de mar. Su reducida área en la flotación que reduce las fuerzas de excitación ejercidas por las olas, da como resultado unos períodos propios de movimiento muy altos. Estos altos periodos de movimiento son la causa del bajo índice de movimientos en mares moderados, pues en estos mares la mayor parte de la energía se distribuye en olas de pequeño período.

A continuación se aclaran los movimientos en una embarcación:

Traslaciones:

1. Movimiento vertical de ascenso y descenso: Arfada (Heave en inglés)
2. Movimiento lateral a ambas bandas: Deriva
3. Movimiento longitudinal de avance o retroceso.

Rotaciones:

4. Según el eje vertical 'Z' : Guiñada de rumbo.
5. Según el eje transversal 'Y': Cabeceo (Pitch en inglés)
6. Según el eje longitudinal 'X': Balance o rólido (Roll en inglés)

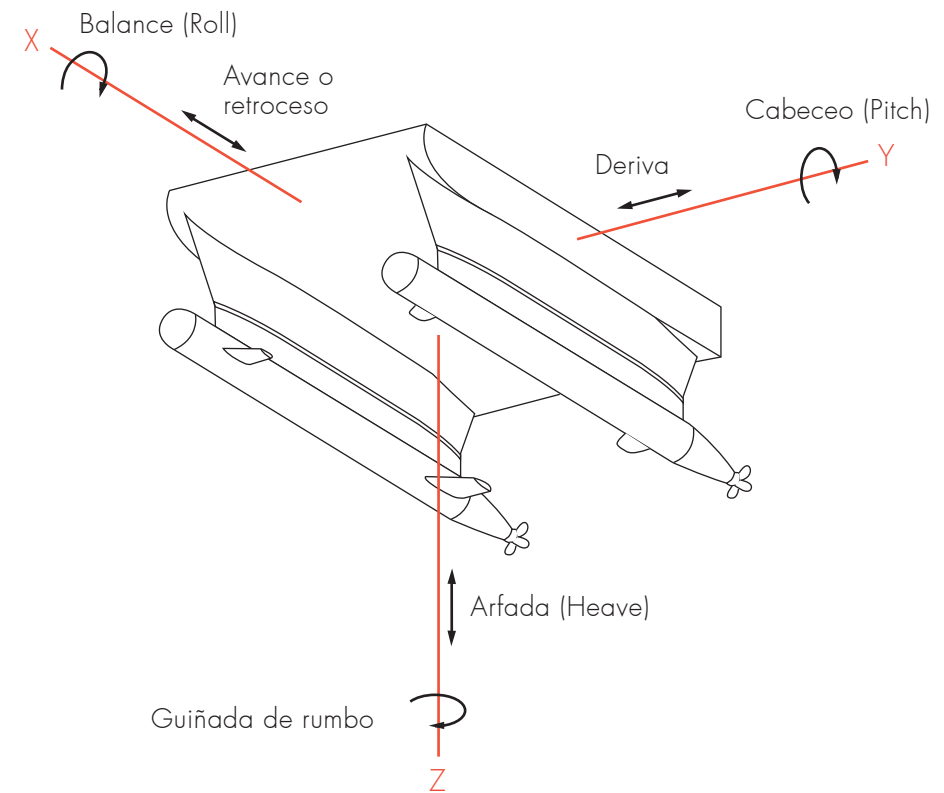


Figura 68. Esquema movimiento de las embarcaciones en general.
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se comparan las características de movimientos de un Swath y de dos monocasos. La abscisa de las curvas es el rumbo del buque y la ordenada el valor significativo del movimiento. Los monocascos son: USCG Mellon y el USCG Corwin. El Swath corresponde al SSP Kaimalino. La línea con triángulos corresponde al éste último.

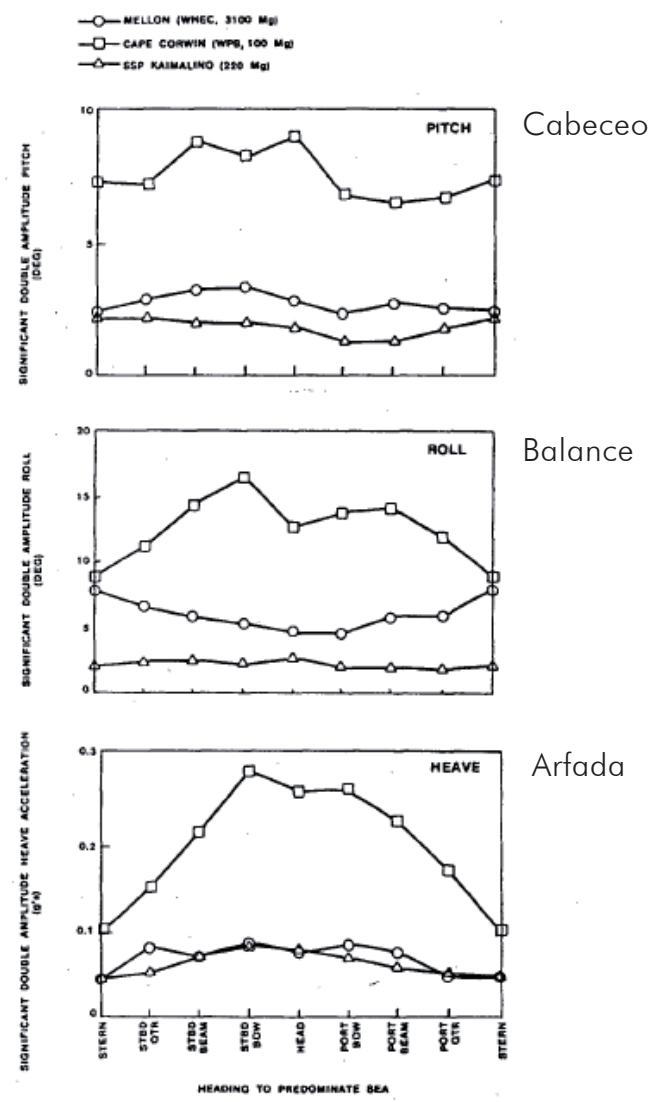


Figura 69. Comportamiento en la mar de un Swath frente a un monocasco. Fuente: Lang, Semi-Sumerges Ship Corporation, California and Jolyon Sloggett Associates, U.K, 1985

b) Swath va más lento , pero es más operativo en mala mar.

En la siguiente imagen se comparan la velocidad de los Swath frente a las de distintas embarcaciones, en distintas situaciones de oleaje. La abscisa del gráfico corresponde a la velocidad y la ordenada al valor de la altura de la ola.

Cuando hay olas de menor altura, las embarcaciones más veloces son los catamaranes, y monocascos de planeo. También los Semi-Swath (Swath con arbotantes más anchos) alcanzan óptima velocidad en esta situación. Mientras que la embarcación menos veloz es el Swath.

En cambio, cuando hay olas de alturas moderadas y altas, los Semi-swath tienden a disminuir su velocidad levemente. Las naves planeadoras disminuyen drásticamente su velocidad. Y por último, los Swath mantienen su velocidad igual que cuando hay olas pequeñas. Esto último debido a que estas naves no se dejan mover por las olas, por lo tanto no pierden su eficiencia. Swath va más lento , pero es más operativo en mala mar.

El Swath va más lento que las demás embarcaciones en aguas tranquilas debido su mayor superficie mojada en comparación a un monocasco de igual desplazamiento con la que la resistencia friccional es mayor, y por tanto, a igualdad de potencia instalada en estos buques, la velocidad del Swath, en aguas tranquilas será algo inferior a la del monocasco.

Recordar que el Swath podrá mantener esta velocidad para más rumbos y estados de mar que el monocasco, debido a sus menores movimientos y aceleraciones.

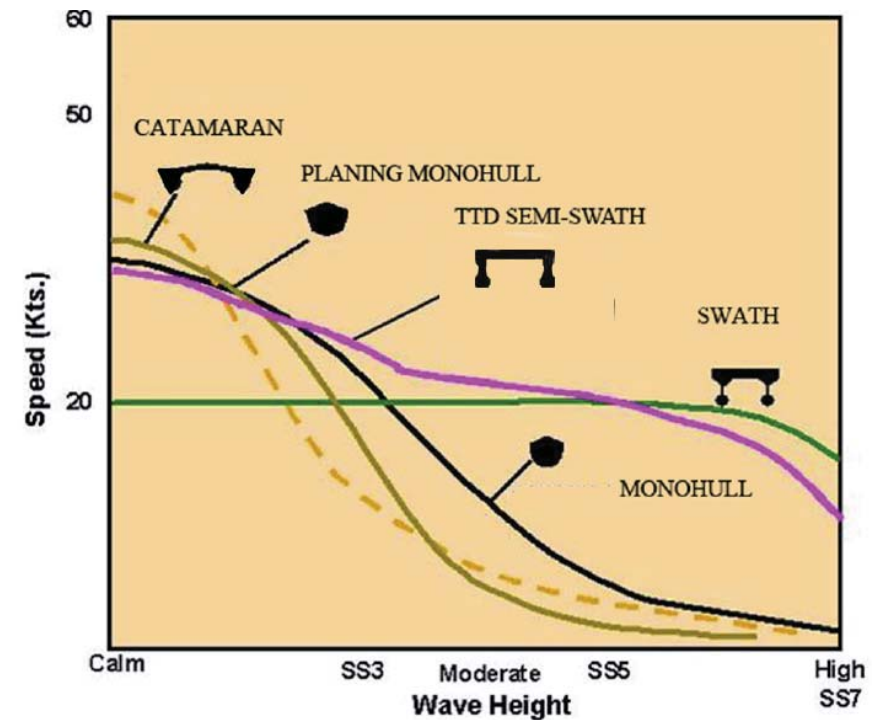


Figura 70. Velocidades a distintas alturas de olas. Fuente: Lockheed Martin. Disponible en: <http://www2.borough.kenai.ak.us/AssemblyClerk/assembly/Info/2010/092110/Fast%20Ferry%20Presentation.pdf>

c) Gran maniobrabilidad y estabilidad direccional

Otra ventaja a resaltar es la maniobrabilidad de estos buques. Debido a la separación de los dos propulsores y cascos, que permiten aplicar distinta potencia y distinto sentido de giro a uno u otro propulsor, consiguiendo un gran momento de giro. La estabilidad direccional es muy buena, e incluso en pruebas llevadas a cabo en el “Kaimalino” se vio que con un solo propulsor se conseguía una buena estabilidad direccional, necesitándose pequeños ángulos del timón para compensar la deriva originada. La mejor estela respecto a un monocasco lleva también a un mejor flujo de entrada a los timones que mejora la efectividad de los mismos.

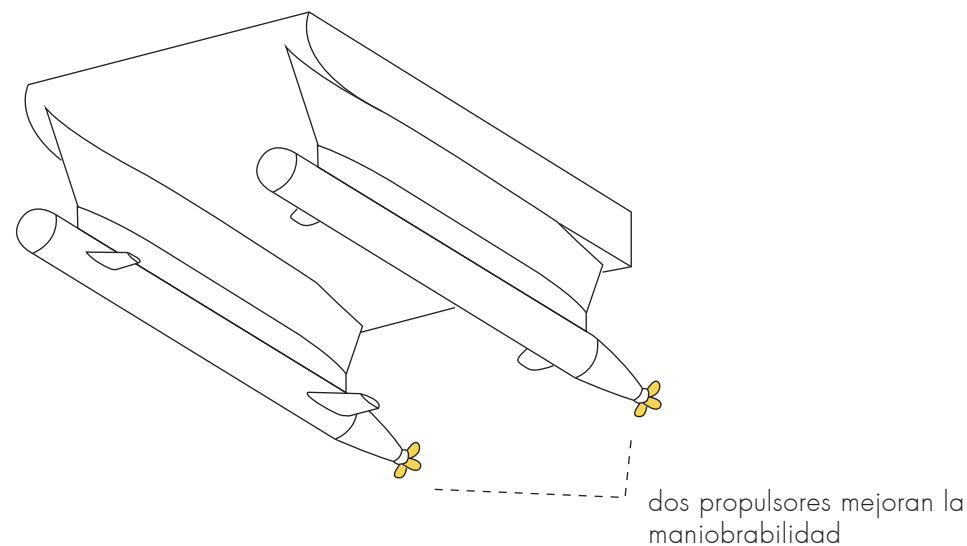


Figura 71. Esquema de un Swath y sus dos propulsores.
Fuente: Elaboración propia

d) Permite menor cavitación de la hélice

El mayor calado del Swath respecto a un monocasco le da ventaja, ya que evita la cavitación de la hélice, con lo que se logra mantener un alto rendimiento propulsivo para altos estados de mar, así como un mejor mantenimiento de las palas del propulsor. Unido a esto, se cuenta con una baja amplitud de movimiento en popa con lo que el número de emersiones del propulsor es menor que el de un monocasco, lo que ayuda a que los motores sufran menos, al disminuir el número de variaciones bruscas de carga que las emersiones originan.

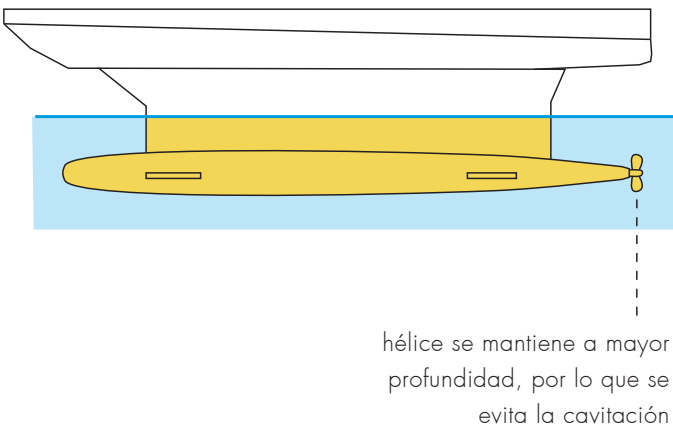


Figura 72. Esquema de la hélice sumergida en un Swath.
Fuente: Elaboración propia

e) Óptima disposición interior en la obra muerta

Estos buques tienen del orden de un 30% más de volumen interior aprovechable respecto a un monocasco de equivalente desplazamiento, debido a las formas cuadradas de la obra muerta, que tiene forma de una enorme caja. Se puede, por tanto, preparar la disposición interior de una forma más efectiva, creando un ambiente interior más despejado. Las formas irregulares y estrechas de los arbotantes y de los cascos sumergidos, las hacen idóneas para situar en ellas tanques de combustible, lastre, paños, etc. El aprovechamiento de este volumen extra ha de hacerse de forma inteligente, sin sobrecargar demasiado el buque, pues se verá que debido a su poca área en la flotación, es muy sensible a los cambios de peso. Por ejemplo, el Kaimalino es un buque que aprovecha toda su caja para recibir a helicópteros.

Las formas cuadradas de la caja permiten situar al pasaje y su equipaje en la misma cubierta, con lo que el tiempo de embarque y desembarque se reduce.

Lo normal es que la caja albergue sólo una cubierta, salvo en Swaths de más de 5000 toneladas de desplazamiento. El uso de casetas por encima de la cubierta superior es muy común al tener un amplio espacio despejado. En algunos Swath de transporte de coches y pasajeros es muy común que haya una amplia superestructura con varios pisos. En el caso de no montar casetas, el amplio espacio de cubierta facilita la instalación de una zona de aterrizaje de helicópteros, estable incluso con grandes olas y prácticamente con cualquier dirección del mar, o una zona despejada de transporte de material. El alto puntal de estos buques respecto a los de un monocasco, hace que estas cubiertas tengan menos probabilidad a ser mojadas que en un monocasco.

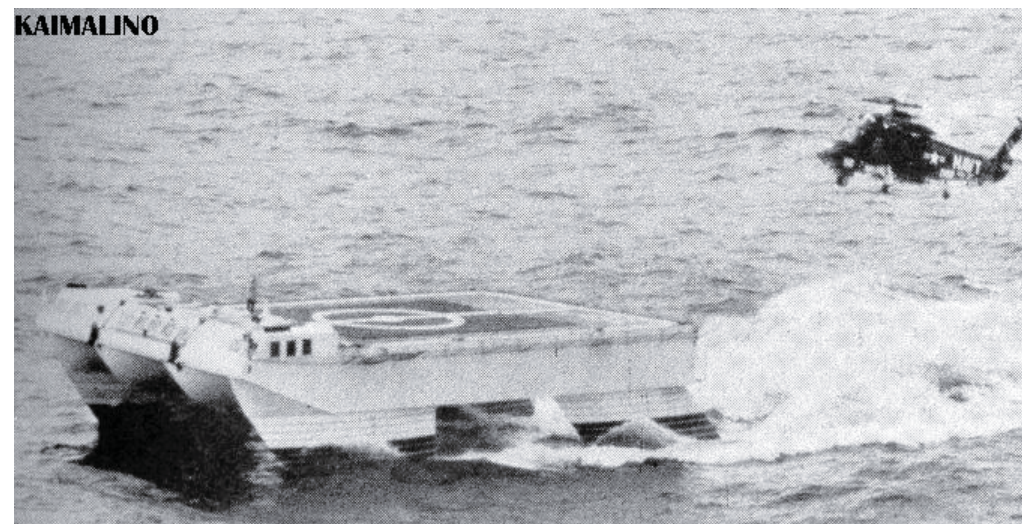


Figura 73. Kaimalino. Fuente: Topan, 2003.
Disponible en: <http://www.hazegray.org/navhist/carriers/odd/index3.htm>

f) Estabilidad en caso de avería

Otro aspecto interesante de los Swath es su estabilidad en caso de averías frente a un buque monocasco convencional. Suponiendo una avería en uno de los dos cascos sumergidos, ésta puede no alcanzar a los arbotantes si se han compartimentado adecuadamente los cascos sumergidos. Si esta avería y la inundación consecuente se extienden a los arbotantes, la avería debería ser muy grande para que pasase a la caja, con lo que la inundación puede ser controlada en espacios no destinados para personas. Debido a que la otra banda y la caja permanecen intactas, la escora alcanzada no será muy elevada. El buque de nueva generación de la marina Americana, el “Sea Shadow” es un buque tipo Swath, que aprovecha la característica recién descrita de estas embarcaciones.

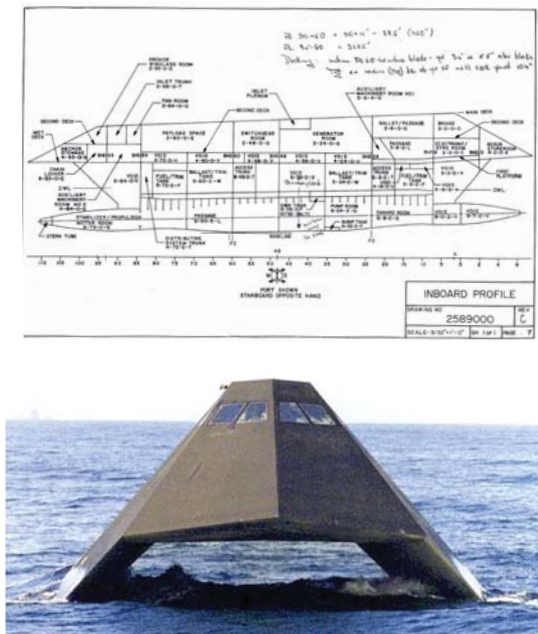


Figura 74. Fuente: Cruz, 2012, Marines. Disponible en: <http://sfcitizen.com/blog/tag/marines/>

g) Amplia opciones para mejorar diseño hidrodinámico

El diseñador dispone de un amplio número de parámetros que manejar para lograr el Swath más adecuado para cada misión. Se puede optimizar la resistencia al avance modificando los cascos sumergidos, los arbotantes, o ambos, sin afectar a la caja, y al volumen de la obra muerta. Por ejemplo, se pueden variar las formas hidrodinámicas de los cascos, como las que se muestran en la figura 75 (más adelante en el fundamento técnico se profundiza este tema).

Puede optimizarse el Swath para que se desenvuelva en un estado de mar propio de una zona, jugando con las variables del área de la flotación, y la posición de los centros de boyantez y de flotación, de forma que los movimientos sean lo menores posibles manteniendo las frecuencias de resonancia del Swath lejos de las que se dan para ese estado de la mar.

Una vez optimizado para el comportamiento en la mar, se puede mantener el desplazamiento, modificando los cascos sumergidos para disminuir la resistencia, sin afectar al área en la flotación ni a los centros de carena y flotación. El GM exigido se puede lograr jugando con la separación entre cascos.

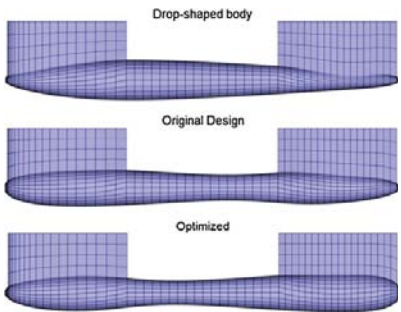


Figura 75. Modelos de cascos que se estudiaron. Fuente: Brizzolara & Curtin & Bovio & Vernengo, 2011, Concept design and hydrodynamic optimization of an innovative SWATH USV by CFD methods.

h) Confort en la habitabilidad en un swath

Las actividades cotidianas a bordo de un Swath, como dormir, comer, descansar y las tareas propias de mantenimiento, son más fáciles de realizar, y la tripulación se fatigará menos y estará más alerta que en un monocasco de desplazamiento equivalente. Respecto al confort, los ruidos y vibraciones son menores debido al amortiguamiento de los cascos y a que los motores en estos grandes Swath están en los cascos sumergidos.

Los tiempo de viaje son inferior en malas condiciones de mar

Debido a la capacidad para mantener su velocidad con bajos movimientos, el tiempo de viaje es inferior al de los monocascos, en malas condiciones de mar.

5. Limitaciones de los buques Swath

a) Márgenes de peso debido a las bajas TPC, puede ser más costoso

Las bajas TPC son resultado directo de la reducida área de flotación. Por tanto estos buques son mucho más sensibles a los cambios de peso que los monocascos. Esta limitación a la hora de cargar el Swath, ha de tenerse en cuenta, no sólo en la fase de diseño, sino en la de operación. En la fase de proyecto esto llevará a jugar con márgenes de peso de los equipos y material más pequeños que en un monocasco. Esto hace que los materiales y los equipos empleados sean más costosos.

b) Hay que considerar pesos de crecimiento

En la fase de proyecto se debe considerar también el “crecimiento” del buque en la fase de operación, y la ganancia de peso debido a reparaciones o modificaciones futuras. En un monocasco, esta ganancia de peso es fácilmente absorbida con un pequeño aumento de calado, con el consiguiente aumento de la potencia exigida para mantener la velocidad. En un Swath esto no es tan simple, debido a lo sensibles que son al aumento de peso. De esta forma, el calado aumentará en exceso y no sólo empeorará la propulsión, sino su comportamiento en la mar al acercar la caja al agua.

c) Desplazamientos en el swath y mayor peso destinado a refuerzos

Los dos cascos obligan a una estructura más reforzada sobre todo en la unión entre los arbotantes y la caja, debido a la inercia de los cascos, y las tensiones originadas en esta unión (Ver figura 76). El peso destinado a refuerzos es superior en estos buques que en el monocasco. La mayor parte del desplazamiento de un Swath (del orden de un 80%) va contenido en los cascos sumergidos. “El peso estructural alcanza aproximadamente el 40% del desplazamiento” (Structural system reliability analysis of SWATH ships Y. Pu, 1995). Si estos refuerzos no se piensan durante el diseño, habrá que reforzar esta unión poniendo vigas cruzadas entre los dos cascos, como en algunos Swath de la flota griega. Estas vigas aumentan el peso del buque enormemente, empeoran su comportamiento en el mar y le hacen perder velocidad, debido al golpeo de las olas sobre ellas.

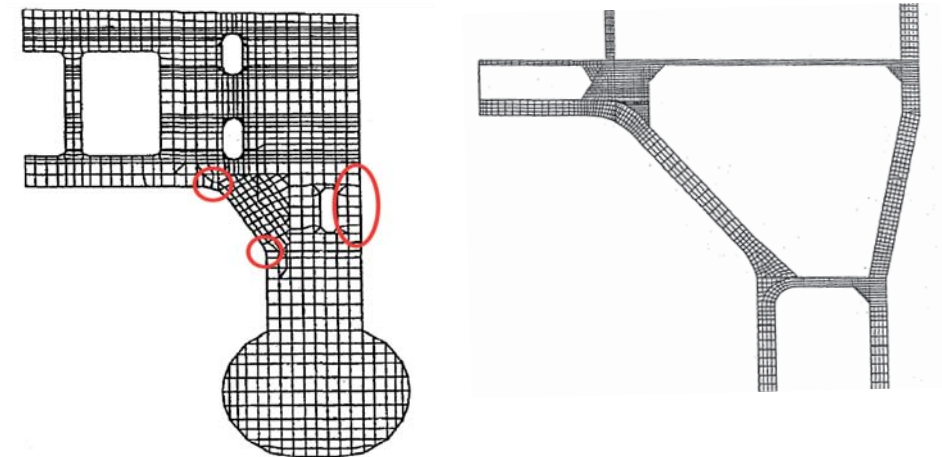


Figura 76. Puntos donde típicamente se producen fatigas en la cuaderna transversal de un Swath.
Fuente: China Classification Society, 2005

d) Agregar apéndices para solucionar posible problemas de pesos

Si no se cuenta con márgenes de peso para el futuro, sólo se podrán soldar reservas de flotabilidad adicionales al casco, “Blisters” o “Ampollas”, como se ha hecho con algunos Ferries que debían de adaptarse a las nuevas reglas del SOLAS, con lo que debían de añadirse mamparos internos para aumentar su índice de subdivisión. Estos mamparos añadían peso en rosca, con lo que para disminuir el calado y aumentar el desplazamiento se les pusieron postizos en popa “Sponsons” y “Ducktails”. Estas últimas alargaban las líneas de agua y disminuían la resistencia total al avance a altas velocidades. Todavía no se tiene experiencia en este tipo de modificaciones en los Swath, pero parece más sensato jugar con márgenes a la hora del diseño.

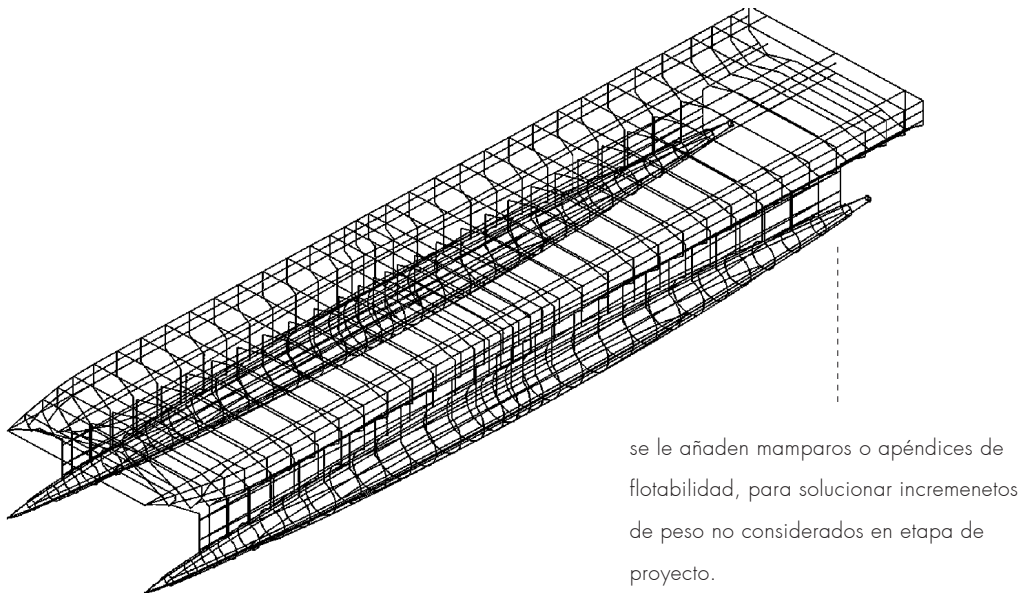


Figura 77. Esquema de la estructura de un Swath. Fuente: Beena, Subramanian, 2002. Parametric studies on seaworthiness of SWATH ships.

e) Menos capacidad de carga, pero mejor operatividad

En resumen el peso en rosca (tal como se entrega en el astillero) de un Swath es mayor que el de un monocasco de desplazamiento equivalente, con lo que el peso muerto, o carga útil que podrá llevar, será inferior al del monocasco. Si queremos la misma autonomía y velocidad, el volumen de combustible a transportar será mayor también, con el consiguiente aumento de peso. Pero no debe olvidarse que lo que destaca de un Swath es su operatividad (desarrollar múltiples misiones con diversos estados de mar).

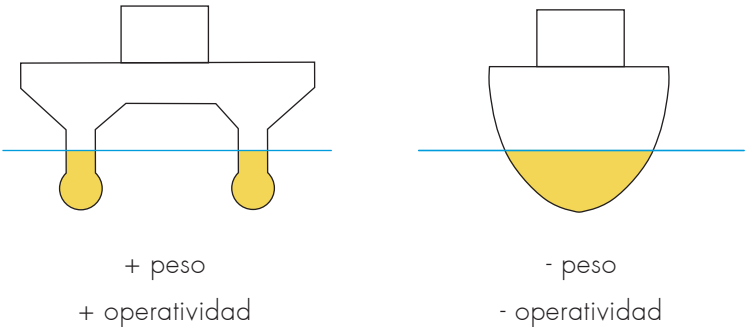


Figura 78. Esquema de comparación de pesos y operatividad entre Swath y Monocasco. Fuente: Elaboración propia

f) Igualar operatividad entre un swath y monocasco

Si se quiere que un monocasco tenga el mismo índice de movimientos, y que pueda mantener su velocidad en estado de mar altos, se le debe dar más desplazamiento (según un estudio de la U.S. Navy, se necesita un 29% más de desplazamiento en un monocasco que en un Swath para tener la misma operatividad media durante un año). Al aumentar el desplazamiento, aumentará la potencia exigida para mantener la velocidad, y el peso en rosca, con lo que si comparamos el Swath con su monocasco equivalente en operatividad, las diferencias antes mencionadas disminuyen o desaparecen.

Para igualar índice de movimiento entre monocasco y swath:

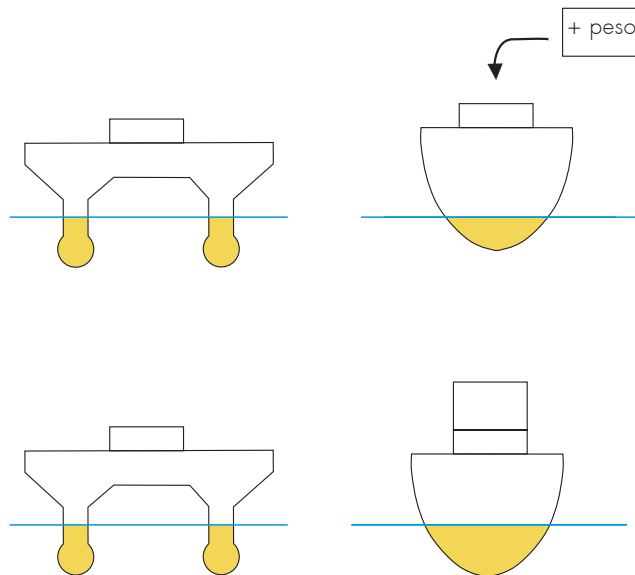


Figura 79. Esquema igualación de operatividad entre Swath y Monocasco
Fuente: Elaboración propia

g) Mayor manga en un swath puede dificultar el paso

Se ha visto que algunas dimensiones principales son mayores respecto a los monocascos equivalentes. Así, la mayor manga puede dificultar el paso a través de canales de manga restringida. También puede originar que el buque no pueda entrar en algunos diques para ser reparado. Esta mayor manga hace que las longitudes de tubería y refuerzos sean mayores con el consiguiente aumento de peso.

h) Mayor calado en un swath puede dificultar el acceso a puertos

Su gran calado dificulta su acceso a puertos de calado restringido y zonas someras. Su alto puntal dificulta las operaciones de embarque y desembarque y el amarre de buques a sus costados, así como la puesta en el agua de los medios de evacuación en caso de accidente.

i) El alto francobordo dificulta acceso a cubierta

Esta característica hace que las operaciones de carga, descarga y acceso a bordo se hagan con equipo especialmente diseñado. Los medios de evacuación de abordaje, como pueden ser los botes salvavidas y los pescantes de estos, también han de soportar la mayor distancia al agua que en un monocasco.

j) Localización de CG Y B debe ser precisa y controlada

La localización del centro de gravedad (CG) de los Swath debe ser especialmente precisa y controlada debido a las bajas MT1 (momento de trimado necesario para que la nave varíe su asiento en 1 cm) que ocasionan grandes trimados, con lo que la propulsión y la habitabilidad a bordo empeoran; por tanto, el CG se ha de situar lo más cercano posible al de carena o boyantez (B). En un monocasco la tendencia al trimado no es tan grande como en los Swath.

Considerando en primer lugar que el centro de boyantez se define como el centro geométrico del volumen sumergido, y en segundo lugar, que el CG y el B han de situarse cercanos, entonces el diagrama de fuerzas se debería verse así:

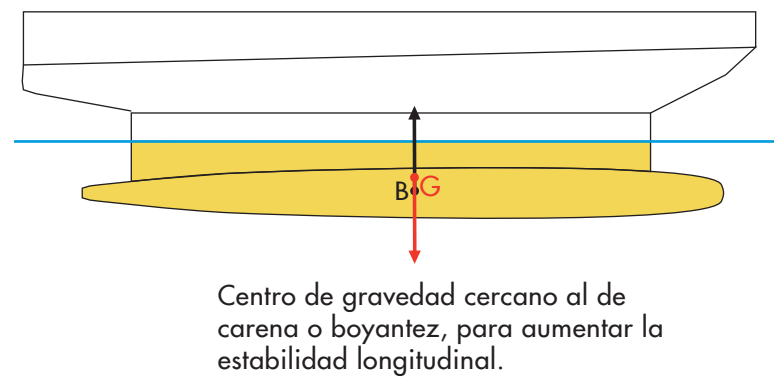


Figura 80. Esquema de la ubicación del centro de gravedad y boyantez en un Swath.
Fuente: Elaboración propia

Para ver más en profundidad el tema de la estabilidad en los Swath, revisar en la pag. 170 del Fundamento Técnico de esta tesis.

k) En caso de inundación de los cascos sumergidos, la escora y el trimado serán asimétricos

Otra consecuencia debida a las bajas MT1 (momento de trimado necesario para que la nave varíe su asiento en 1 cm) es la sensibilidad del buque a los cambios de distribución del peso. En caso de inundación, debido a la separación entre los cascos sumergidos, esta inundación no será simétrica, y se dará además de la escora un fuerte trimado.

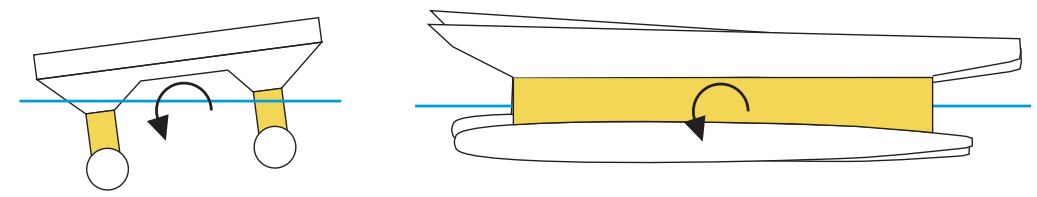


Figura 81. Esquema del trimado y escora en un Swath en caso de avería asimétrica.
Fuente: Elaboración propia

l) Se recomienda contar con reservas de flotabilidad y lastres

Debido a la alta sensibilidad a cambios de carga típico de la configuración Swath, dentro de los cascos bajo el agua, se recomienda utilizar lastres. En caso de avería e inundación, la caja es una gran reserva de flotabilidad que mantendrá el buque a flote. Sin embargo se hace necesario un sistemas de control de lastres, que pongan otra vez al buque en una situación aceptable. Por tanto habrá que diseñar los sistemas de lastre de forma que puedan lastrar y deslastrar ante grandes ángulos de trimado. Basta con poner dos tomas, una a proa y otra a popa de cada tanque de lastre.

En el siguiente esquema de un proyecto de embarcación, los tanques de lastres (Ballast Tanks) se ubican en la misma posición que los tanques de combustible (Diesel Tank), dos tanques de lastre han sido equipados para la compensación de la pérdida de peso y el cambio de asiento debido al consumo de combustible. Estos tanques están completamente llenos, y el fluido puede ser bombeado hacia afuera para ganar flotabilidad frente a un aumento de peso.

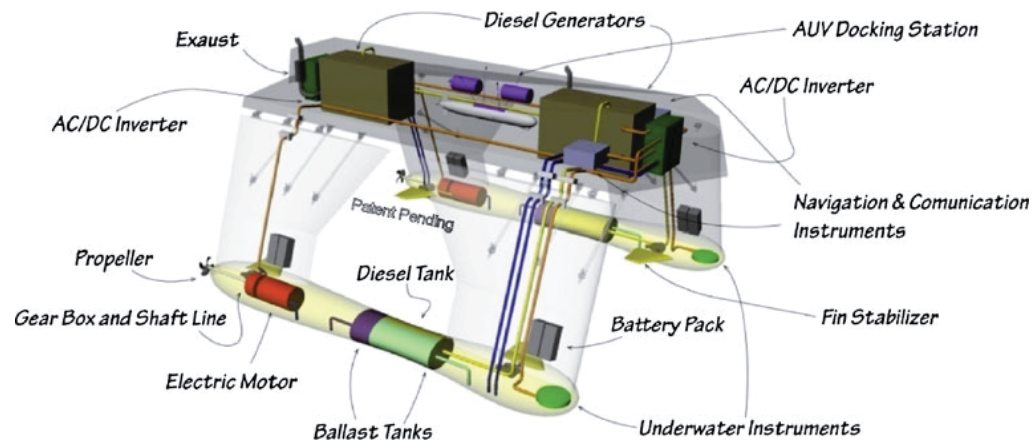


Figura 82. Disposición general de elementos principales del buque, maquinarias y sistemas. Fuente: Brizzolara & Curtin & Bovio & Vernengo, 2011, Concept design and hydrodynamic optimization of an innovative SWATH USV by CFD methods.

m) Disposición de espacios en la obra viva

Anteriormente, dentro de las ventajas de los Swath, se hablaba sobre la óptima disposición de espacios en la obra muerta. Sin embargo en la obra viva no sucede lo mismo.

En los Swath las zonas menos utilizadas son los arbotantes, que debido a su estrechez, son difíciles de aprovechar. En las zonas cercanas a la maestra, los arbotantes presentan sus mayores secciones, y estas zonas pueden destinarse a accesos o registros a los cascos sumergidos o como pañoles. En las zonas más finas, la única forma de aprovechar el espacio es destinarlo a servir de tanques. No hay que olvidar que los arbotantes conectan la caja con los cascos sumergidos, con lo que habrá que disponer registros superiores a los 60 cm de diámetro a través de estos. En la fase constructiva, los soldadores deberán poder acceder al interior de los arbotantes con el equipo, de forma que puedan realizar su trabajo de forma efectiva. La utilización del espacio de la obra viva es peor en estos buques que en los monocascos. Estos volúmenes suelen destinarse a espacios de maquinaria, bombas y tanques. La ventilación, refrigeración o calentamiento de estos espacios tan angostos es más complicada que en un monocasco, y muchos sistemas auxiliares tendrán que ir duplicados. En la figura 82 se puede apreciar esta realidad. En los arbotantes sólo pueden ir sistemas de cañerías o equipamiento de menor volumen.

6. Usos de los Swath

a) Como plataformas semisumergibles

Las primeras aplicaciones de los buques Swath tuvieron lugar como plataformas semisumergibles de apoyo a la construcción de plataformas offshore. Debido a su maniobrabilidad a baja velocidad, y a su capacidad para soportar casi cualquier rumbo, pueden acercarse a la boya y recuperar desde cualquier ángulo.

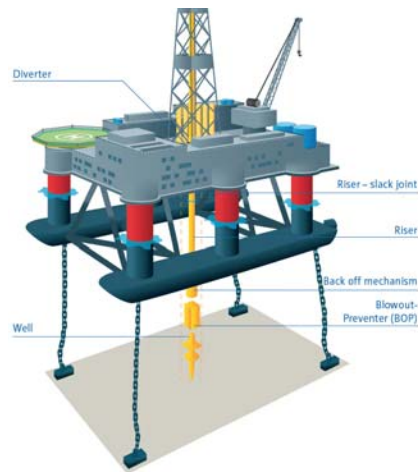


Figura 83. Sub-Ocean Drilling Platform Components. Fuente: PetroServ (CY) International. Disponible en: <http://www.petroservint.com/petroserv-interviews.html>



Figura 84. Plataforma petrolera Deepwater Horizon. Fuente: Periódico "El Venezolano", Miami, USA. Sección "Entorno Energético". Disponible en: http://www.soberania.org/Articulos/articulo_5795.htm

En el campo Offshore, la empresa brasileña Petrobrás ha optado por realizar en un futuro el abastecimiento de sus plataformas de extracción mediante buques Swath, pues es más rentable este sistema que el anteriormente empleado, que consistía en el uso de catamaranes y helicópteros cuando los catamaranes no podían operar debido al mal tiempo.

b) Como pesqueros

En el caso de los pesqueros, la posibilidad de salir a faenar con mala mar, y mantener la velocidad frente a otros pesqueros, le hace ser en estas condiciones el primero en llegar al caladero y en volver a puerto con la pesca, logrando los mejores precios en la lonja.

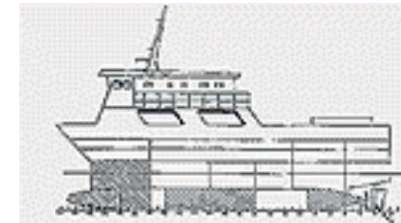


Figura 85. Buque Swath de Bajura. Fuente: http://www.halios9.com/prod_01.html

c) Como ferries

Se usan también los Swath como ferries para trayectos cortos, por ejemplo entre islas. Hay Swath que pueden albergar hasta 400 pasajeros como el “Seagull” o el “Navatek I”; el “Aegean Queen” puede llevar 700 pasajeros y 88 automóviles.

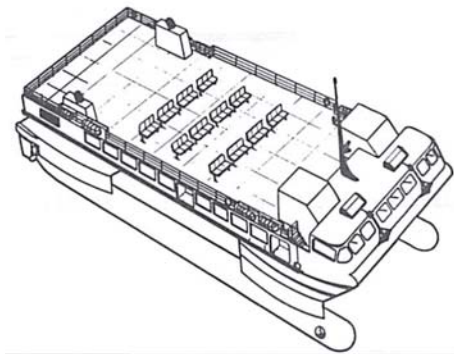


Figura 86. Swath Ferry. Fuente: Lovie y Lang, 1988. Commercial Opportunities for SWATH Vessels.

Navatek, Ltd. es el primer guardacostas comercial estadounidense. Fue diseñado y construido en EE UU en 1988. Navatek ha estado en el servicio comercial, como ferry, durante 30 años en Hawai, donde hay aguas ásperas y abiertas al océano. Alcanza 16 nudos, mide 40 metros de eslora y recibe a 430 pasajeros.



Figura 87. Navatek I. Fuente: <http://www.navatekltd.com/swath.html>

Rentabilidad del ferry

La principal ventaja de estos ferries es que pueden mantener una ruta durante prácticamente todo el año, manteniendo el confort a bordo, independientemente de las condiciones meteorológicas, con lo que son más fáciles de rentabilizar que un monocasco, o incluso que los catamaranes que, por ejemplo, tienen restringida su operación en el Mar Báltico a los meses de verano.

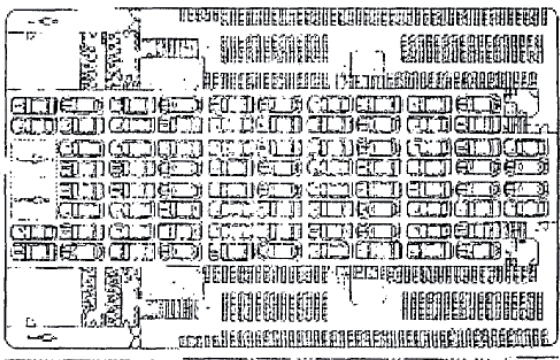
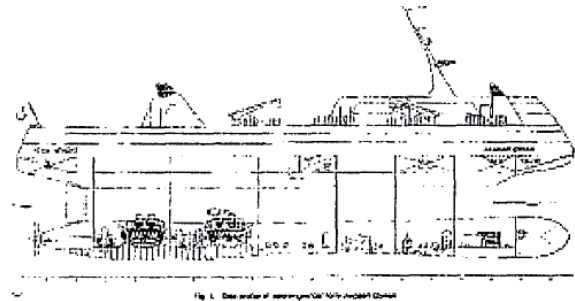


Figura 88. Disposición general del Ferry “Aegean Queen”

e) Ferry para transporte en industrias

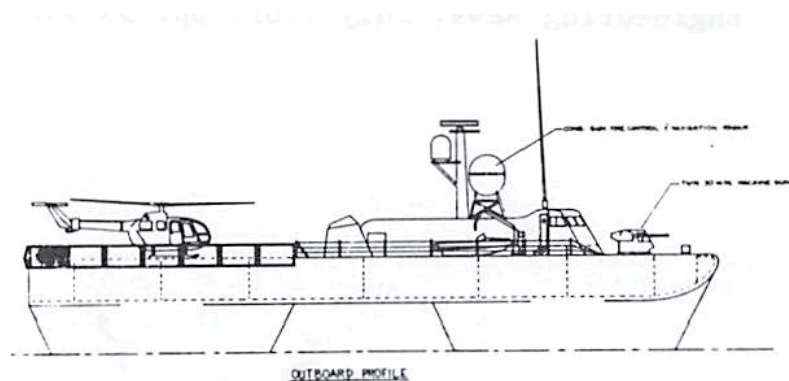


Figura 89. Swath Patrullero. Fuente: Lovie y Lang, 1988. Commercial Opportunities for SWATH Vessels.

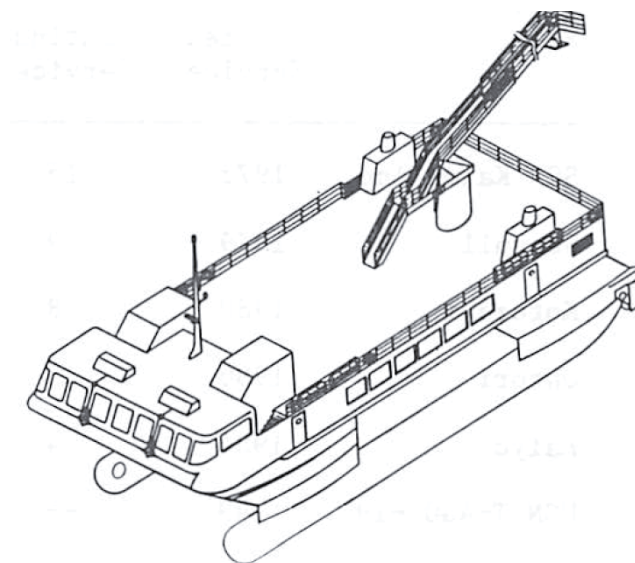


Figura 91. Swath para transporte industrial. Fuente: Lovie y Lang, 1988. Commercial Opportunities for SWATH Vessels.



Figura 90. USNS Able (T-AGOS-20). Fuente: U.S. Navy photo by Mass Communication Specialist 2nd Class Bryan Reckard. Disponible en: <http://www.militaryphotos.net/forums/showthread.php?158390-Today-s-Photos-Tuesday-June-2nd-2009/page2>

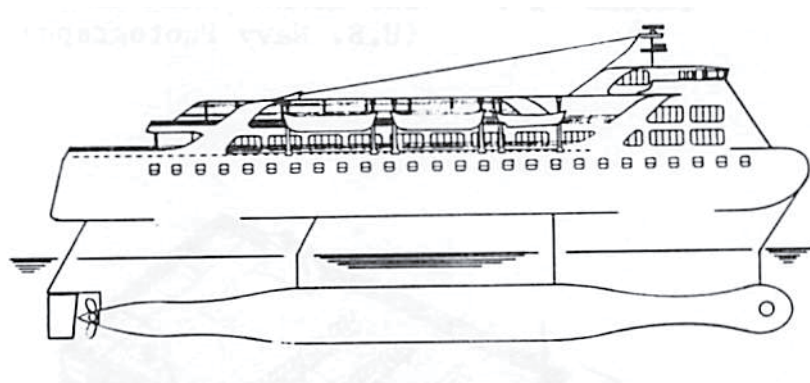


Figura 92. Swath Crucero. Fuente: Lovie y Lang,1988. Commercial Opportunities for SWATH Vessels.



Figura 93. Six-star cruise liner Asia Star. Fuente: Asia Cruiser. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Exterior_day3.jpg

7. Características y antecedentes generales de los Hyswas

Durante el estudio que se desarrolla en esta tesis, surge la idea de diseñar una embarcación tipo Swath, pero que conste de sólo un casco sumergido y central.

Introduciéndose más en esta idea, se descubre a través de la investigación, que existen algunos diseños parecidos a lo que se pensaba.

A continuación se expone la información recopilada y analizada sobre las embarcaciones llamadas “Hyswas”, que se caracterizan por poseer un casco central sumergido y por poseer hidroalas que lo sustentan dinámicamente.

a) Antecedentes de los Hyswas

El concepto de Hyswas (Hydrofoil small water área ship) significa, en español “Nave con hidroala y pequeña área en la flotación”. Esta embarcación ofrece una considerable mejora en cuanto a los movimientos en el agua agitada. Esto en comparación a los actuales monocascos.

Este concepto está destinado a mejorar las características de velocidad y poder en comparación con los buques Swath convencionales, puesto que el área mojada se reduce y se mantienen los atributos positivos de área de flotación pequeña.

A través de la búsqueda en la web, se pueden constatar artículos de investigación sobre estas embarcaciones, que datan del año 1977. Por ejemplo, el que se titula “Investigación preliminar de la maniobrabilidad en el balance de un Hyswas”. Los esquemas que contiene este artículo se muestran en las figuras 94 y 95.

No hay Hyswas operativos todavía, pero se han hecho algunos prototipos muy prometedores.

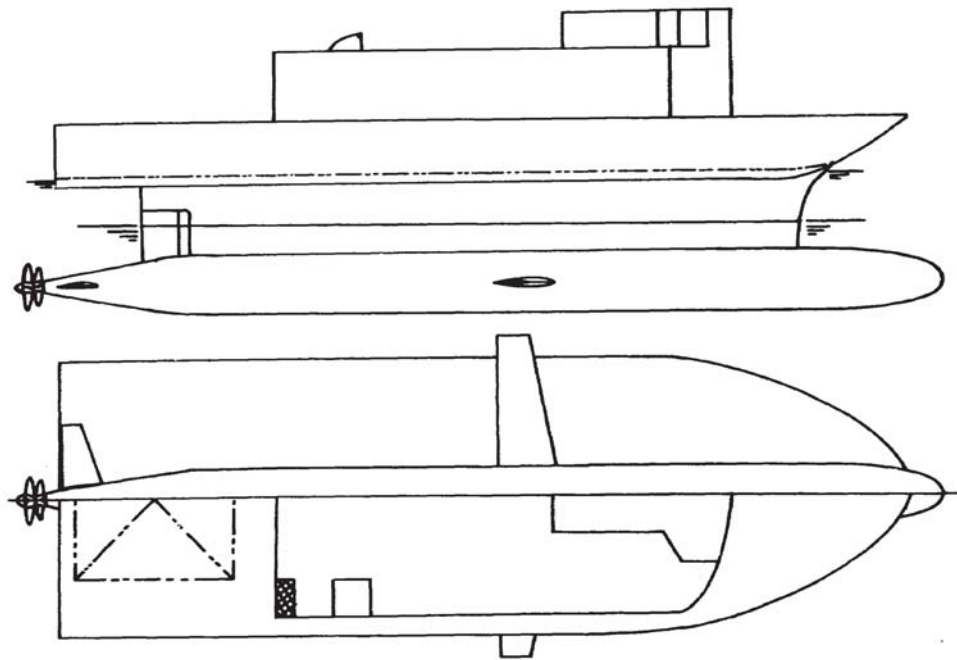


Figura 94. Vista Esquemática de un HYSWAS. Fuente: Lee, Waters an McCreight, 1977. Preliminary Investigation of roll controllability of a hydrofoil Small Waterplane Area Ship (Hyswas)

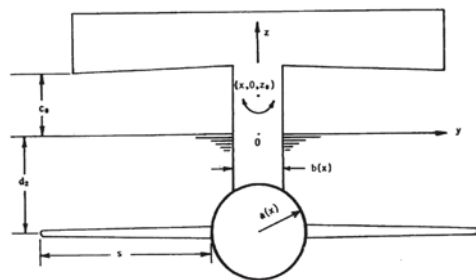


Figura 95. Cuaderna maestra y ubicación del arbotante e hidroalas. Fuente: Lee, Waters an McCreight, 1977. Preliminary Investigation of roll controllability of a hydrofoil Small Waterplane Area Ship (Hyswas)

b) Descripción general de un Hyswas

El Hyswas es un híbrido entre un Swath y un Hydrofoil. Posee dos cascos: uno superior y otro central, que llamamos bulbo por su forma, y que tiene la particularidad que está sumergido como un submarino. Posee un sistema de hidroala totalmente sumergida para proporcionar la sustentación, así como también el control activo para evitar el balance. La gran característica de este casco es que posee una pequeña área de flotación, que la logra gracias a la sustentación que le otorgan los perfiles alares. Esto es lo que permite cortar las olas.

Estas embarcaciones pueden poseer cascos laterales en el casco superior.

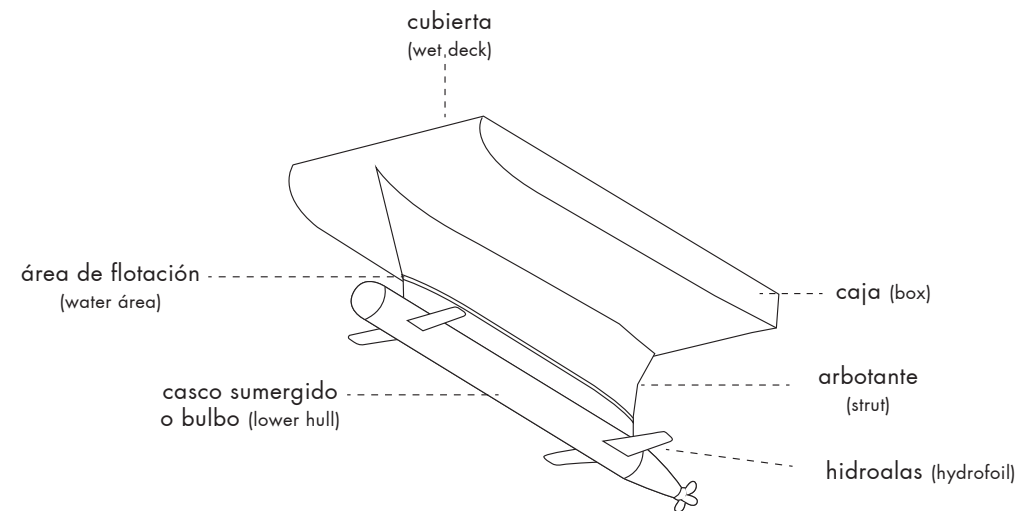


Figura 96. Esquema partes de una embarcación Hyswas. Fuente: Elaboración propia

Planos generales de un Hyswas, destacando en color amarillo el arbotante, por su importancia en el área en la flotación.

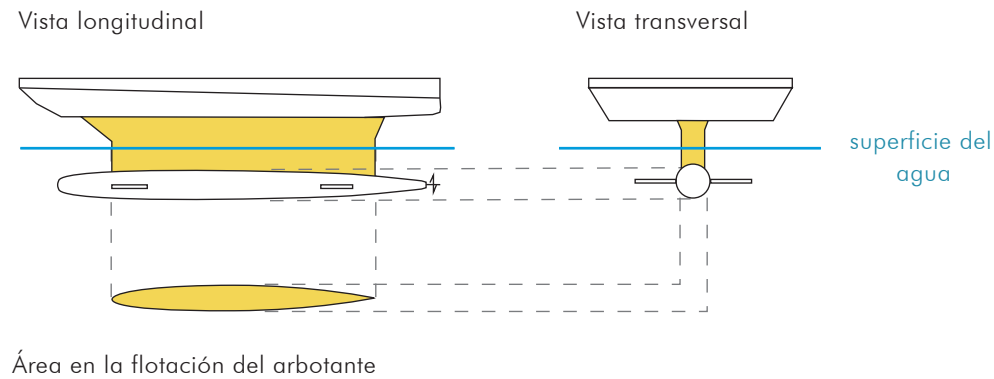


Figura 97. Esquema de las vistas de un Hyswas.
Fuente: Elaboración propia

b) Funcionamiento

Cuando está detenida la embarcación (esquema de la izquierda, figura 98) la línea de flotación estará ubicada a la altura del casco superior de la embarcación. Cuando aumenta su velocidad, (esquema de la derecha figura 98) los perfiles alares provocan que la embarcación se eleve y ahora la línea de flotación se ubicará a la altura de los arbotantes, que, al poseer una menor área de flotación, (como habíamos visto antes) cortarán la ola, evitando que la embarcación se mueva.

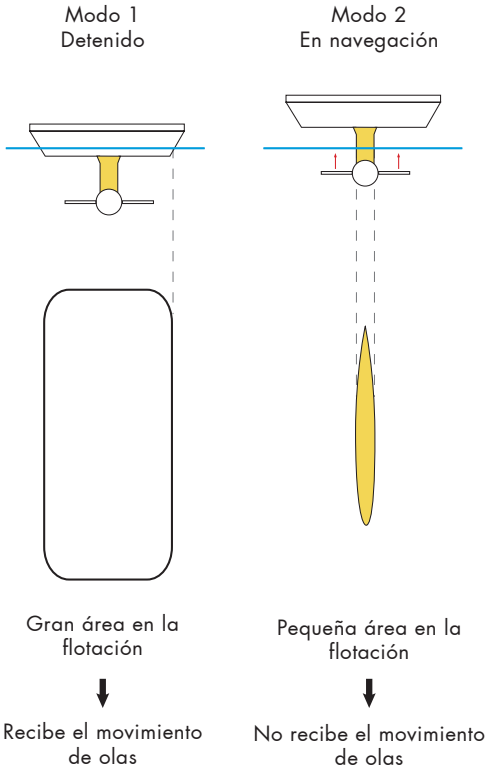


Figura 98. Esquema de Hyswas en modo detenido y en modo navegación.
Fuente: Elaboración propia

c) El "Quest" como antecedente

El Hyswas llamado "Quest", fabricado en el año 1995 por "Maritime Applied Physics, Laurel, Md." para la marina norteamericana. "Pesa 12 toneladas y tiene 8,2 mt de eslora, fue un elemento clave en la demostración de la tecnología. La nave tenía excepcional comportamiento en el mar. Llegando a alcanzar 30 nudos de velocidad." (Clark, Ellsworth y Meyer, 2004)



Figura 99. Imágen de frente del Quest. Fuente: International Hydrofoil Society. Disponible en: <http://www.foils.org/gallery/next.htm>

8. Características de las formas de los Hyswas

a) Reducida área de flotación

Tal como en los buques Swath, este tipo de embarcación llamado Hyswas también se caracterizan por poseer una mínima área en la flotación. El Hyswas posee menor área de flotación, porque posee sólo un arbotante. Esto hace que, el borde afilado del o los arbotantes centrales corten la ola, evitando aún más su movimiento.

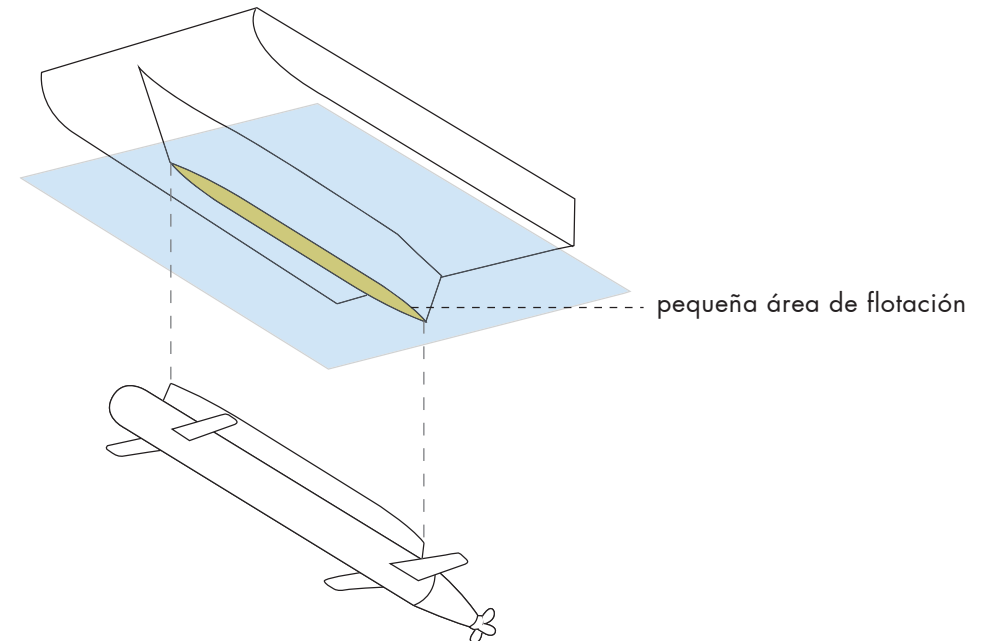


Figura 100. Esquema de mínima área en la flotación en los Hyswas. Fuente: Elaboración propia

b) Reducida área de flotación, menor TPC

Al igual que los Swath, estas embarcaciones registran mínimas toneladas por centímetro de inmersión. En los Hyswas se exagera esta situación, ya que posee menor área de flotación que el Swath.

c) Reducida área de flotación, menor MT1

Al igual que los Swath, estas embarcaciones son muy sensibles al trimado, la cual se mide por el momento longitudinal necesario para que la nave varíe su asiento en 1 cm. Esto también se exagera por la menor área de flotación de los Hyswas.

d) Mayor resistencia al avance que un mon casco, pero menor que un Swath

Los Swath poseen una menor eficiencia en cuanto a la resistencia al avance en aguas tranquilas, debido a la mayor superficie mojada que presentan respecto a los monocascos de similar desplazamiento. Sin embargo los Hyswas poseen sólo un casco sumergido, no dos. Por esta razón es menor su resistencia comparándolo con un Swath.

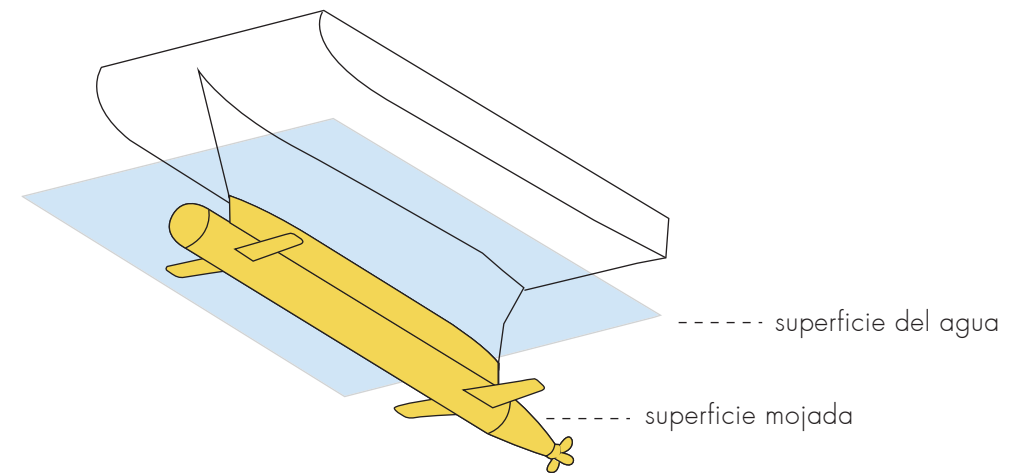


Figura 101. Superficie mojada en modo de sustentación en los Hyswas. Fuente: Elaboración propia

e) Estabilidad estática de un Hyswas

Al igual que los Swath, el brazo adrizante de los Hyswas es comparable al del monocasco equivalente, sólo en rangos inferiores a los 10 o 15°. Por encima de estos ángulos de escora, las flotaciones inclinadas tocan la caja, o bien emerge el casco sumergido central, con lo que aumenta el área en la flotación y por tanto el brazo adrizante aumentará bastante respecto al monocasco. El área bajo la curva de brazos adrizantes es mayor que la del monocasco.

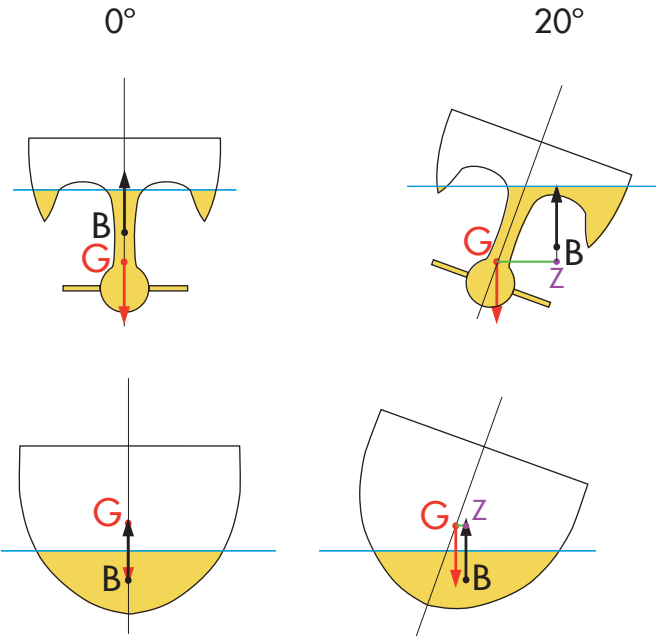
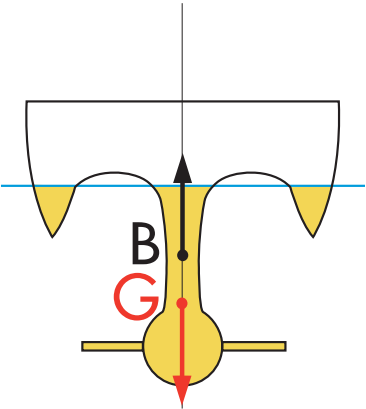


Figura 102. Comparación de GZ entre Hyswas y Monocasco.
Fuente: Elaboración propia

f) Localización de CG Y B debe ser precisa y controlada

Al igual que los Swath, la localización del centro de gravedad (CG) de los Hyswas debe ser especialmente precisa y controlada debido a las bajas MT1 (momento de trimado necesario para que la nave varíe su asiento en 1 cm) que ocasionan grandes trimados, con lo que la propulsión y la habitabilidad a bordo empeoran. Además hay que considerar que el centro de gravedad debe estar a la altura del bulbo sumergido; por tanto, el CG se ha de situar lo más cercano posible al de carena o boyantez (B).

Considerando en primer lugar que el centro de boyantez se define como el centro geométrico del volumen sumergido, y en segundo lugar, que el CG y el B han de situarse cercanos, entonces el diagrama de fuerzas debería verse así:



Al ubicar el centro de gravedad en el bulbo sumergido, la nave se comporta como un "mono porfiado", que vuelve a su posición original.

Figura 103. Esquema de diagrama de fuerzas de un Hyswas detenido.
Fuente: Elaboración propia

g) Sustentación estática y dinámica en los Hyswas

Cuando un HYSWAS está en condición de desplazamiento (detenido) el 100% de su peso lo sustenta la fuerza de boyantes de su casco superior y el central.

“Cuando está en modo de foilborne (sustentado por las alas), las hidroalas soportan aproximadamente el 30% del peso del buque, y el 70% la boyantes del casco sumergido.” (David W. Taylor Naval Ship Research and Development Center by C.M. Lee, 1977). Otras fuentes (Boote y Mascia, 2007) declaran que el diseño de la embarcación Hyswas llamada “Aliswath” se basa en que las alas entregan el 20 % de la sustentación y el otro 80% lo entrega la boyantes del bulbo sumergido.

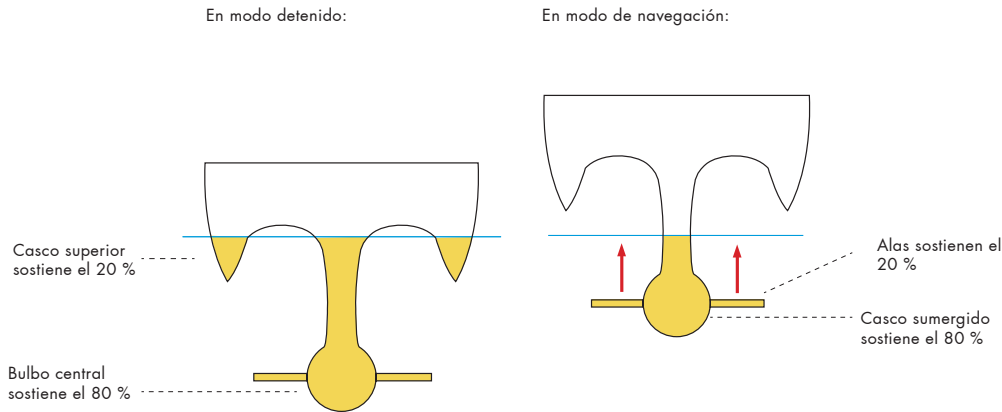


Figura 104. Sustentación estática y dinámica en los Hyswas.
Fuente: Elaboración Propia.

h) Estabilidad dinámica de un Hyswas

Una preocupación importante a la hora de diseñar los Hyswas ha sido cómo evitar los movimientos de balanceo provocada por las olas, ya que posee pequeños momentos restauradores debido a su mínima área en la flotación. Estos movimientos se pueden controlar con las hidroalas, que no sólo sirven para elevar la embarcación, sino que para estabilizar.

En modo de navegación:

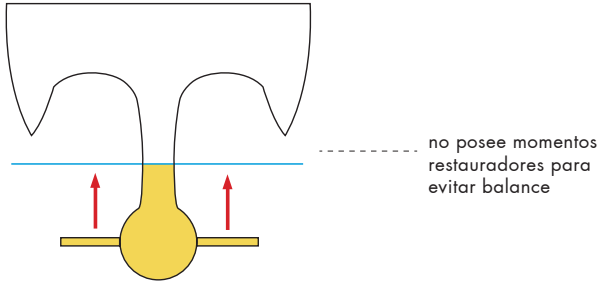


Figura 105. Esquema de un Hyswas en modo de sustentación.
Fuente: Elaboración propia

9. Prototipos y proyectos de embarcaciones Hyswas

A continuación se muestran algunos ejemplos de Hyswas que se han construido como prototipos, algunos que se están construyendo y otros que se están proyectando actualmente.

a) Embarcación "Quest"

Como ya se había dicho anteriormente, esta embarcación significó un gran avance para el desarrollo de esta tecnología, porque demostró su funcionamiento.

Este fue hecho en 1995, por Maritime Applied Physics, Laurel, Md. para la marina norteamericana.

Tiene de eslora 8,2 metros, 3,7 metros de manga, 4 metros de puntal, y entre 2 y 3 metros de calado.

Pesa 12 toneladas.

Está construido en aluminio.

Alcanza una velocidad de 37 nudos



Figura 106. Imágen de frente del Quest en funcionamiento. Fuente: International Hydrofoil Society. International Hydrofoil Society Photo Gallery. Disponible en: <http://www.foils.org/gallery/next.htm>



Figura 107. Imágen de costado del Quest Fuente: International Hydrofoil Society. International Hydrofoil Society Photo Gallery. Disponible en: <http://www.foils.org/gallery/next.htm>



Figura 108. Imagen de costado del Quest en funcionamiento. Fuente: International Hydrofoil Society. International Hydrofoil Society Photo Gallery. Disponible en: <http://www.foils.org/gallery/next.htm>



Figura 109. Imagen de costado del Quest en funcionamiento. Fuente: International Hydrofoil Society. International Hydrofoil Society Photo Gallery. Disponible en: <http://www.foils.org/gallery/next.htm>



Figura 110. Imagen de costado del Quest en funcionamiento. Fuente: <http://alternathistory.org.ua/proekt-1231-delfin>



Figura 111. Imagen del Quest en tierra. Fuente: <http://alternathistory.org.ua/proekt-1231-delfin>

b) Embarcaciones “Techno Super Sliner”

Se han hecho más de un prototipo en esta serie de Hyswas.

En 1994 se construyó uno por la “Mitsui Engineering & Shipbuilding Mitsui Engineering & Shipbuilding”.

Tiene de eslora 17 metros, de manga 6,2 metros, entre 4 y 5 metros de puntal.

Pesa 38 toneladas.

Esta hecha en aluminio.

Alcanza 41 nudos.

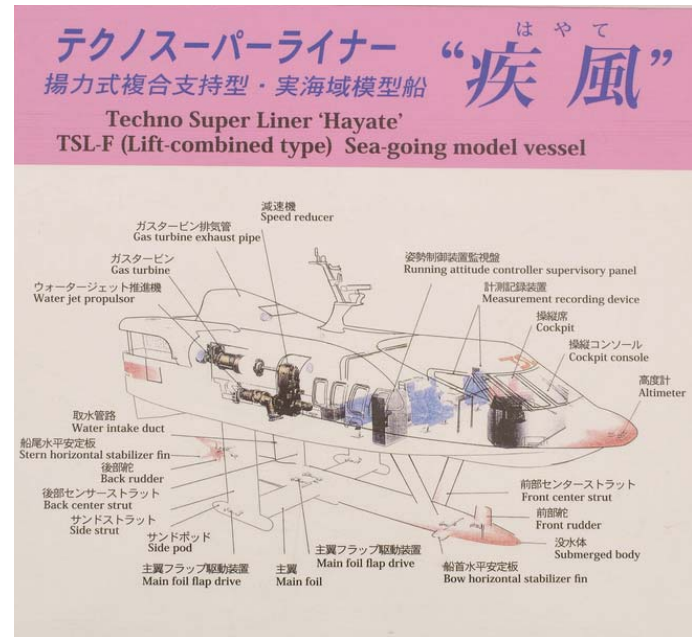


Figura 112. Fotografía de la infografía del Techno Super Liner “Hayate”. Fuente: Adrian Dutch, 2013, Kobe, Japan. Disponible en: <http://www.flickr.com/photos/littledutchboy/8648880145/>

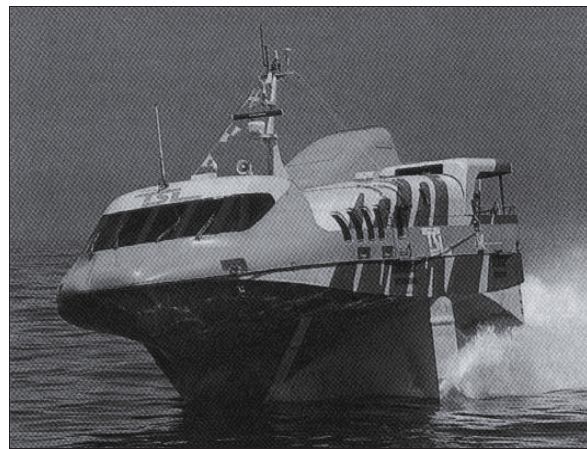


Figura 113. Prototipo TSL-F en funcionamiento. Mide 17 mts de eslora, pesa 38 toneladas. Fuente: Goubault y Allison, Advanced Marine Surface Craft, Capítulo 44.

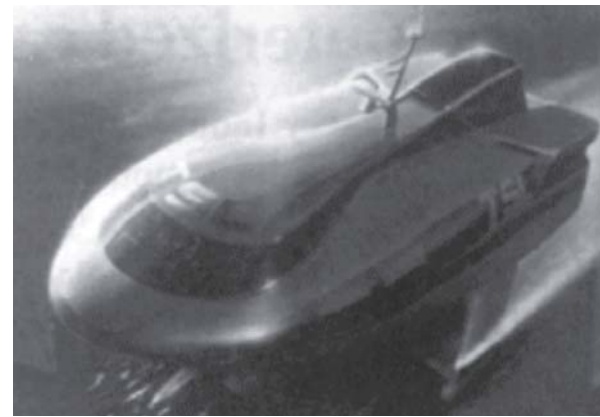


Figura 114. Prototipo TSL-F en funcionamiento. Fuente: Digitalwave publishing, 1993. Disponible en: <http://www.digitalwavepublishing.com/pubs/NWM/maritimereporter/199309/?pgno=155>



Figura 115. Prototipo TSL-F en Meriken Park, Kobe, Japan. Fuente: Open cage, 2012. Techno super liner TSL-F. Disponible en: http://opencage.info/pics.e/large_79.asp



Figura 117. Imágen de frente del TSL-F. Fuente: Kawasaki. Disponible en: <http://www.khi.co.jp/ship/company/history/index.html>



Figura 116. Imágen del TSL-F de proa. Fuente: <http://alternathistory.org.ua/proekt-1231-delfin>



Figura 118. Imágen del TSL-F de costado. Fuente: <http://alternathistory.org.ua/proekt-1231-delfin>

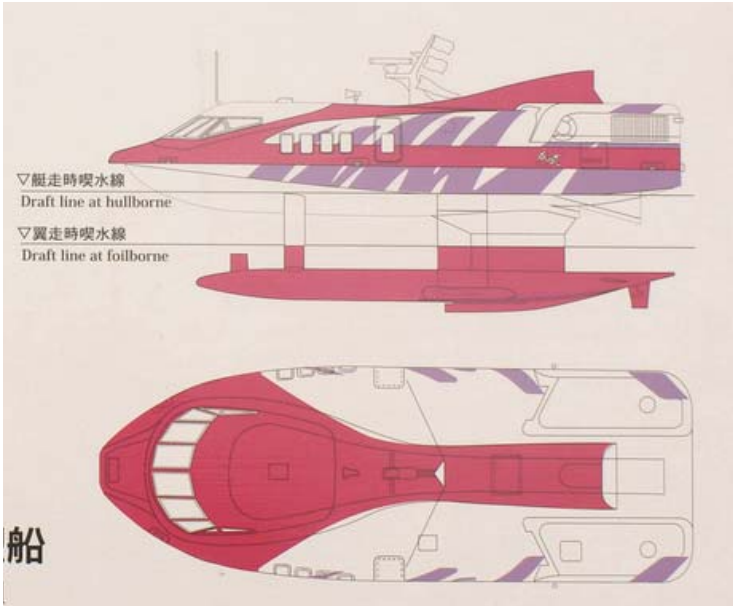


Figura 119. Fotografía del plano del "Hayate" Techno Super Liner TSL-F, Meriken Park. Fuente: Adrian Dutch, 2013, Kobe, Japan. Disponible en: <http://www.flickr.com/photos/littledutchboy/8648878877/>

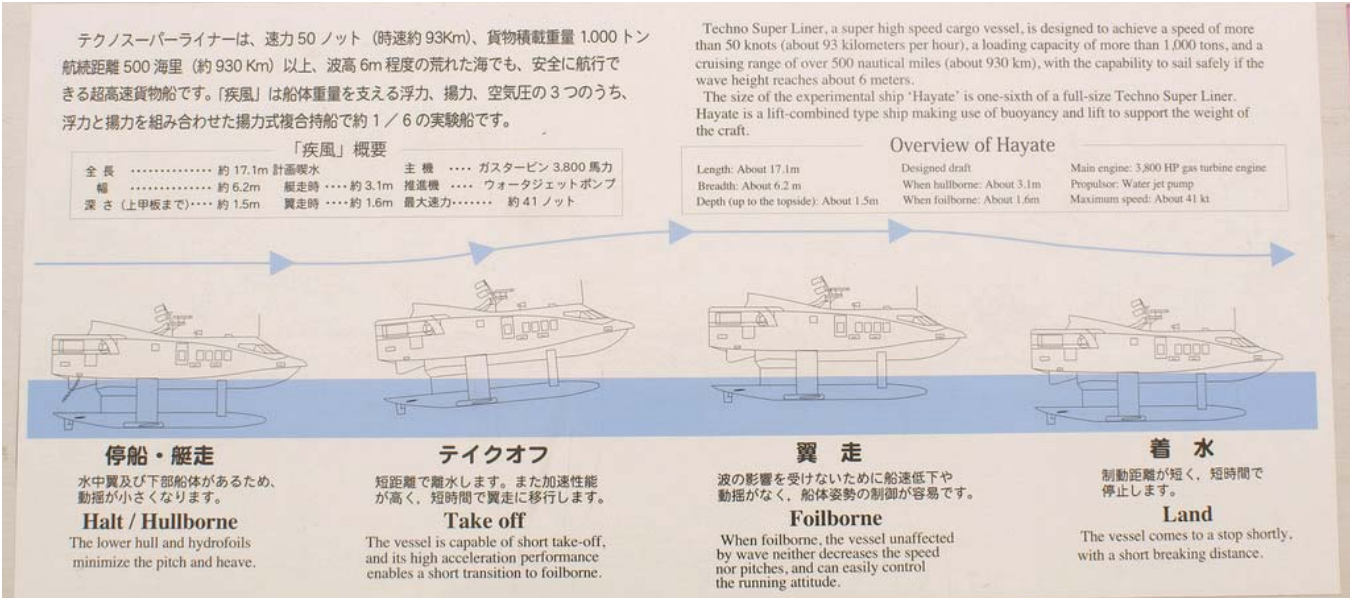


Figura 120. Fotografía de una infografía del "Hayate" Techno Super Liner TSL-F, Meriken Park. Fuente: Adrian Dutch, 2013, Kobe, Japan. Disponible en: <http://www.flickr.com/photos/littledutchboy/8649982688/>

c) Aliswath

Aliswath es el resultado de un importante proyecto de I + D llevado a cabo de forma conjunta por el Grupo de Rodríguez y RINA con la participación de la Universidad de Génova y el Instituto Krylov de San Petersburgo. Quienes han desarrollado conjuntamente un ferry de alta velocidad innovador y respetuoso con el medio ambiente.

El diseño Aliswath combina la pequeña área mojada del concepto Swath con un sistema de hidroala. El prototipo está diseñado para transportar 450 pasajeros y 60 automóviles a toda velocidad hasta 28 nudos.

La clave para el diseño de tipo trimarán es su casco con forma de torpedo sumergido que posee un sistema de sustentación a partir de hidroalas.

El casco de aluminio tiene una potencia instalada de 6.080 kW, presente en los dos pods, más dos motores principales diesel montados en el casco torpedo unidos a una hélice de alta eficiencia. Esto comparado con 9.300 kW necesarios para los buques Rodriquez existentes, de la misma capacidad y velocidad, la serie TMV70, que ya están en servicio.

Los sistemas de Pod, desarrollados por Rodriquez Marine Systems, están equipadas con tracción hélices que proporcionan energía extra, alta maniobrabilidad y permiten 11 nudos de velocidad en caso de fallo del motor principal.

La embarcación se eleva cuando alcanza los 19 nudos.

Boyantez en el Aliswath

El cuerpo sumergido de esta embarcación provee el 80% de la boyantez hidrostática. El remanente 20% de boyantez necesaria, lo provee los dos cascos laterales del casco superior. Cuando está a velocidad crucero, la fuerza de sustentacion la entregan las hidroalas.

Consumo de combustible del Aliswath

“En caso de el ALISWATH, hemos logrado un 50% reducción del consumo de combustible con respecto a un buque convencional que opera en el misma velocidad y el mismo peso muerto” (Revista Rodriguez Quarterly n.16, 2007). También reduce las emisiones, y el riesgo de contaminación por hidrocarburos.

Principales características del Aliswath

Eslora: 64,2 m	propulsión central 2x2,3 MW
Manga: 15,5 m	propulsión pods 2x1,1 MW
Desplazamiento: 560 ton	Pasajeros: 430 persons
Velocidad: 28 nudos	Automóviles: 53
Poder: 6,8 MW	Sustentación dinámica 20%
	Sustentación estática 80%

Pesos del Aliswath

Datos casco superior	
Eslora	63
Manga	15,5
Puntal	10,3
Peso estructura	130 t
Equipamiento	80 t
Maquinaria	18 t
Pay Load	150 t
Total pesos casco superior	378 t
Datos casco sumergido	
Eslora	50
Manga	4,1
Puntal	2,6
Peso estructura	28 t
Equipamiento	10 t
Maquinaria	35 t
Total pesos torpedo	73 t
Peso total	
	451 t

Figura 121. Tabla de los datos de los pesos del Aliswath. Fuente: Elaboración propia, en base a los datos dados por: Structural Design of Innovative Passenger Vessel

Modelos de Aliswath

En la búsqueda investigativa en la web, se encontraron imágenes de la embarcación Aliswath, tipo render. Dentro de lo que se encontró se pueden ver dos versiones distintas de la misma embarcación, sin encontrar una razón a este hecho.

“Diseño Original de Aliswath”

Las siguientes imágenes corresponden a lo que, en este estudio, llamamos el “Diseño Original de Aliswath”. Un diseño con un casco sumergido más largo y con una proa con un ángulo muy agudo. El bulbo está unido al caso superior a través de dos arbotantes, uno central bastante grande y otro muy pequeño en la zona de proa. Este bulbo a su vez, sostiene las cuatro hidroalas.



Figura 122. Aliswath. Fuente: Marine Log, 2006. Innovative ferry concept. Disponible en: <http://www.marinelog.com/DOCS/NEWSMMVI/2006sep00123.html>

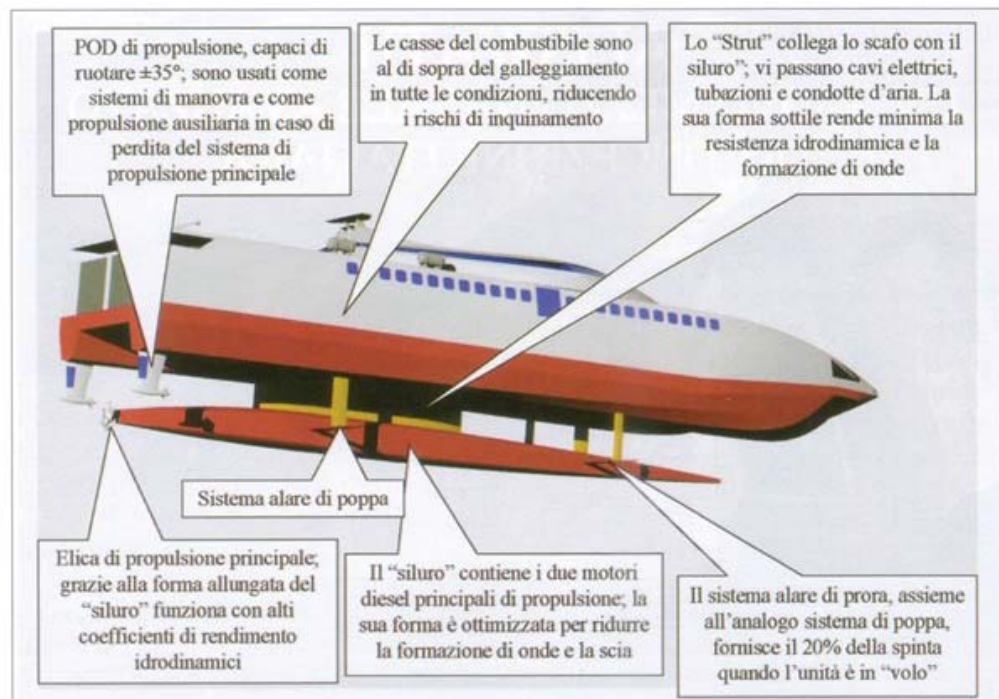


Figura 123. Imágen del Aliswath y sus particularidades. Fuente: Kai Levander, 2012. Passenger Ship Architecture, Aalto University. Disponible en: <http://www.altomareblu.com/carene-futuro-nautica/>



Figura 124. Imagen isométrica inferior del Aliswath. Fuente: Kai Levander, 2012. Passenger Ship Architecture, Aalto University. Disponible en: <http://www.altomareblu.com/carene-futuro-nautica/>



Figura 125. Imagen del Aliswath. Fuente: Kai Levander, 2012. Passenger Ship Architecture, Aalto University. Disponible en: <http://www.altomareblu.com/carene-futuro-nautica/>

“Diseño Alternativo de Aliswath”

El otro diseño que se expone en ciertos artículos de internet, pero menos conocido, es el que se ve en las siguientes imágenes. En este estudio lo llamamos “Diseño Alternativo de Aliswath” sólo para nombrarlo y diferenciarlo del anterior. Este se diferencia del descrito anteriormente en el casco sumergido. Este es mucho más corto en relación a su eslora. Además se puede notar que la sección transversal del bulbo es elíptica, es más ancho que alto.

Por lo tanto se puede especular que este bulbo es del mismo volumen que el anterior, sólo que ahora cambia sus proporciones de sección transversal. Este cambio de geometría posiblemente se deba a razones hidrodinámicas del bulbo.



Figura 126. Render del Aliswath. Fuente: Visco, 2007, Anno 2007 Aliswath, l’evoluzione dell’aliscafo. Revista Porto di Porto. Disponible en: http://www.portoediporto.it/DEF/?page=reader&the_sect=CANTIERISTICA&my_year=&my_month=&my_art=308&my_act=1

El bulbo más corto de este diseño está sujeto con un sólo y gran arbotante. Este bulbo sostiene un par de alas en el sector de popa, mientras que las alas delanteras están sujetas al casco superior a través de un arbotante más pequeño.

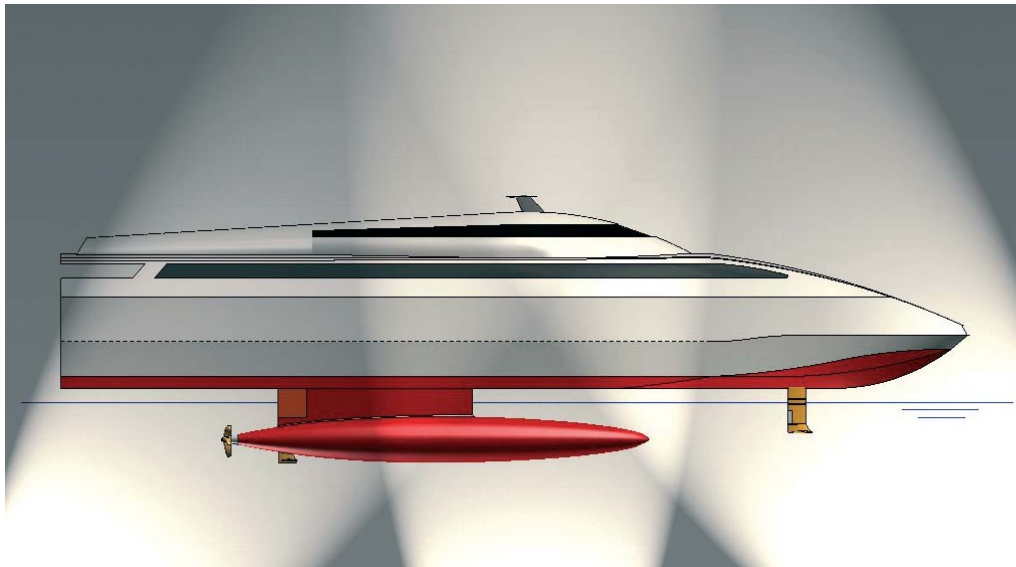


Figura 127. Render del Aliswath. Fuente: Visco, 2007, Anno 2007 Aliswath, l'evoluzione dell'aliscafo. Revista Porto di Porto. Disponible en: http://www.portoediporto.it/DEF/?page=reader&the_sect=CANTIERISTICA&my_year=&my_month=&my_art=308&my_act=1

Las siguientes imágenes del Aliswath corresponden al que llamamos “diseño alternativo de Aliswath”. Este modelo fue presentado por la revista Focus en el 2006.



Figura 128. Render del Aliswath visto desde proa. Fuente: Dagradi, 2006. L'ali-traghetto. Revista Focus. Disponible en: http://www.focus.it/Allegati/2011/3/169_lalitrag_36666.pdf

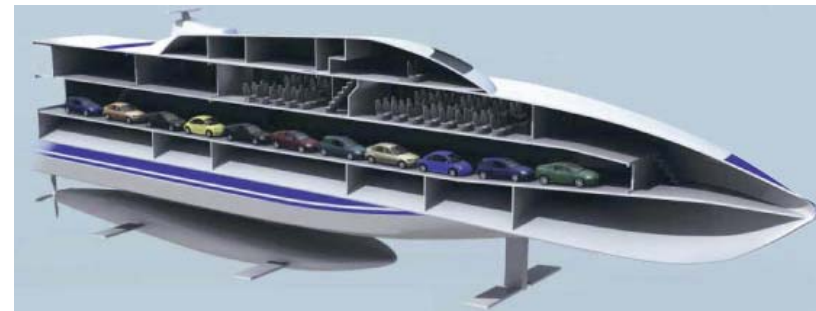


Figura 129. Render del interior del Aliswath. Fuente: Dagradi, 2006. L'ali-traghetto. Revista Focus. Disponible en: http://www.focus.it/Allegati/2011/3/169_lalitrag_36666.pdf

A continuación se presentan planos de la sección transversal de la “cuaderna maestra” del Aliswath, correspondientes al “Diseño Original de Aliswath”. Llama la atención la sección transversal del bulbo, la cual resulta ser casi un rectángulo.

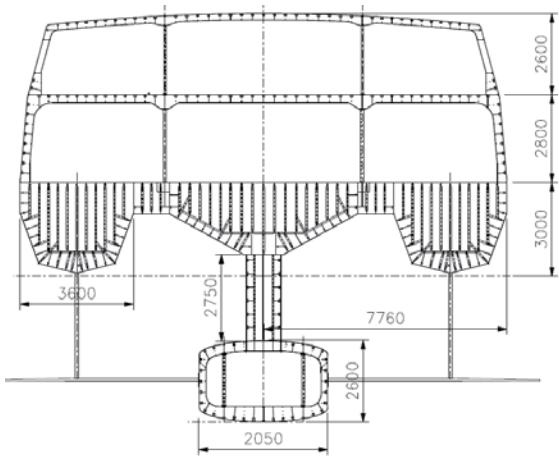


Figura 130. Sección transversal del Aliswath. Fuente: Boote y Mascia, Structural Design of Innovative Passenger Vessel. Departamento de Ingeniería Naval y Tecnología Marina de la Universidad de Génova, Italia. Disponible en: <http://www.icmr07.unina.it/Proceedings/Papers/B/04.pdf>

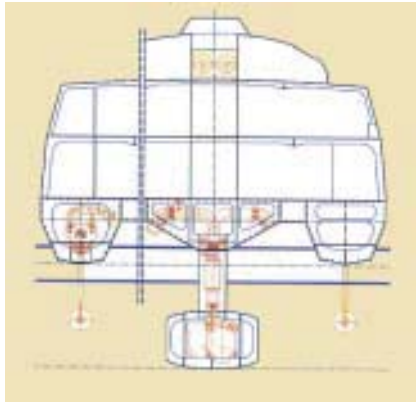


Figura 131. Esquema Cuaderna maestra Aliswath. Fuente: Ingeniería Naval, 2005. Disponible en: <http://www.ingenierosnavales.com/docurevista/NOTICIAS%20MAR.%2005.pdf>

En base a los planos anteriores se realiza un esquema con las medidas generales.

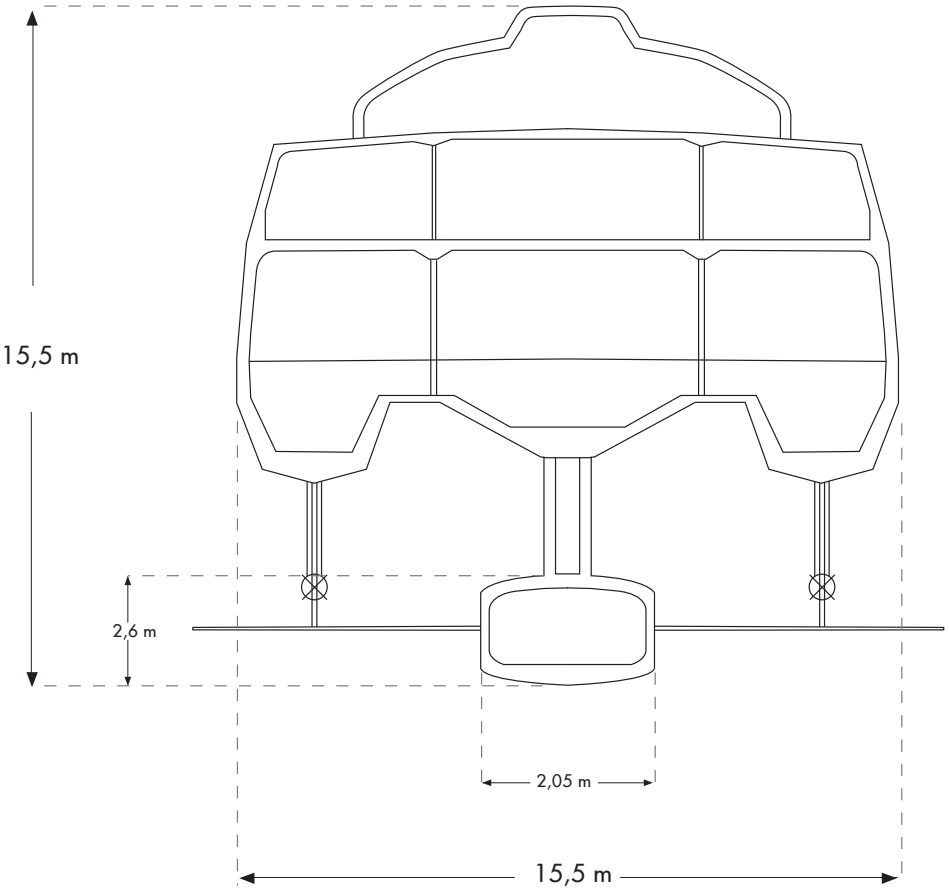


Figura 132. Esquema sección transversal del Aliswath. Fuente: Elaboración propia

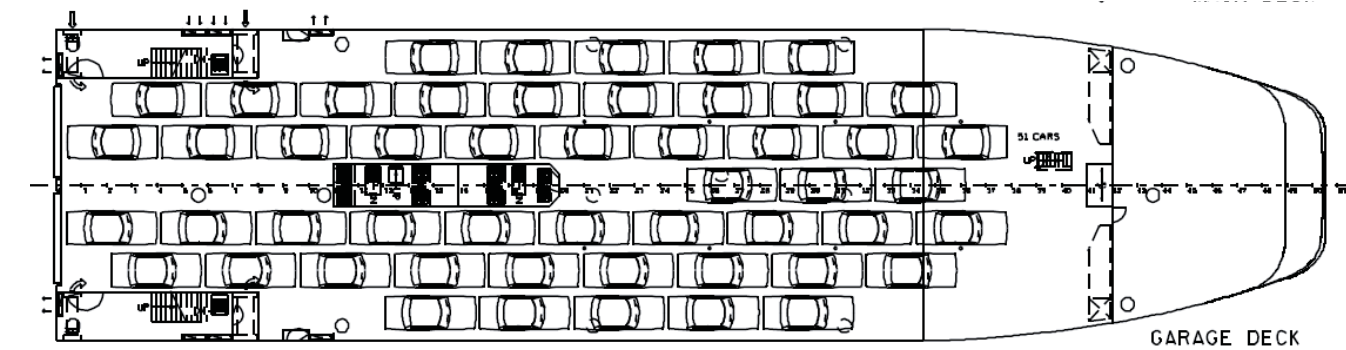
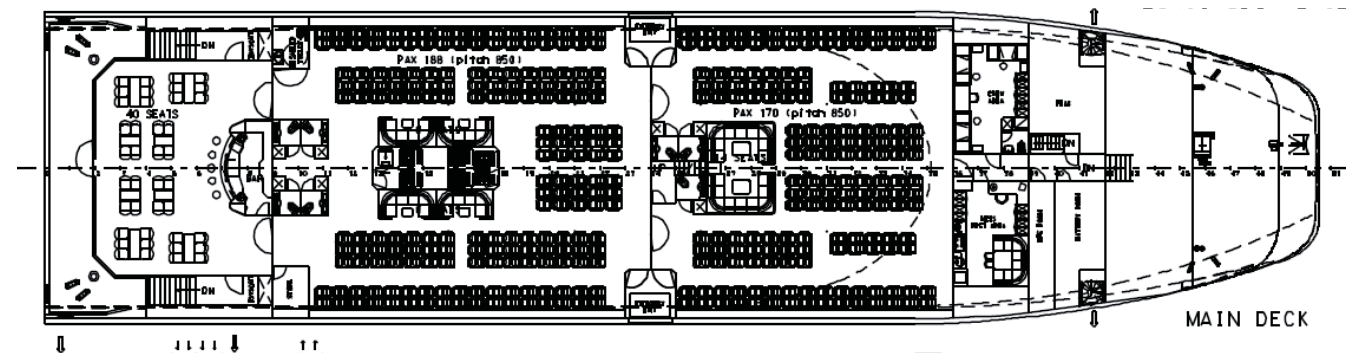
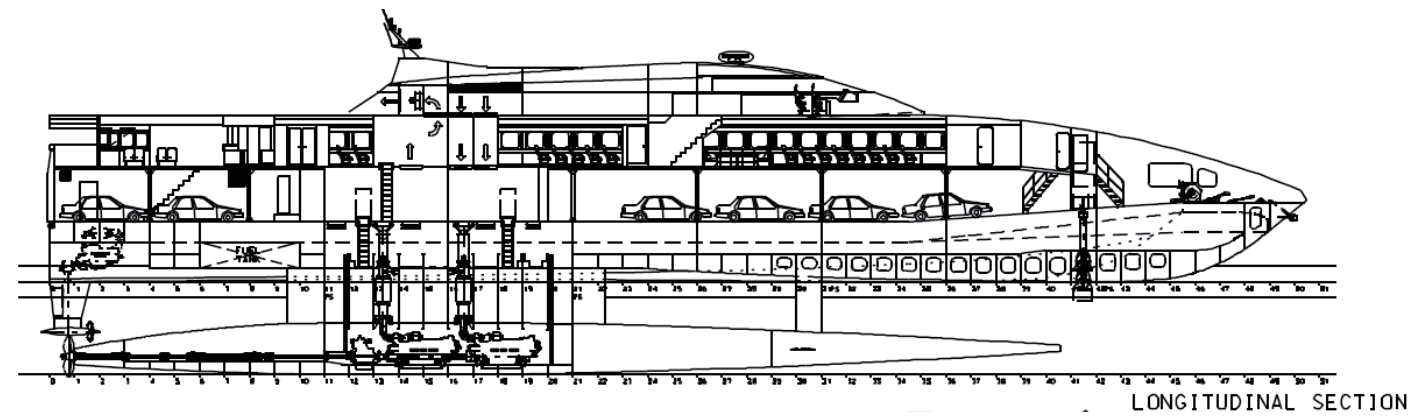


Figura 133. Planos de sección longitudinal, de planta de la cubierta para pasajeros y la cubierta de garage. Fuente: Boote y Mascia, Structural Design of Innovative Passenger Vessel. Departamento de Ingeniería Naval y Tecnología Marina de la Universidad de Génova, Italia. Disponible en: <http://www.icmt07.unina.it/Proceedings/Papers/B/04.pdf>

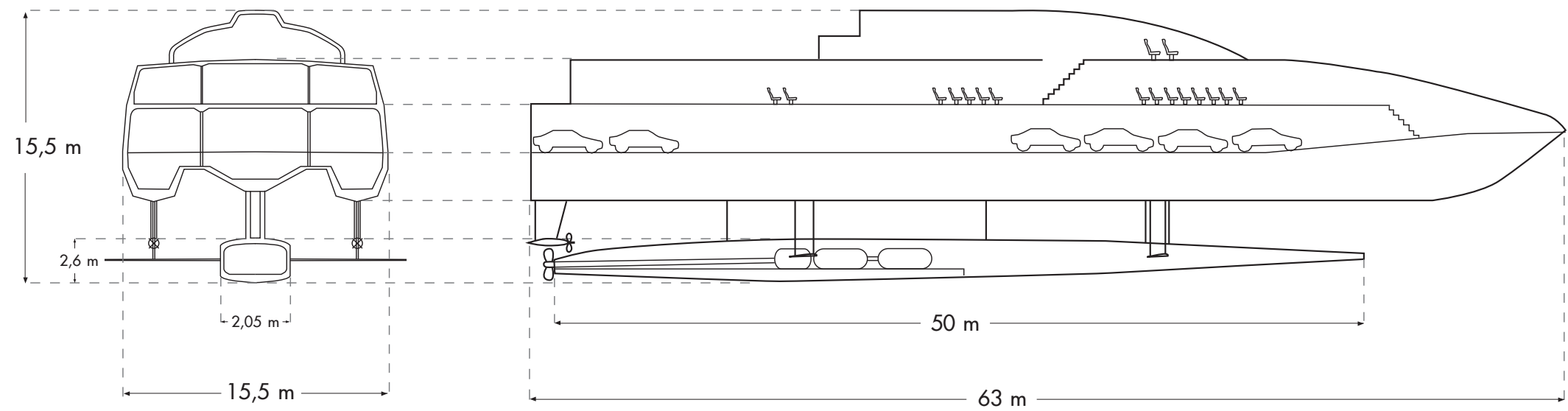


Figura 134. Esquema de las formas y medidas generales del Aliswath. Fuente: Elaboración propia

*En el fundamento técnico de esta tesis se exponen más detalles sobre el Aliswath, sobre su estructura, construcción, etc.

d) Embarcación "The Interflight Hydroflier"

"Este barco comenzó como una manera de hacer una moto acuática con cero emisiones, es decir, con electricidad" (Stevenson Projects)

Es un barco deportivo para hacer acrobacias. El control de la nave es de palo y pedales del timón.

"Al poseer una impulsión mínima de 4 hp, se les ocurrió contar con una parte submarina que aporte boyantes y así levantar parte de la carga, para que las alas no tengan que trabajar tanto. Hicimos esto poniendo una quilla torpedo con una cámara de flotabilidad controlable que podríamos llenar o soplar como un submarino. Flotabilidad variable en la sección sumergida para diferentes pesos del piloto y equipamiento a bordo. Una ventaja añadida de ser capaz de albergar las baterías en la sección torpedo" (Stevenson Projects)



Figura 135. Imágenes del "Interflight Hydroflier ". Fuente: Stevenson Projects. The Interflight Hydroflier. Disponible en: <http://www.stevproj.com/Carz/XBoats2.html>



Figura 136. Imágenes del "Interflight Hydroflier ". Fuente: Stevenson Projects. The Interflight Hydroflier. Disponible en: <http://www.stevproj.com/Carz/XBoats2.html>

VI. Fundamento Creativo

- A. Observación del borde costero de la V Región
- B. La Extensión de la ciudad y el mar
- C. Chile una franja territorial por descubrir desde el Pacífico.

V. Fundamento Creativo

A. Observación del borde costero de la V Región

1. Borde Construido
 - a) Caracterización de las caletas de pescadores
2. Borde Natural
 - a) El borde conformado por bahías
 - b) Aguas semi-interiores habitables
 - c) Conjunto de bahías y puntas
3. Modos de habitar el borde costero en tierra y en mar
 - a) Recorridos de los pescadores
 - b) Recorridos interurbanos
 - c) Recorridos de tierra y mar: uno solo
4. Cuatro grandes unidades del maritorio

B. La extensión de la ciudad y el mar

1. La extensión de la ciudad hacia el mar
2. Extensión estática de la ciudad
3. Embarcaciones como extensión del habitar en la tierra
4. La extensión del mar a la ciudad

C. Chile una franja territorial por descubrir desde el Pacífico.

1. Método para proyectar mapa de elevaciones
2. Visión de las Elevaciones desde el Pacífico

A. Observación del borde costero de la V Región

Para observar la realidad del borde costero se recorre la costa desde el Río Aconcagua hasta el Río Maipo (ver figuras 1 y 2). Se observa con una mirada abierta recogiendo y registrando la realidad desde lo más amplio hasta lo más específico. Viviendo la experiencia del recorrer en locomoción colectiva esta extensión de 84 km app.

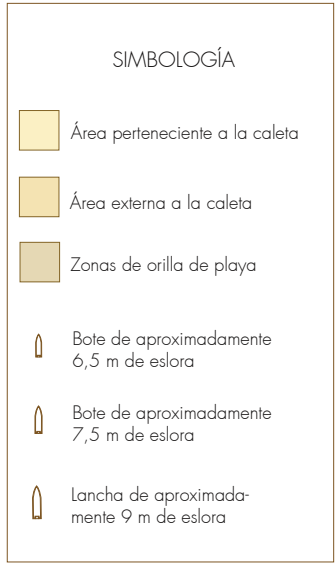
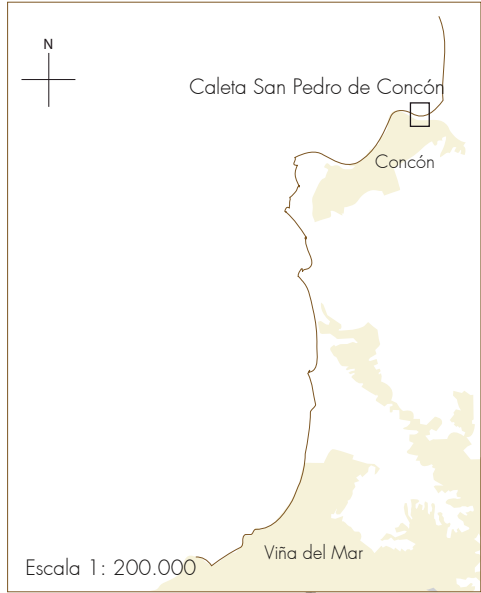
1. Borde Construido

En el viaje que se realizó se visitó cada una de las caletas de pescadores artesanales, dialogando con los pescadores y observando sus características, sus quehaceres y su funcionamiento.

Reparando además en que las caletas son una de las unidades construidas del borde costero más importantes de nuestro país, junto con los pequeños y grandes puertos. Es así como se realiza una ficha que caracteriza a cada caleta del territorio recorrido. Determinando su posición en el territorio, sus instalaciones, su flota, su nivel de abrigo. Dando a conocer la realidad del detalle formal del vínculo que crea el hombre entre su tierra y su mar.

Esta esquematización de cada caleta se realiza en base a la observación en el lugar y en base a planos arquitectónicos.

a) Caracterización de las caletas de pescadores



Caleta San Pedro de Concón

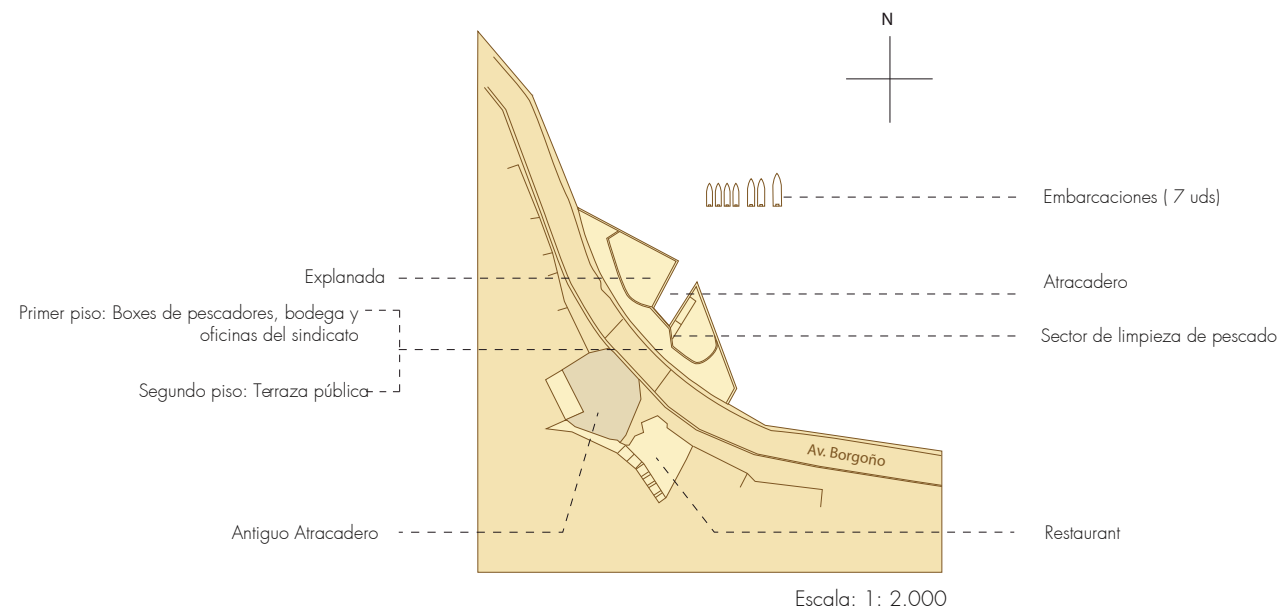


Figura 137. Esquema de la Caleta San Pedro de Concón.
Fuente: Elaboración propia

Caleta Higuierillas

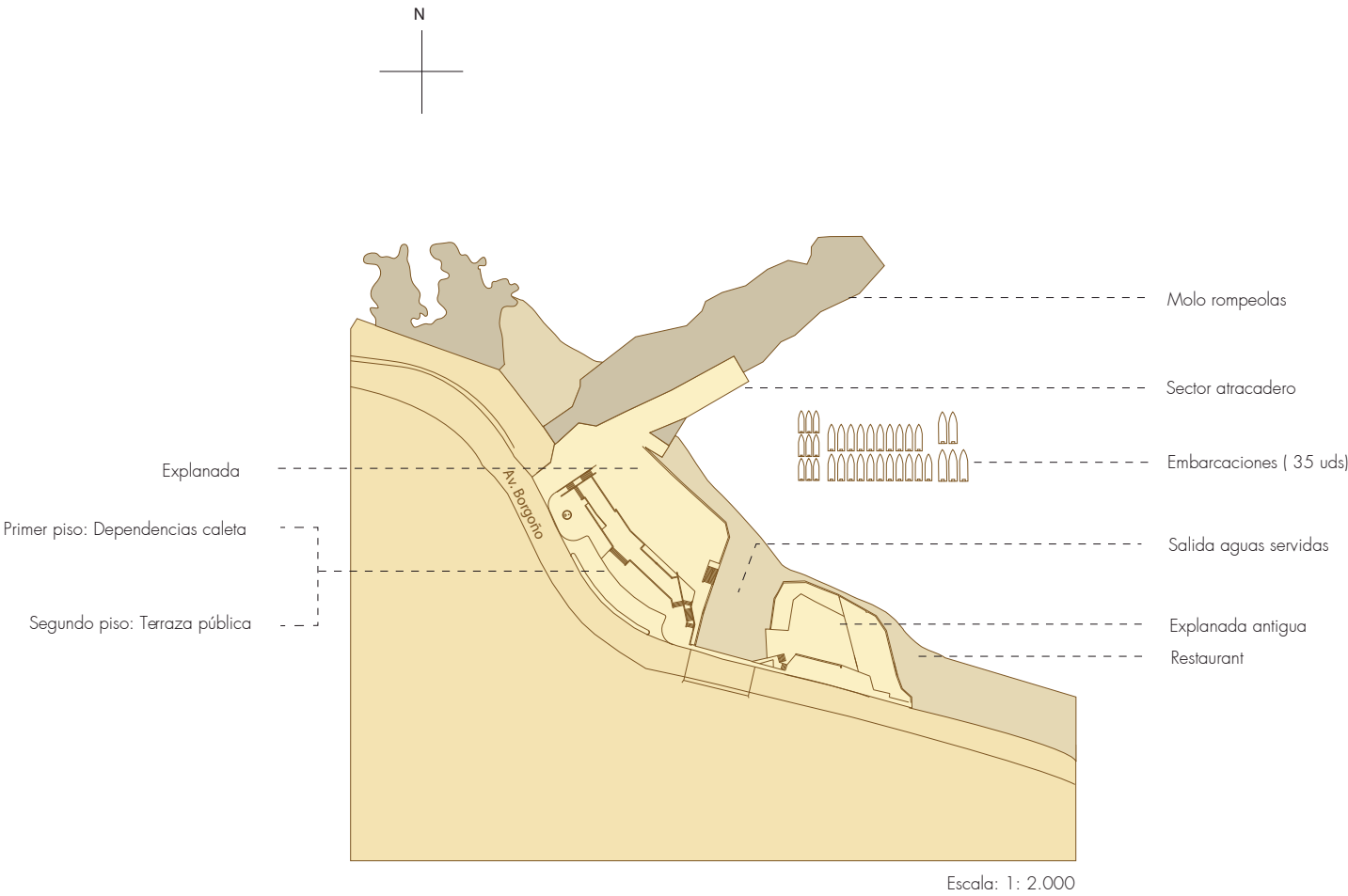
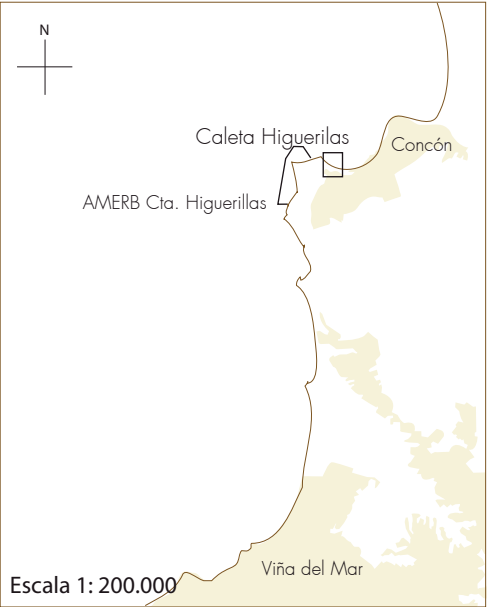
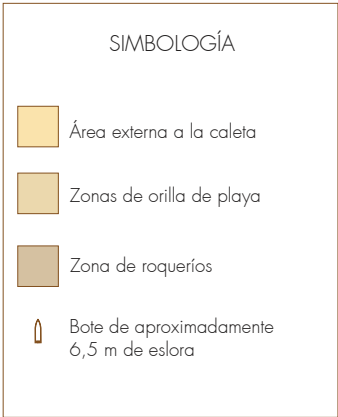
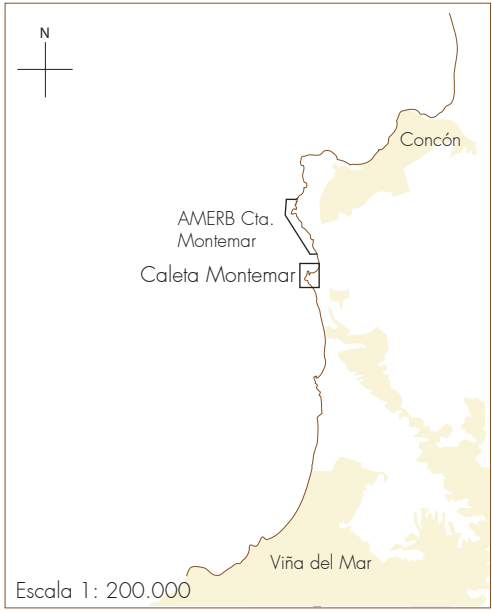


Figura 138. Esquema de la Caleta Higuierilla.
Fuente: Elaboración propia



Caleta Montemar

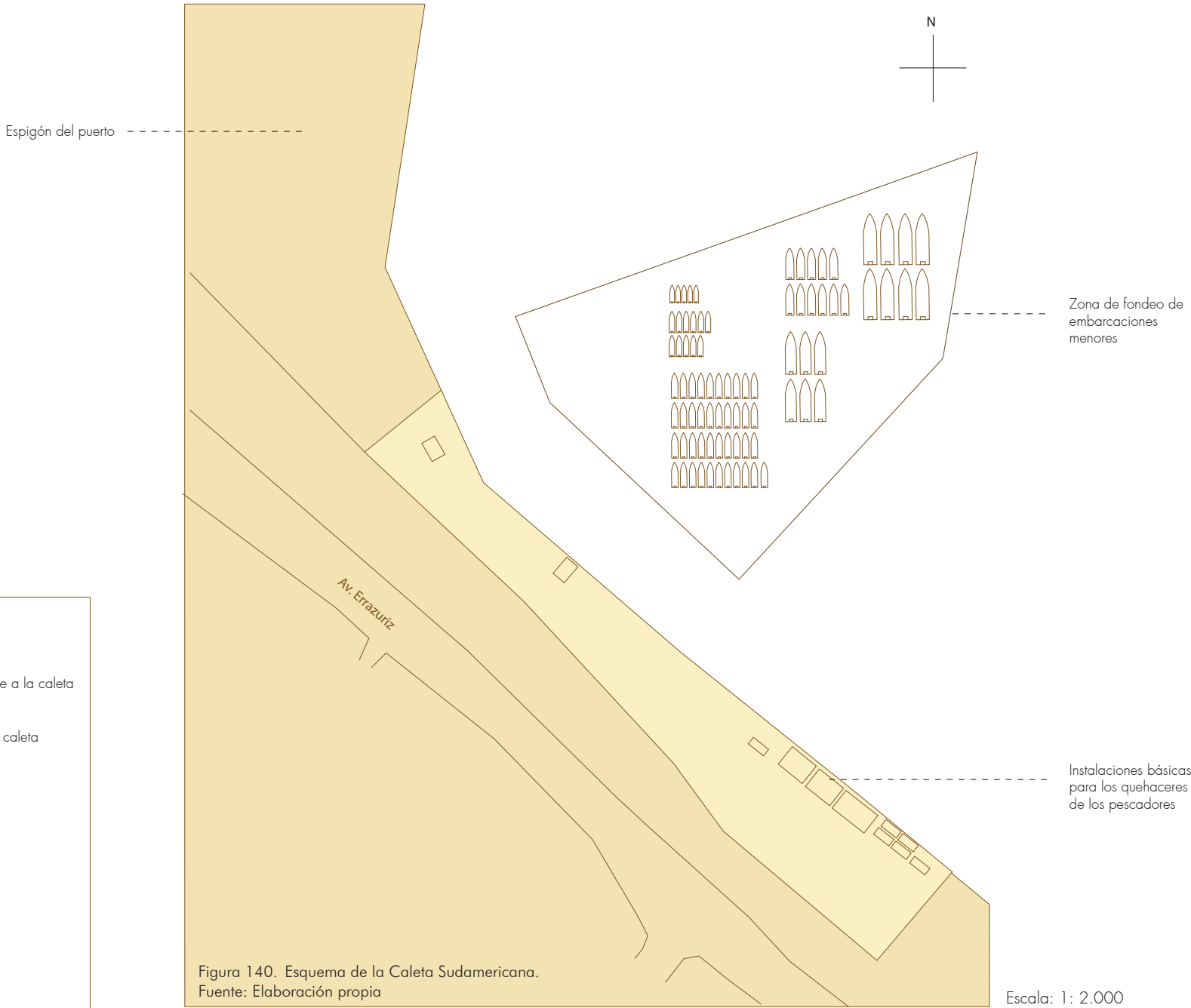


Figura 139. Esquema de la Caleta Montemar.
Fuente: Elaboración propia

Caleta Sudamericana



SIMBOLOGÍA	
	Bote de aproximadamente 6,5 m de eslora
	Bote de aproximadamente 7,5 m de eslora
	Bote de aproximadamente 9 m de eslora
	Bote de aproximadamente 11 m de eslora
	Lancha de aproximadamente 15 m de eslora
	Lancha de aproximadamente 18 m de eslora
	Área perteneciente a la caleta
	Área externa a la caleta



Caleta Portales

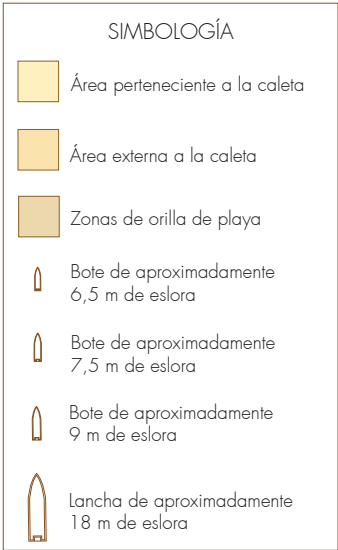
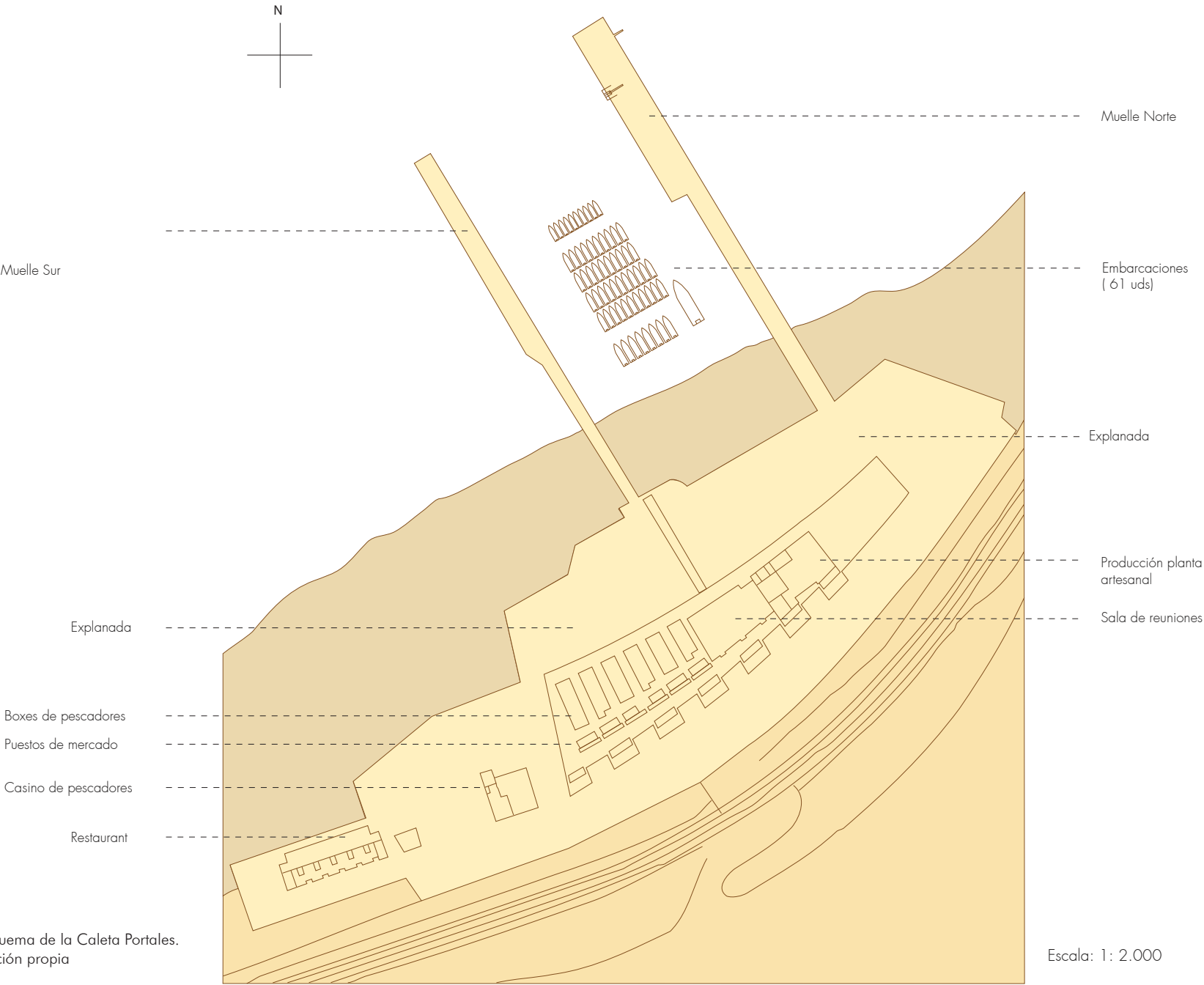


Figura 141. Esquema de la Caleta Portales.
Fuente: Elaboración propia



Caleta El Membrillo

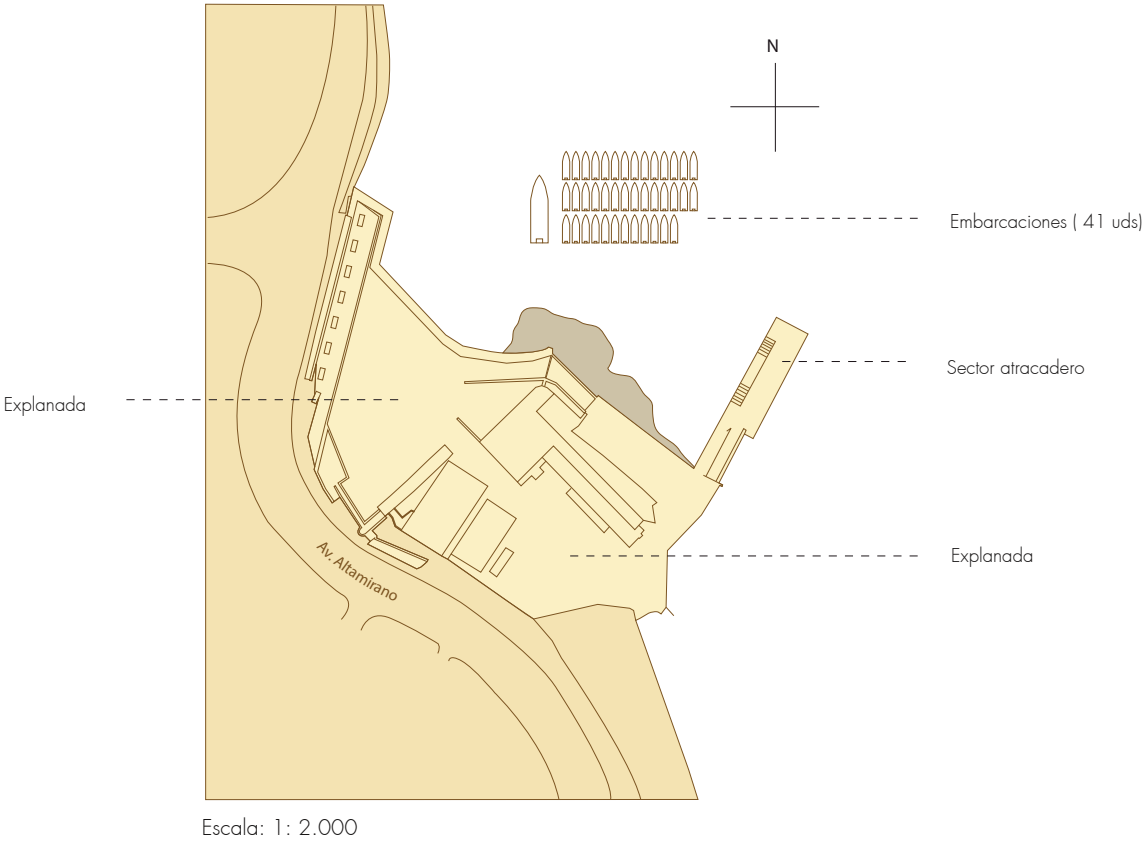


Figura 142. Esquema de la Caleta Membrillo
Fuente: Elaboración propia

Caleta Laguna Verde

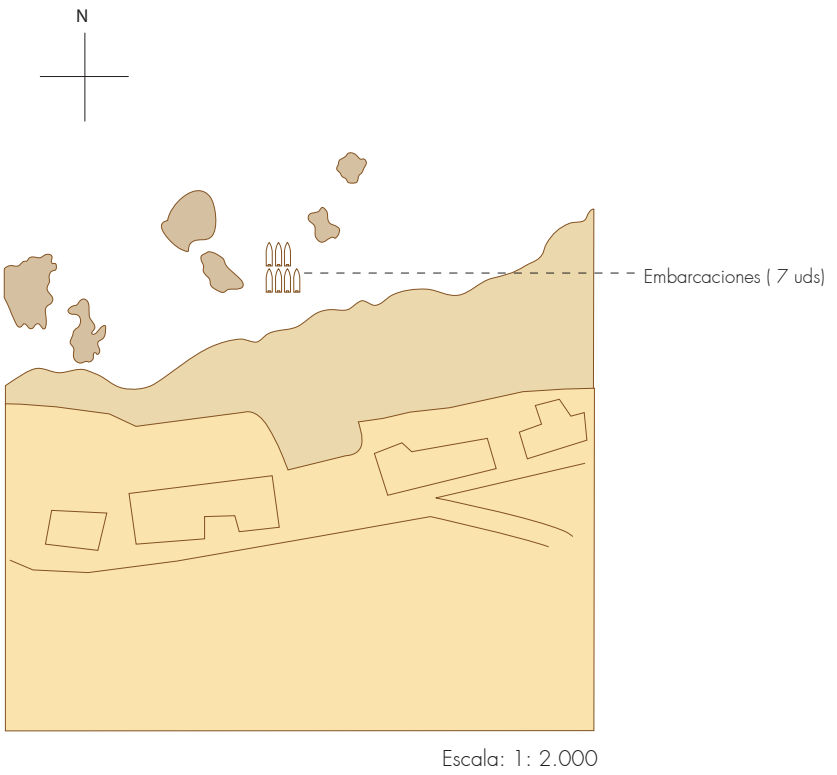
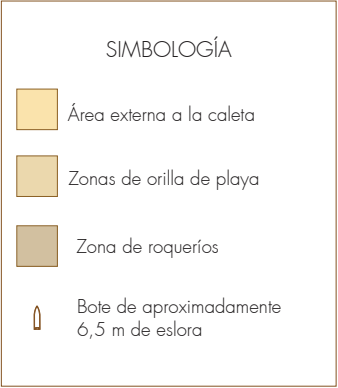


Figura 143. Esquema de la Caleta Laguna Verde
Fuente: Elaboración propia

Caleta de Quintay

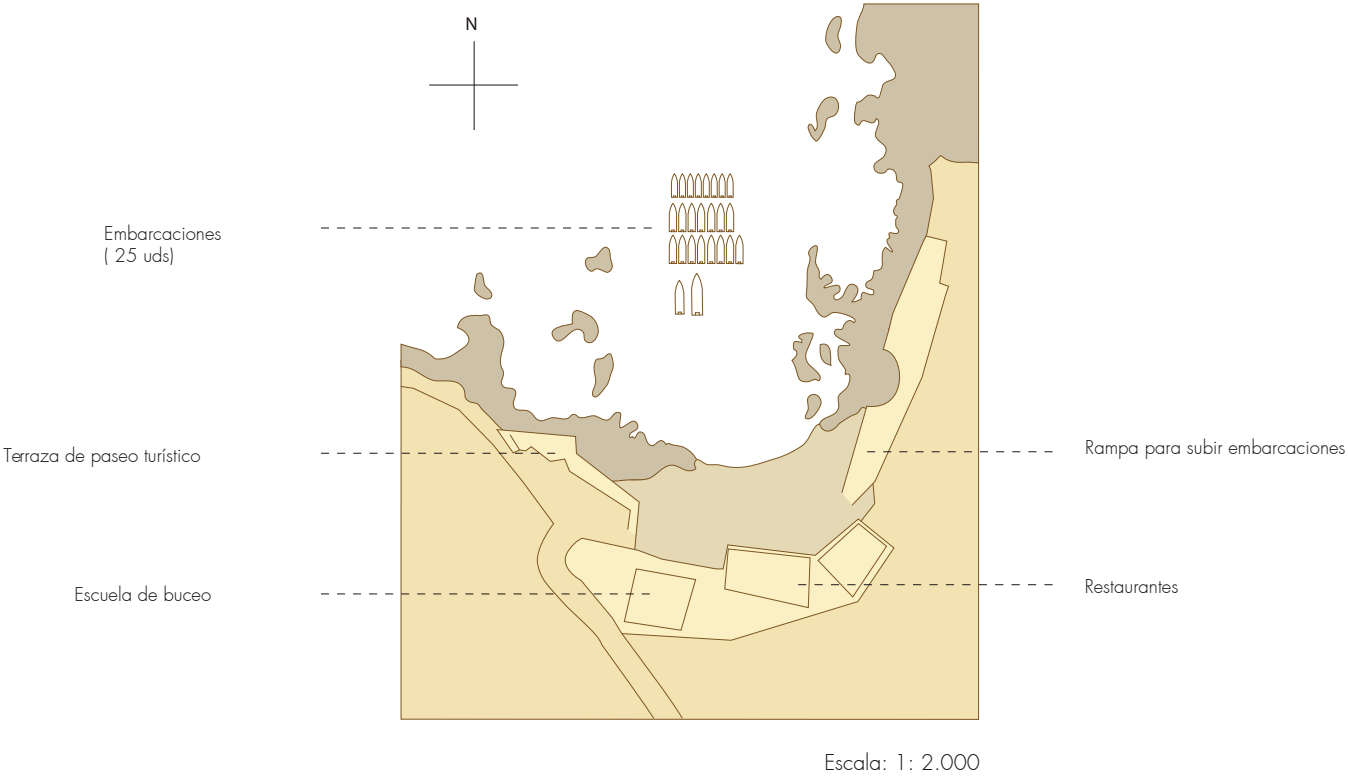
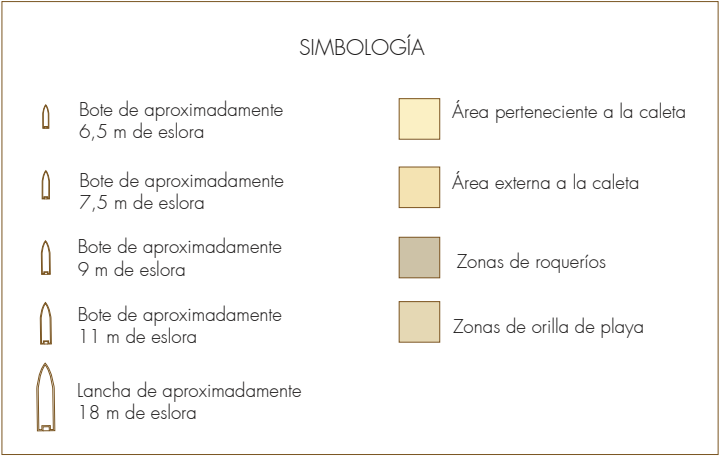
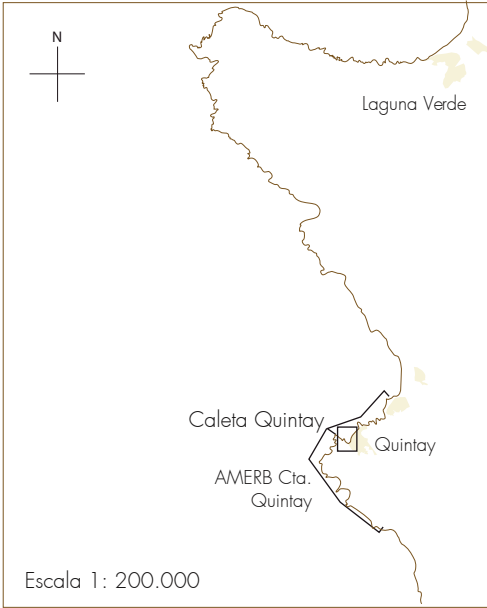


Figura 144. Esquema de la Caleta Quintay.
Fuente: Elaboración propia

Caleta de Algarrobo

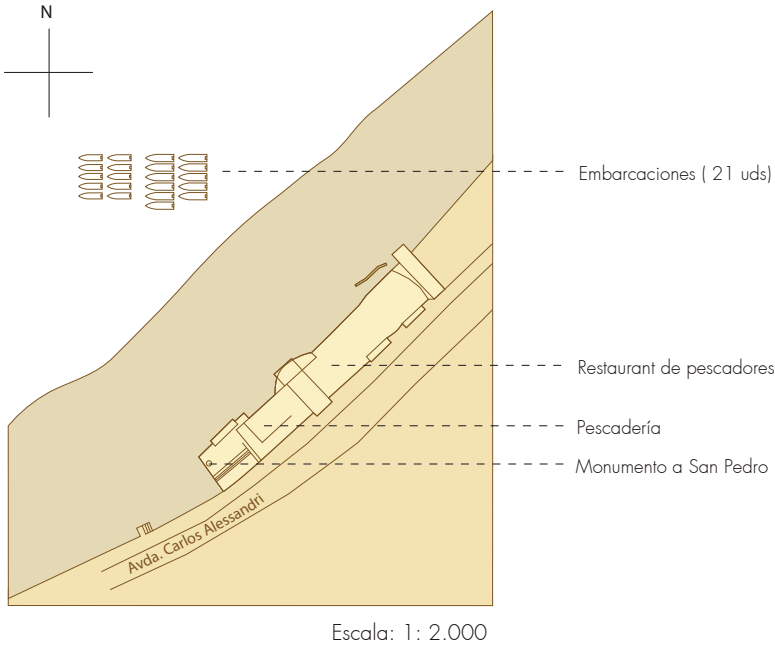
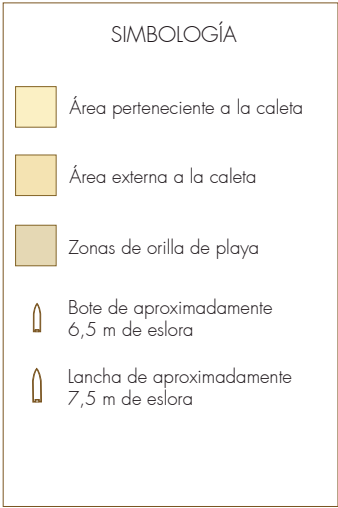


Figura 145. Esquema de la Caleta de Algarrobo
Fuente: Elaboración propia

Caleta El Quisco

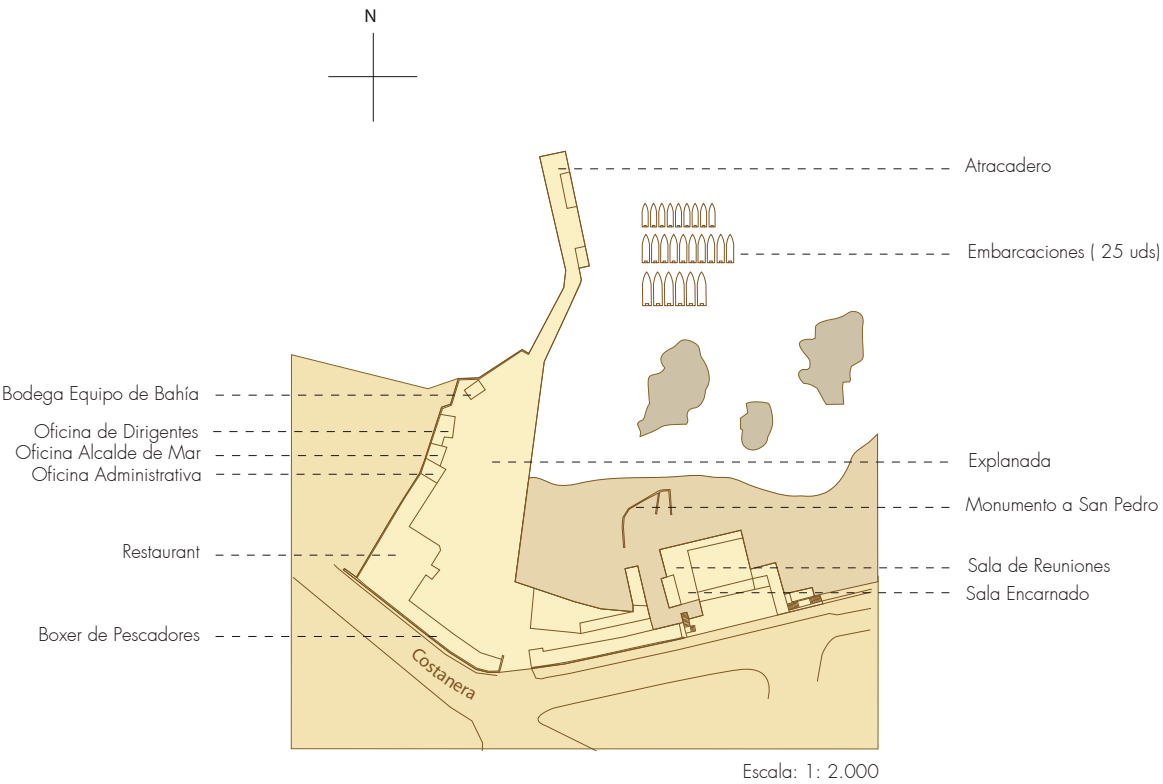


Figura 146. Esquema de la Caleta El Quisco.
Fuente: Elaboración propia

Caleta Las Cruces

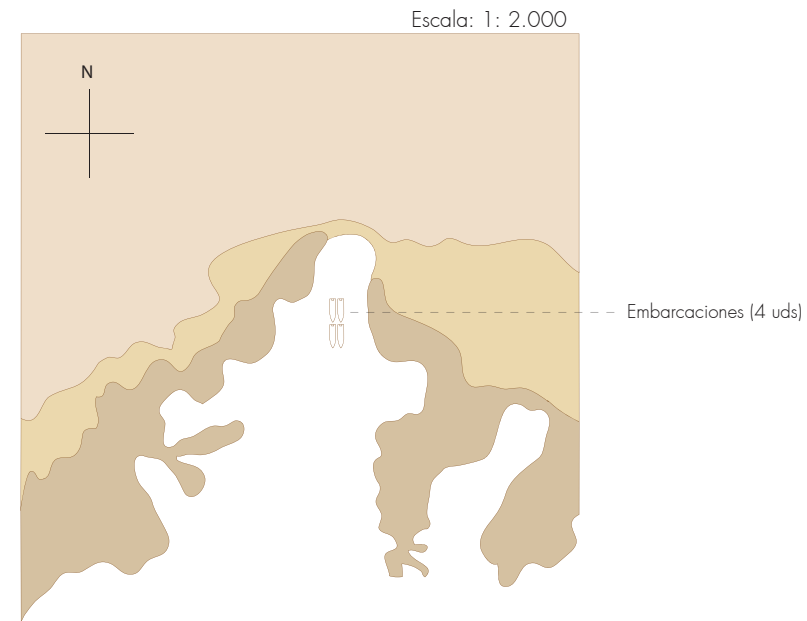
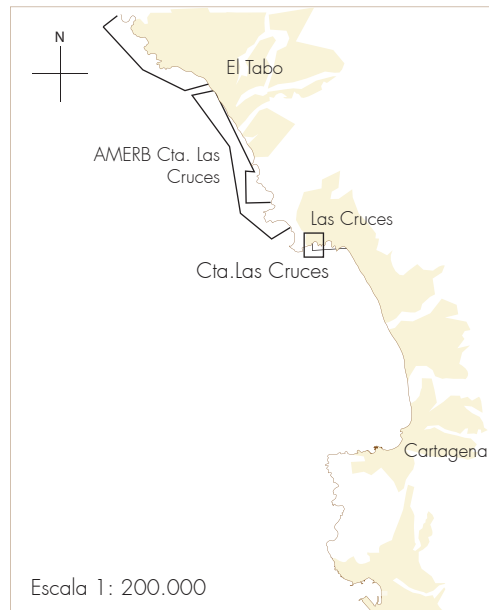


Figura 147. Esquema de la Caleta Las Cruces
Fuente: Elaboración propia

Caleta San Pedro de Cartagena

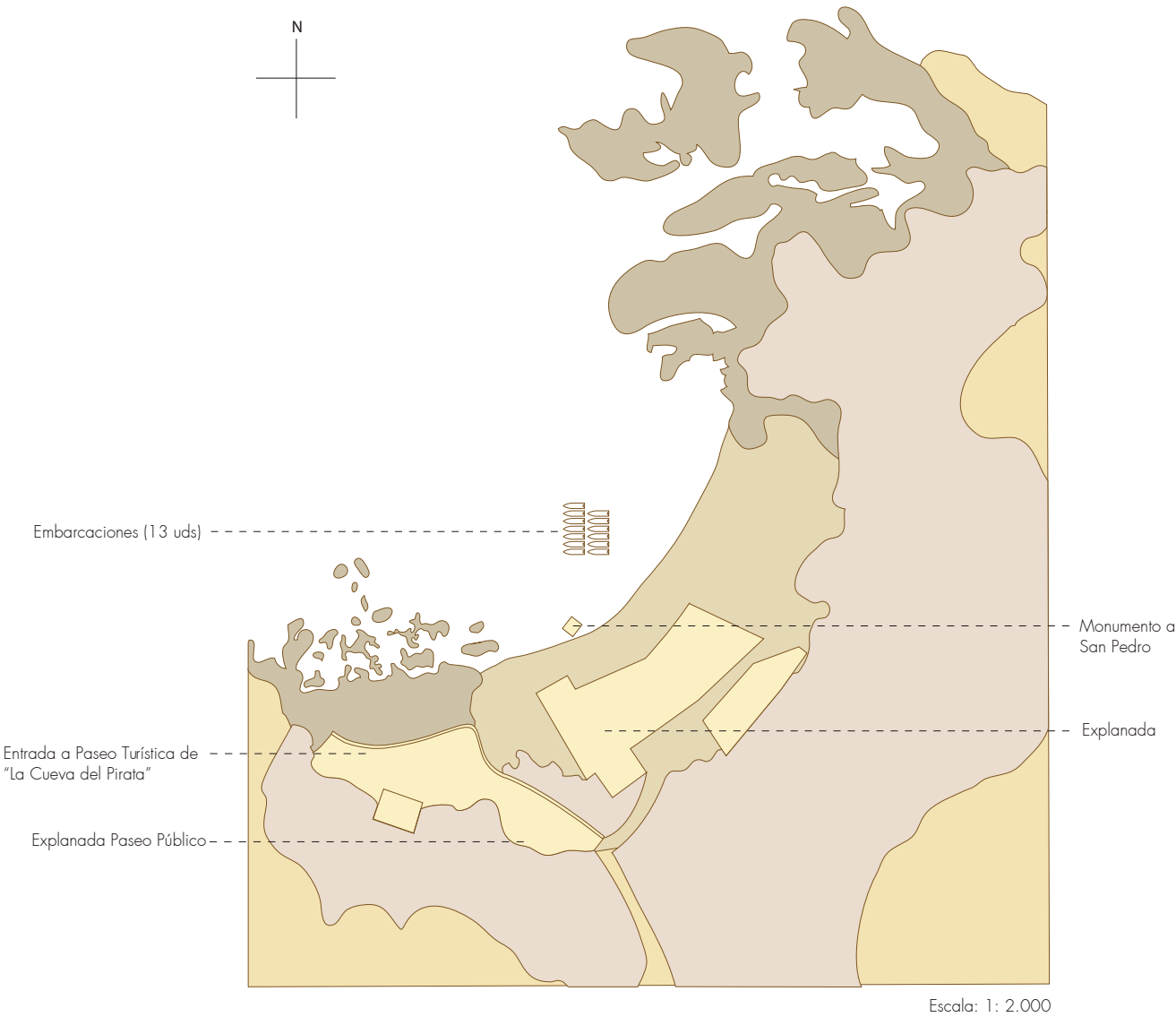


Figura 148. Esquema de la Caleta San Pedro de Cartagena
Fuente: Elaboración propia

Caleta Pacheco Altamirano

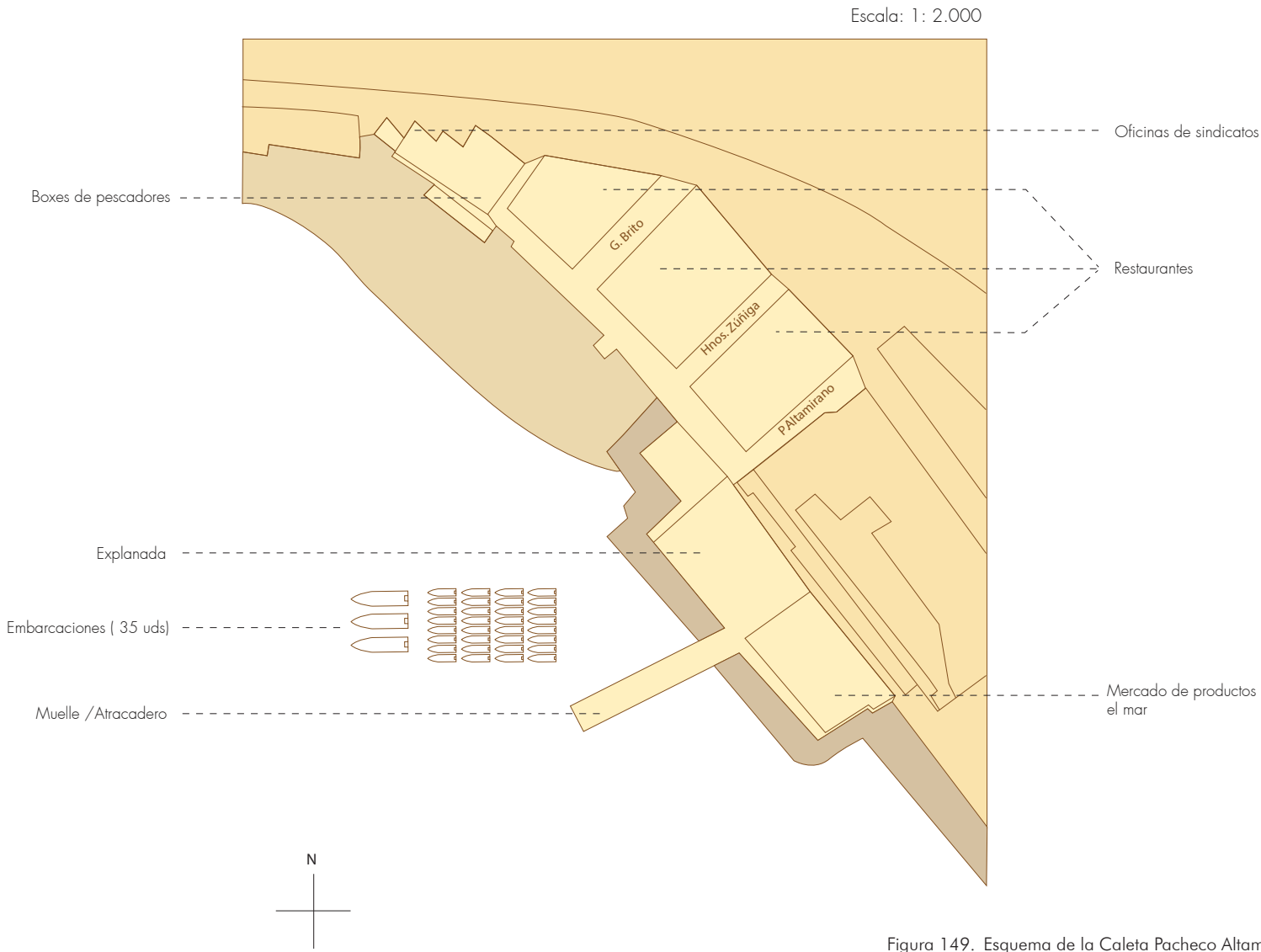
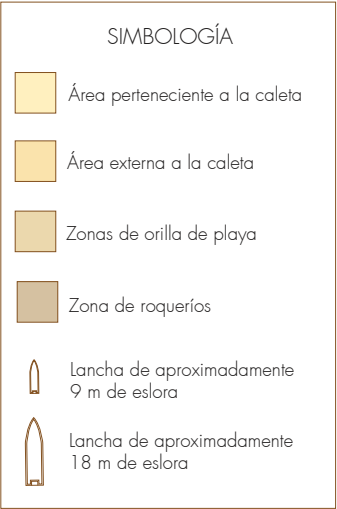


Figura 149. Esquema de la Caleta Pacheco Altamirano
Fuente: Elaboración propia

Puerto Pesquero Puertecito

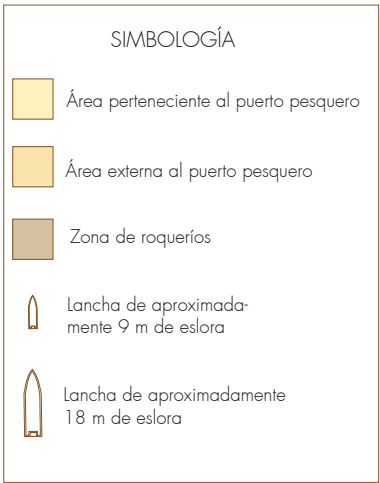
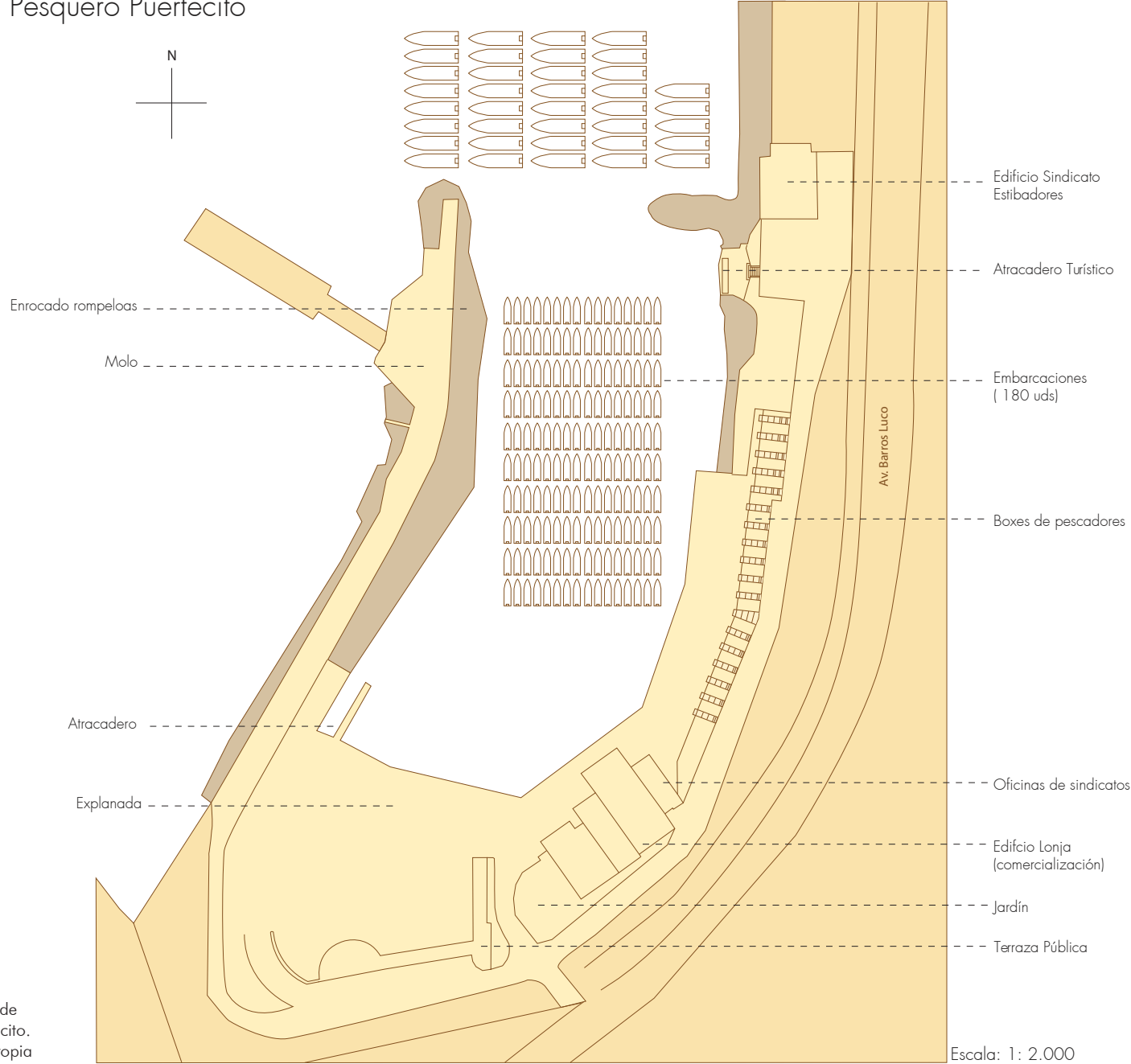


Figura 150. Esquema de Puerto Pesquero Puertecito. Fuente: Elaboración propia



2. Borde Natural

Como parte del estudio de análisis del territorio general del borde costero, se observa también el borde natural, que corresponde al borde que no ha sido intervenido por el hombre. A continuación se exponen dibujos de las costas de las distintas regiones de Chile, todos hechos con el mismo grado de detalle, con el fin de compararlas.

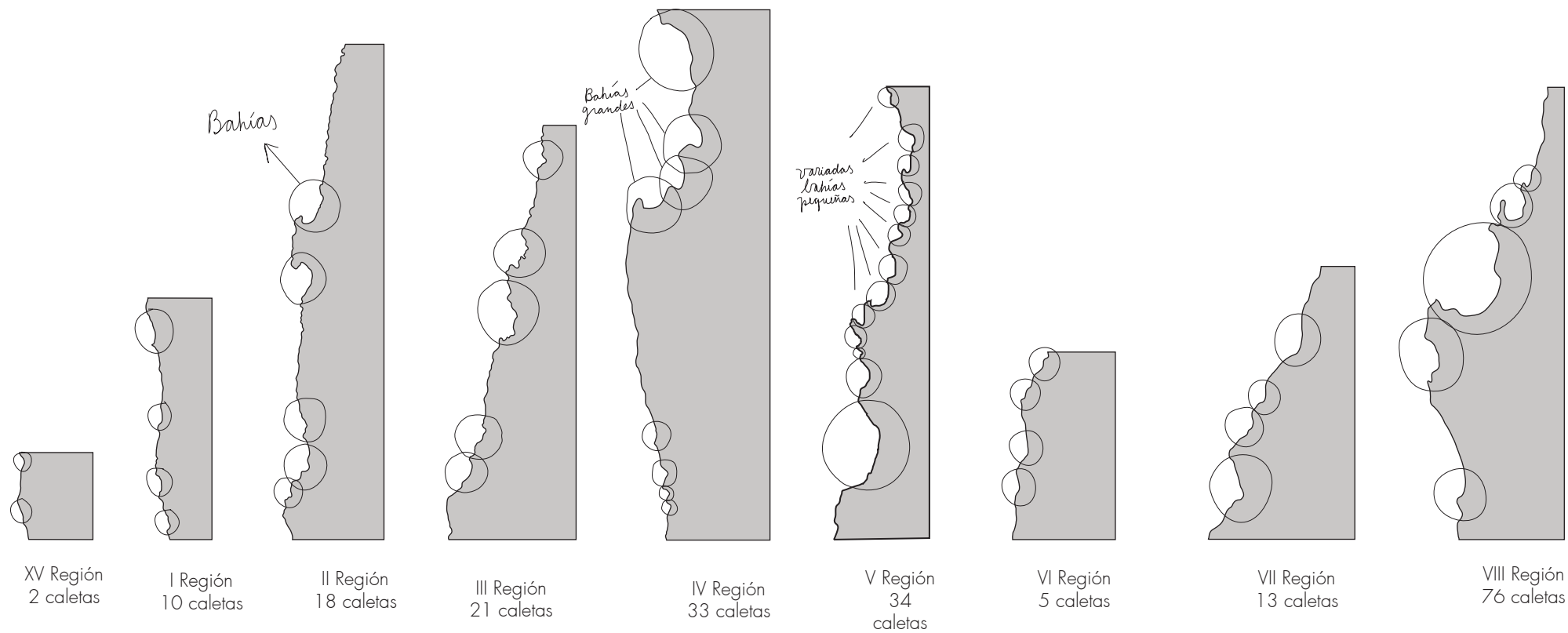
a) El borde conformado por bahías

Cada uno de estos dibujos corresponden al fragmento de costa de cada región de Chile, demarcando las bahías que poseen cada una. La V Región posee alrededor de 13 bahías bien pronunciadas, se destaca dentro de las regiones centrales por esta característica.

Nos podemos dar cuenta que la V Región posee una gran cantidad de puntas de tierra que se adentran en el mar y una gran cantidad de bahías protegidas. Esta característica también se encuentra en la XVIII Región y desde la X hacia el sur. Es decir en la zona central, la V Región es una de las pocas que posee esta característica.

Este distingo que posee la región da paso a pensar que hay unas ´aguas interiores abrigadas´ que podrían permitir una navegación más tranquila. La cantidad de caletas por región varía según la presencia de recursos pesqueros, y en estos esquemas se puede ver que depende de la extensión del territorio, y por la cantidad de bahías que presenta la costa, ya que éstas proveen de mares más abrigados aptos para el embarque y desembarque.

Cada uno de los siguientes dibujos corresponden al fragmento de costa de cada región de Chile, demarcando las bahías que poseen cada una. La V Región posee alrededor de 13 bahías bien pronunciadas, se destaca dentro de las regiones centrales por esta característica.



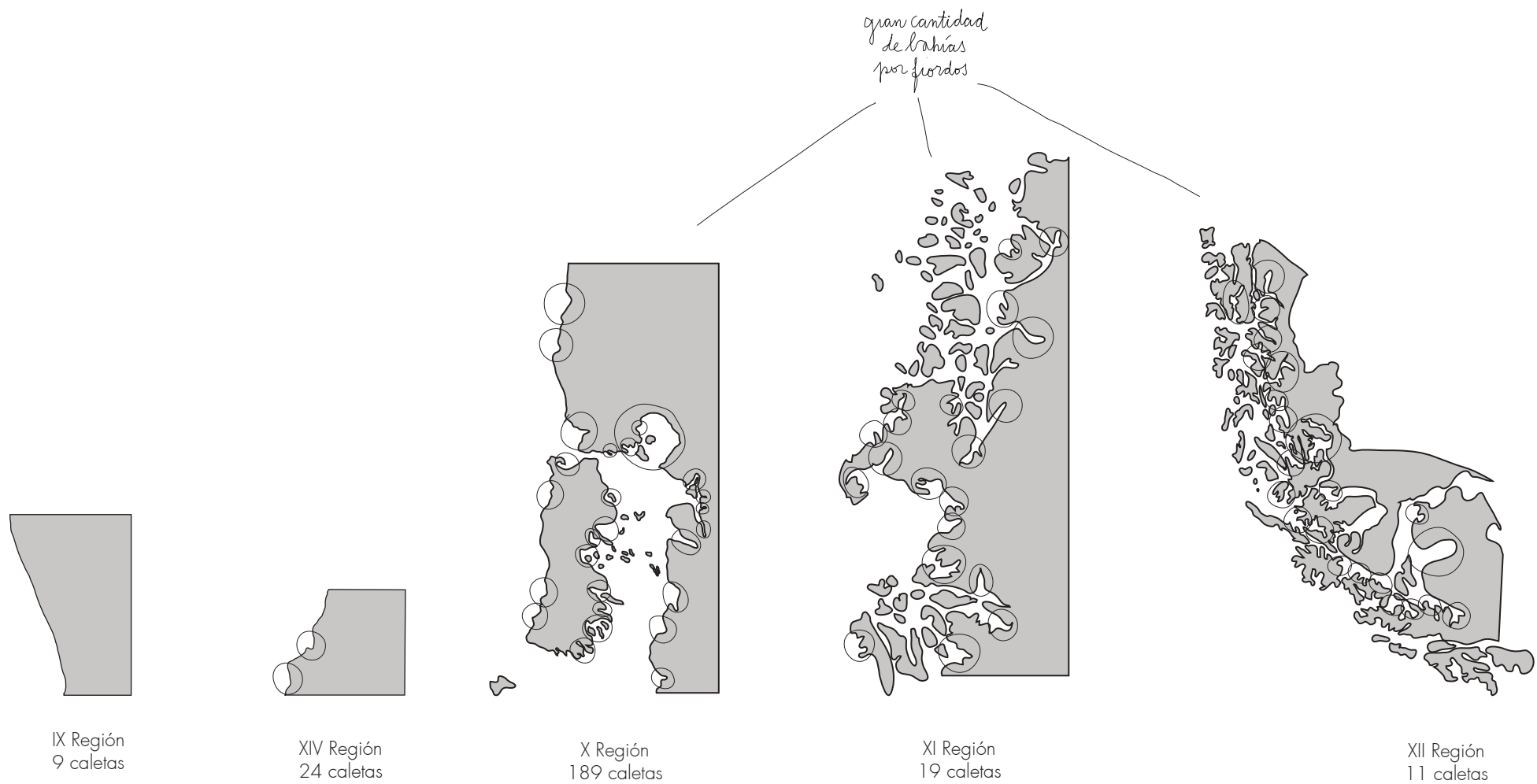


Figura 151. Fragmentos de costa de cada una de las regiones de Chile.
Fuente: Elaboración propia

b) Las aguas semi-interiores habitables

Hay una variedad de bahías en la región que hacen que el mar contenga unas aguas protegidas, tal como pasa en muchas de las aguas interiores. Se podrían considerar estas aguas como aguas semi-interiores que nos entregan la tranquilidad y el abrigo.



Figura 152. Aguas semi-interiores de la costa de la V Región. Fuente: Elaboración propia

c) Conjunto de bahías y puntas

Se realiza un esquema del borde costero de la V Región, abstrayendo la forma natural de la línea del borde.

El borde costero se resume en dos unidades: bahías y puntas, aludiendo a la morfología de variadas bahías observada en nuestra costa.



Figura 153. Borde costero , un conjunto de bahías y puntas.
Fuente: Elaboración propia

En el siguiente mapa, se observa en color café los espacios que la ciudad ocupa en el territorio. Hay dos grandes conurbaciones, la de Valparaíso, Viña del Mar, Concón y la segunda la de Algarrobo, El Quisco, El Tabo, Las Cruces, San Antonio, Lloleto.

En el mapa superior se ve la “mancha” de la ciudad con una forma muy similar a la real, mientras que en el mapa inferior las ciudades se grafican como “manchas radiales”, aludiendo a la forma que se expande la ciudad entorno a su bahía



Figura 154. Vista de planta abstracción del borde costero y sus ciudades.
Fuente: Elaboración propia

3. Modos de habitar el borde costero en tierra y en mar

a) Recorridos de los pescadores

Con la intención de entender cómo es el habitar en el borde costero, nos detenemos en el modo de recorrer el mar que tienen los pescadores, entendiendo cuáles son sus radios de acción en el mar.

El habitar de los pescadores es un habitar de continuo movimiento, desplazándose libremente. El territorio de ellos no tiene un lugar establecido, sin embargo se pueden hacer aproximaciones a zonas en las cuales ellos pescan. Este esquema desarrollado en base a los testimonios de los pescadores, nos muestra que su habitar del mar abarca grandes distancias.

Los radios de desplazamiento de los pescadores de cada caleta se traslapan, lo que demuestra que el territorio no está subdividido en terrenos particulares o en parcelaciones para cada caleta. Lo que se esquematizan son radios de desplazamiento, no rutas definidas ni delimitadas. Los pescadores de las caletas que más lejos llegan recorren unas 11 millas a mar adentro. Y corresponden a las caletas que poseen una mayor capacidad de flota.

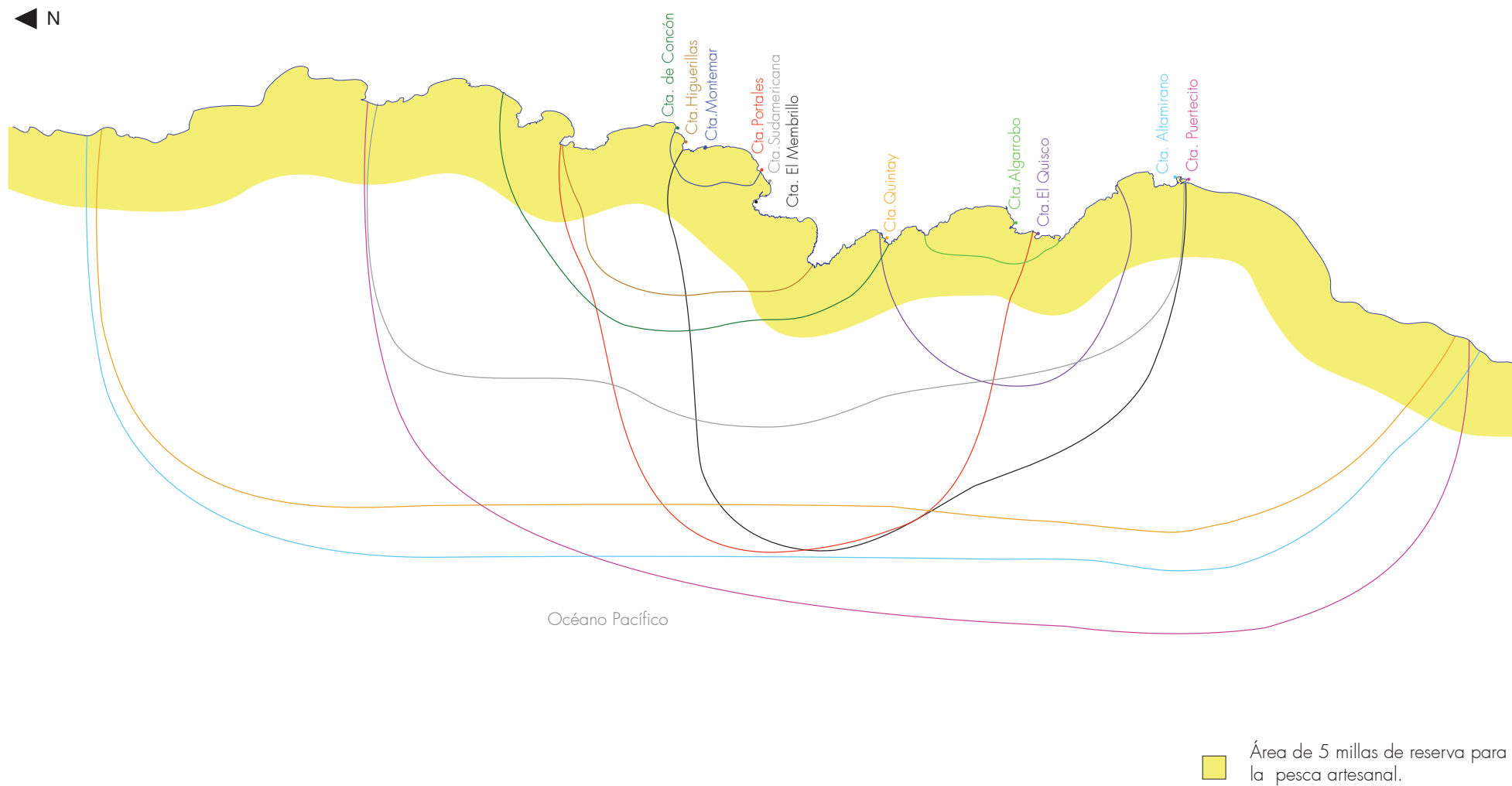


Figura 155. Territorio marítimo de los pescadores de las caletas zona centro - sur de la V Región.
Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por los pescadores

b) Recorridos interurbanos

En el siguiente esquema se puede ver la conectividad observada en el borde costero. Por un lado se ve la conectividad terrestre (vías vehiculares) y por otro lado la conectividad de la ciudad - caleta - mar.

Los recorridos en la ciudad están totalmente delimitados, lo opuesto a lo que ocurre en el mar. En tierra los límites son sólidos y tangibles, como cerros, ríos, quebradas, etc. En el mar si bien es mucho menos delimitado, existen otros elementos que restringen el recorrer, como por ejemplo las corrientes, los bajos, el viento, etc.

La caleta es la unidad que une estas dos realidades, porque une el recorrer de la ciudad, en la tierra, con el recorrer en el mar. En la mayoría de los casos las caletas están ubicadas en el centro de la ciudad. Lo que la posiciona en una situación ideal de conexión entre la ciudad y el mar.

En línea punteadas presentan los caminos y carreteras principales que conectan el borde costero. Se puede apreciar que hay sectores que no poseen conexión por la costa, por ejemplo el sector entre Valparaíso y Quintay, entre Horcón y Maitencillo, entre Laguna Verde y Quintay.

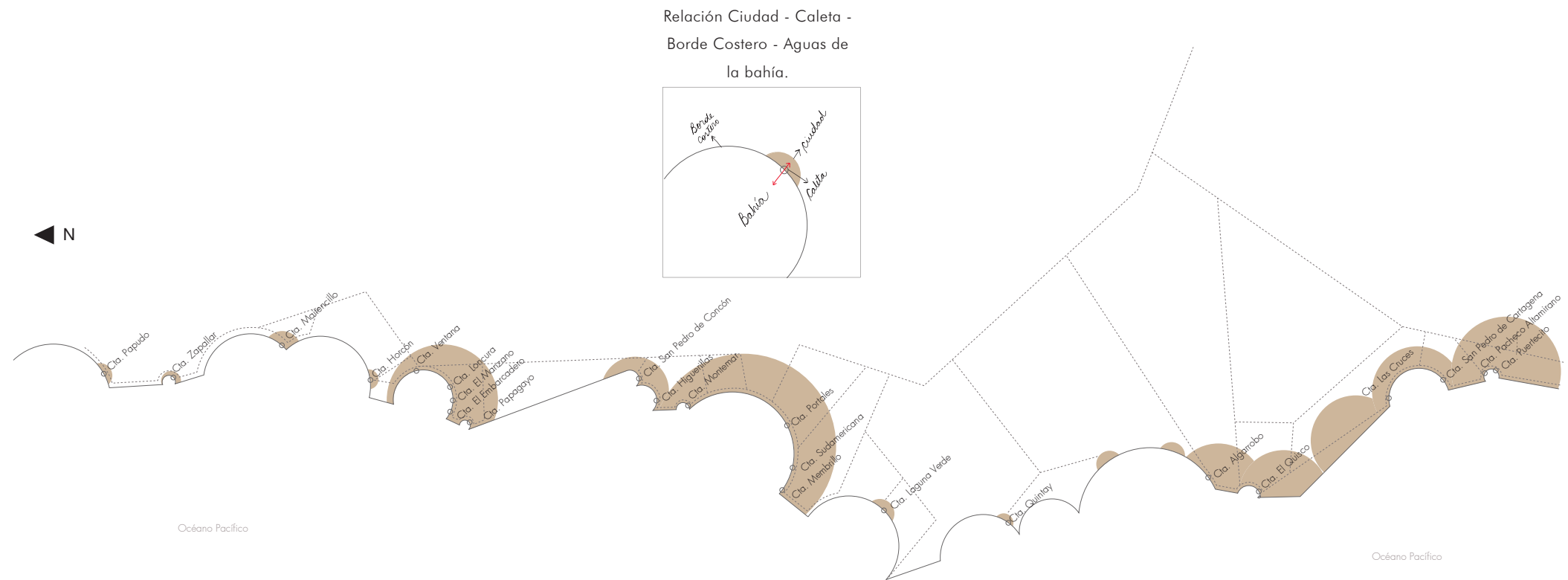


Figura 156. Mapa abstracción de conectividad en el borde costero.
Fuente: Elaboración propia

c) Recorridos de tierra y mar: uno solo

Se piensa el borde costero considerando su parte de tierra y su mar. Resulta un espesor de recorridos que tiene como eje la línea de costa.

En el sistema de transporte marítimo se intenta crear una estructura de los recorridos, basándose en las paradas que haría la embarcación. Similar a lo que ocurre en tierra. También reconoce ciertos factores de navegación, como por ejemplo la distancia entre la embarcación y el borde. Estos recorridos deben ser analizados con mayor detención, lo que amerita un estudio específico a cerca de las condiciones marítimas propias del lugar. Sin embargo se propone una forma de recorrer el mar, con paradas en puntos conectores y graficado con las líneas rectas, ya que se pretende mostrar los trayectos más directos y cortos entre las caletas.

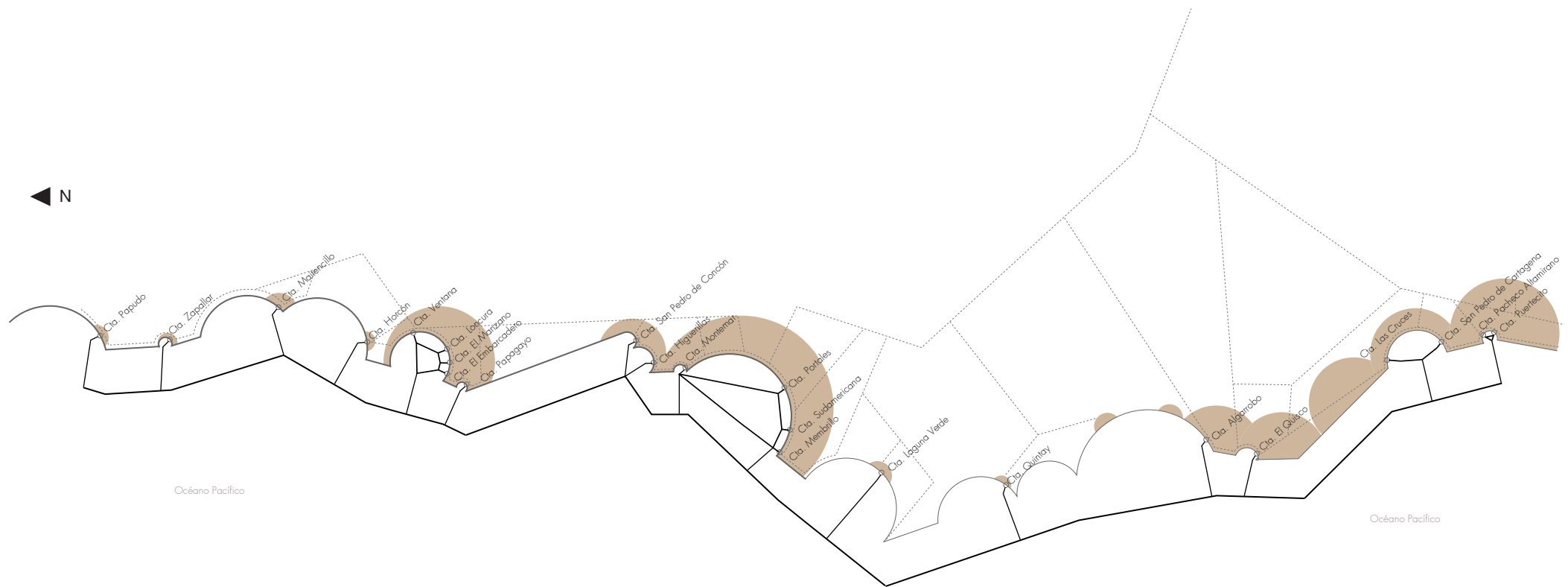


Figura 157. Mapa abstracción de conectividad en el borde costero.
Fuente: Elaboración propia

4. Cuatro grandes unidades del maritorio

Las actividades ocio-turísticas, deportes, celebraciones, reservas naturales, monumentos, etc son parte de las virtudes que trae consigo la zona costera. Y muchas de estas características físicas, turísticas, históricas o culturales le dan una identidad al territorio. Lo que permite ir entendiendo los nombres de las caletas, las bahías o sectores.

Con el sentido de descubrir este mar y fundar un nuevo modo de habitarlo, es que aparecen nuevas unidades, las que llamamos “Grandes Bahías”. Se nombra así a un conjunto de pequeñas bahías que forman una bahía mayor. Estas están diferenciadas por el color en el esquema. Y como parte del reconocimiento de estas nuevas unidades, es que se les da un nombre específico a cada una de ellas, aludiendo a sus características que la identifican.

Las grandes bahías se definen por su disposición en el espacio, es decir varias bahías colindantes se agrupan para formar una gran bahía. Cada gran bahía posee una caleta o puerto principal: La Gran Bahía de las Antiguas Caletas tiene como puerto principal el de Quintero, la Gran Bahía de las Ciudades posee el puerto de Valparaíso, La Gran Bahía de los Deportes tiene a la Caleta de Algarrobo y por último, la Gran Bahía de los Artistas posee el Puerto de San Antonio.

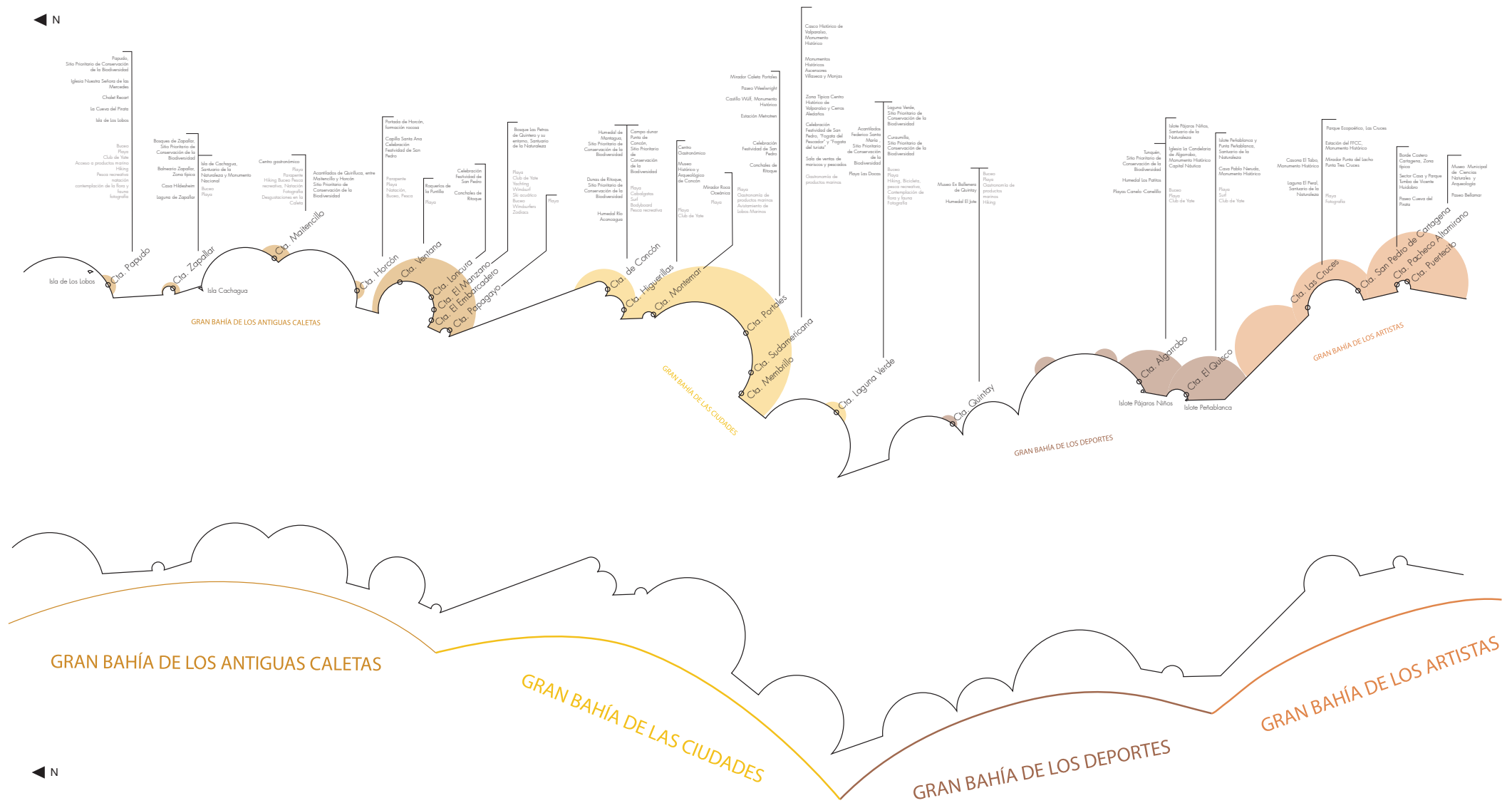


Figura 158. Mapa atracciones el borde costero y nombres de las grandes bahías.
Fuente: Elaboración propia

B. La extensión de la ciudad y el mar

Entorno al estudio del borde costero, se llega a la premisa de que existen dos extensiones en el encuentro tierra-mar. La primera es la extensión de la ciudad al mar y la segunda la extensión del mar a la ciudad.

1. La extensión de la ciudad hacia el mar

Las ciudades del borde costero se vuelcan totalmente hacia la costa, adquiriendo una extensión entorno a su bahía (de forma radial). Evidenciándose así una relación entre la forma que adquiere la ciudad y la forma de la bahía que la contiene. En el siguiente mapa se puede observar lo que se plantea anteriormente.

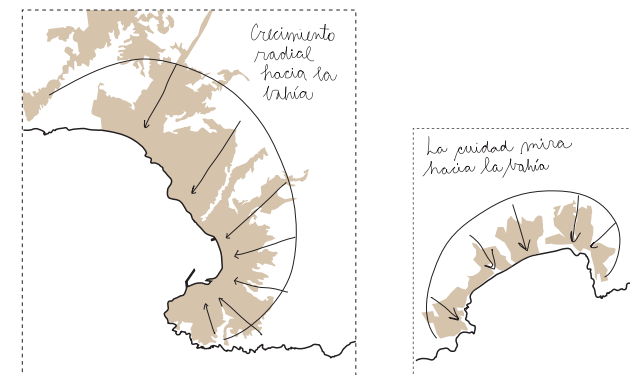


Figura 159. Crecimiento de la ciudad al mar.
Fuente: Elaboración propia

2. La extensión estática de la ciudad

El mar constituye un espacio perteneciente a la ciudad que posee una extensión mayor, los elementos se encuentran distantes y el horizonte aparece. Esta parte marítima de la ciudad de Valparaíso está constituida en su mayoría por grandes embarcaciones comerciales que normalmente se encuentran detenidas, dándole estaticidad al espacio marítimo de la ciudad.

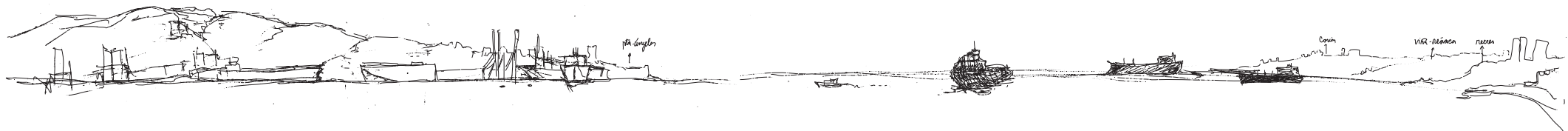


Figura 160. Croquis de la bahía de Valparaíso desde el Muelle Barón. La extensión de la ciudad inmóvil.
Fuente: Elaboración propia

3. Embarcaciones como extensión del habitar en la tierra

Las embarcaciones son, sin duda una extensión de nuestro habitar en la tierra hacia el mar. Se produce el encuentro de las geometrías habitables con las geometrías náuticas (que permiten la flotabilidad, el desplazamiento, la estabilidad, etc).

En embarcaciones como veleros se produce un habitar muy ceñido a la geometría hidrodinámica que ofrece el casco. Estos son cascos poco profundos en relación a la escala humana, por lo que la persona puede quedar sentada en la parte más baja del casco y aún así puede ver hacia el exterior. La parte de cubierta mantiene su casi horizontalidad, es muy leve la altura que alcanza el techo. Esto se entiende al reflexionar en el hecho de que la persona está habitando un objeto en movimiento que de por sí exige otros requerimientos que condicionan la geometría.

a) El entrar como un acto, un gesto, un descubrir

El acto de entrar a este tipo de embarcación es totalmente distinto al de entrar a una habitación en una casa. En este caso la persona debe necesariamente descender en una casa en tierra, la persona sigue erguida y continúa su caminar sin una detención que constituya un “acto de entrar”. Se pasa de la máxima libertad corporal a una libertad acotada por el espacio. Un cambio importante de ambiente que genera una nueva experiencia, genera un momento, un descubrir, pues es un interior que no se muestra de una vez.

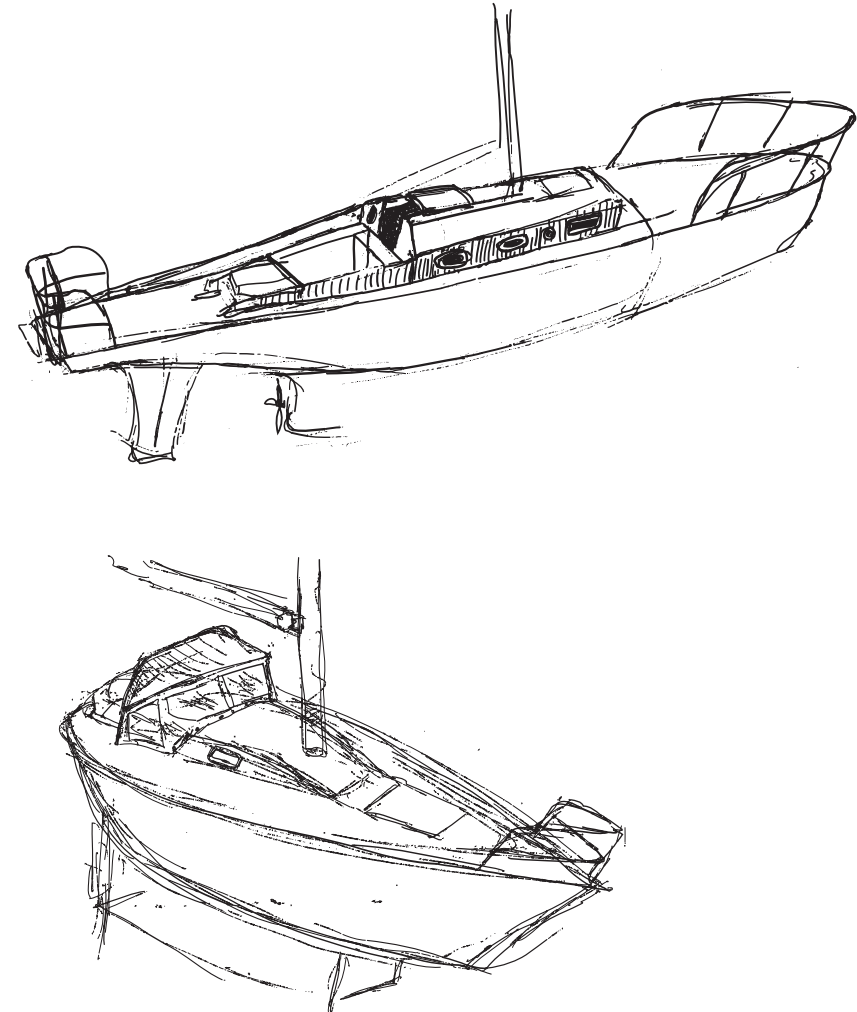


Figura 161. Croquis de veleros
en el Club de Yates de Recreo.
Fuente: Elaboración propia

b) El viajar como un estado de transición y descubrir permanente

El viajar constituye una transición, todo se transforma: el ambiente cambia, las personas con las que se tiene contacto varían, los lugares van quedando atrás. Es por esta razón que se plantea que el viajar es un descubrir permanente. Más aún cuando se produce en ambientes que no son totalmente propios para el ser humano, como es el mar o las aguas en general.

c) La extensión permite una mayor libertad para el descubrir

Cuando se observan las lanchas de paseos turísticos en la bahía de Valparaíso, se puede notar que las personas en su interior gesticulan demostrando gran interés en el exterior que los rodea. El giro de su cuerpo es un gesto permanente al igual que la extensión de sus brazos para indicar algo.

d) La distribución de los pasajeros es en el borde mirando hacia el interior, lo que resulta paradójico siendo que el mayor atractivo se encuentra hacia el exterior.

Aún así, el gesto y el descubrir sucede igual, aunque el espacio sea mínimo. Esto se puede explicar por el hecho de estar al aire libre y también porque el espectáculo es lejano espacialmente. La primera condición dada por la espacialidad y libertad física y sensitiva que significa el aire libre, la segunda razón que se plantea es por que resulta natural apuntar las cosas o lugares cuando son lejanos, hay una gran extensión entre la persona y los objetos del exterior (tierra u otras embarcaciones)

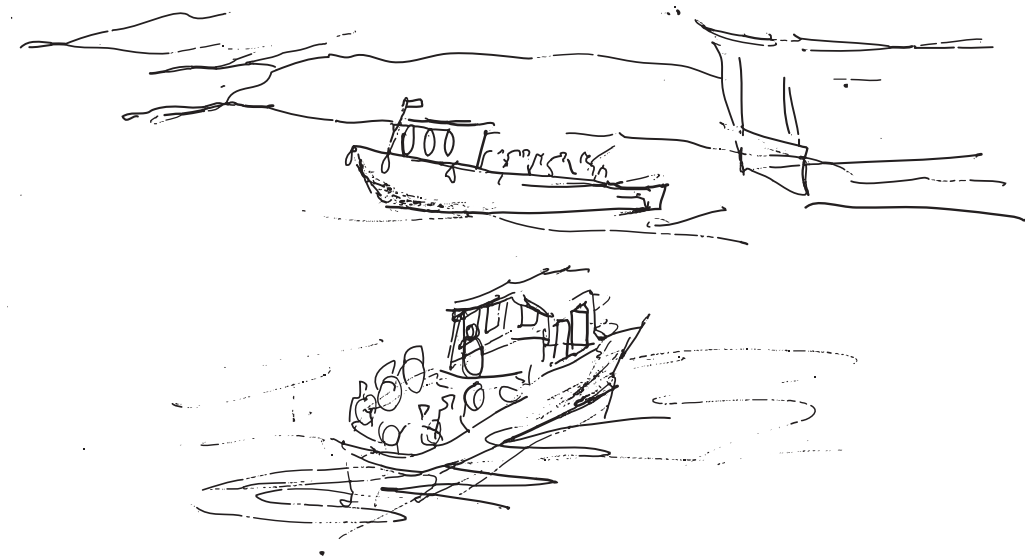


Figura 162. Croquis de embarcaciones de paseo del muelle Prat, vistas desde el muelle Barón en Valparaíso. Fuente: Elaboración Propia

e) El habitar en el borde

Cuando se habita un objeto en movimiento como un bus o un automóvil, se observa el interés de las personas en quedar junto a la ventana, situación que la posiciona al borde del espacio habitable. La ventana es el elemento que nos permite el contacto visual con el exterior. En la ciudad este exterior por lo general es cercano, mientras que en la carretera por ejemplo es lejano. En el medio marítimo el paisaje es por lo general lejano. Lo más cercano es el agua sobre el cual se asienta la embarcación.



Figura 163. Croquis en un microbus. La ventana se posiciona en la mitad del torso de la persona.
Fuente: Elaboración propia



Figura 164. Croquis en un microbus. Visibilidad congestionada en la parte delantera de un microbus.
Fuente: Elaboración propia

f) El horizonte de la vista

En un microbus la vista hacia el exterior por lo general se dirige hacia los dos lados laterales. Sin embargo la vista hacia el exterior en la parte de adelante es casi nula. Existen elementos que se interponen, como los asientos de los pasajeros, el del conductor y las barras para afirmarse.

4. La extensión del mar a la ciudad

Esta extensión se refiere a la extensión misma del mar, esa horizontal que se encuentra con la tierra. Corresponde a la extensión física o virtual del mar hacia la tierra. Es desde este punto de vista, desde el nivel del mar, donde se puede observar lo que nos muestra el borde costero. Especialmente las alturas de las grandes y pequeñas cumbres del territorio.

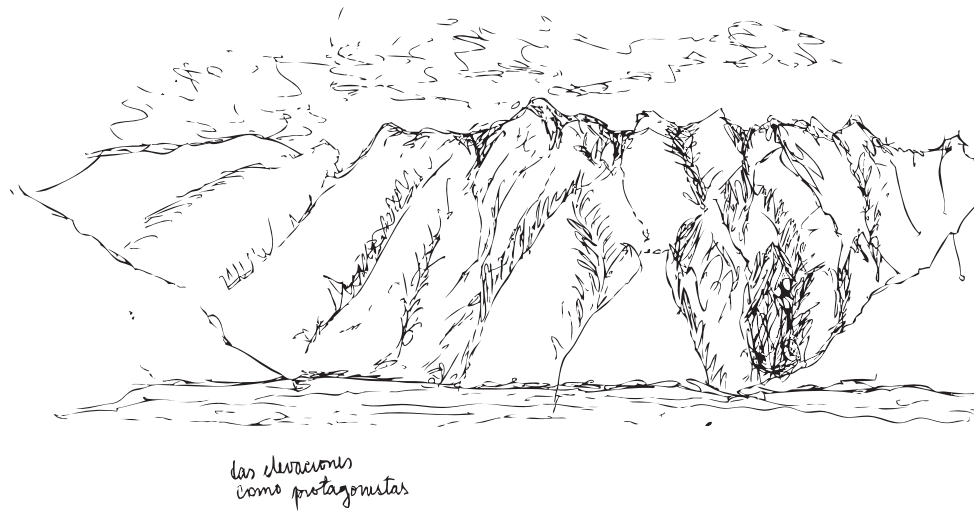


Figura 165. Croquis de las elevaciones vistas desde el mar del Fiordo Comau, Chile. Fuente: Elaboración propia

C. Chile, una franja territorial por descubrir desde el Pacífico

Anteriormente se ha observado el territorio desde una “vista de planta”, desde esta visión se ha entendido que el borde costero es un sistema conformado por un conjunto de aguas protegidas, que pertenecen a distintas bahías que acogen el transitar. Además posee una gran cantidad de caletas, elemento fundamental dentro de este sistema, que permite la conexión entre la ciudad y el mar.

¿Qué se observa si nos posicionamos en el mar ?

Es desde este punto de vista, desde el nivel del mar, donde se puede observar lo que nos muestra el borde costero. Especialmente las alturas de la grandes y pequeñas cumbres del territorio.

Nos posicionamos en el acto de recorrer y descubrir, para hacernos una idea de cómo se vería la franja de tierra que constituye Chile frente a las aguas del Pacífico.

1. Método de proyección del mapa de elevaciones.

Para proyectar la visión de las elevaciones de la tierra desde el mar, se crea un método de levantamiento de cotas de altura sacadas de planos geográficos de la región y también con herramientas de la aplicación de Google Earth. Se hacen “cortes” en el territorio donde se extraen las alturas extrapolando las cotas de nivel. Estos cortes se realizan a medida que nos acercamos del mar a la tierra, tratando de incluir los cerros más importantes. En el siguiente esquema se muestran los cortes que se realizan.

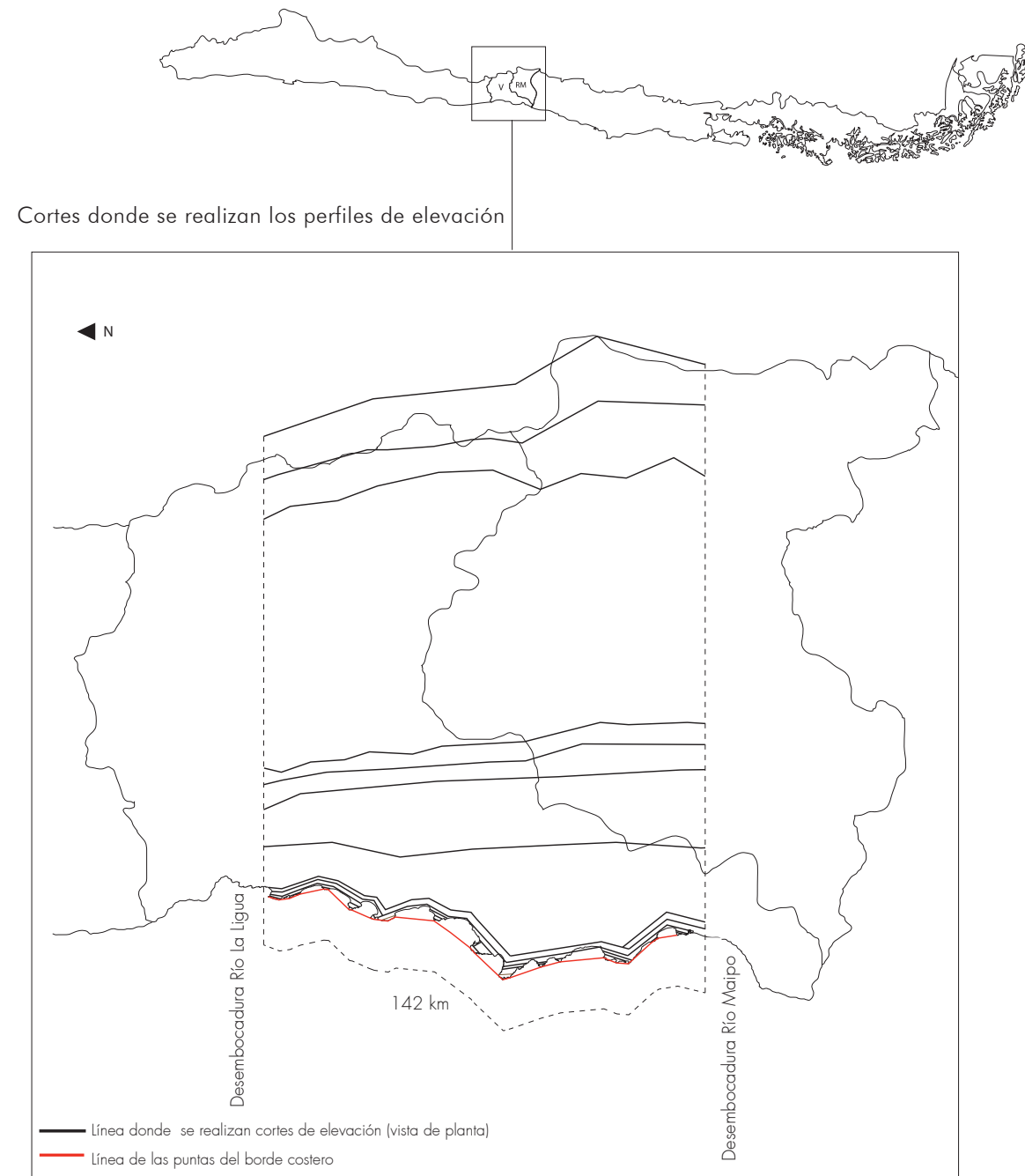


Figura 166. Esquema explicativo de método de proyección de mapa de elevaciones.
Fuente: Elaboración propia

2. Visión de las elevaciones desde el Pacífico

A continuación se presenta la visión de las elevaciones de la Región de Valparaíso y Metropolitana recorriendo el mar Pacífico. Se presentan las elevaciones de las puntas de tierra que se adentran en el mar, los cerros de las planicies litorales, incluso incorporando las elevaciones de la cordillera de la costa que en ocasiones son posibles de ver desde el mar. También se exponen las alturas de la Cordillera de los Andes para comparar las alturas presentes en Chile y en la región.

Este mapa no posee la perspectiva que normalmente nuestros ojos perciben.

Este modo de graficar se puede aplicar a lo largo de las alturas de todo Chile, ya que la forma alargada de Chile se conforma como una franja frente al Pacífico.

El mapa más detallado se puede ver en la tesis llamada “Conectividad en Habitar del Borde Costero” de Carolina Chávez, 2012.

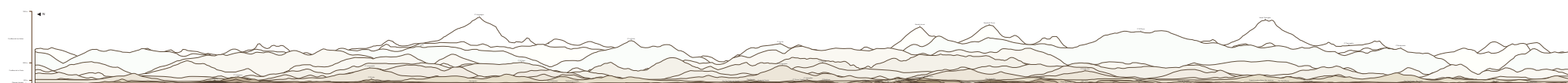


Figura 167. Mapa de Elevaciones de la Región de Valparaíso y Metropolitana, vistas desde el Pacífico. Fuente: Elaboración propia

Elevaciones vistas desde el Pacífico

Vista de planta del borde costero y sus ciudades

Vista de planta de la abstracción del borde costero y sus ciudades



Figura 168. Mapas de planta y elevaciones.
Fuente: Elaboración propia

Visualización gráfica del Sistema de Transporte Marítimo de pasajeros en la V Región

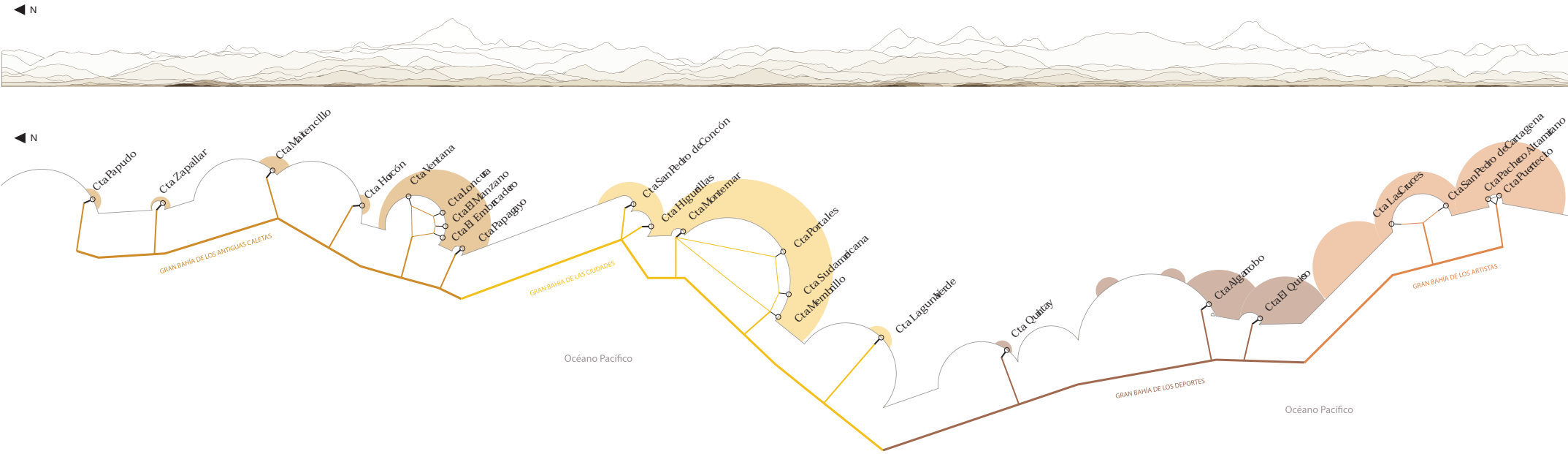


Figura 169. Visualización gráfica del Sistema de Transporte Marítimo de pasajeros en la V Región. Fuente: Elaboración propia

Como parte de la exposición gráfica de este proyecto se incluyen estos dos mapas que reúnen dos modos distintos de ver el sistema. Por un lado se muestra lo que la persona puede ver y descubrir al ser parte del sistema. Por otro lado se muestra de una manera resumida y distintiva los elementos del sistema: las ciudades, las caletas, los recorridos.

VII. Fundamento Técnico

- A. Flotabilidad y estabilidad
- B. Olas
- C. Teoría de formación de olas en cuerpos flotantes
- D. Resistencia a la marcha en multicascos
- E. Hidroalas en embarcaciones
- F. Formas hidrodinámicas en los Swath
- G. Maniobrabilidad en los Swath
- H. Propulsión
- I. Estructura y construcción en los Swath
- J. Datos comparativos de embarcaciones Swath y Hyswas
- K. Teoría de modelos

Fundamento Técnico

A. Flotabilidad y estabilidad

1. Algunas definiciones generales
2. Ley de Arquímedes
3. Estabilidad estática
4. Curvas hidrostáticas
5. Curvas cruzadas
6. Estabilidad en multicascos y naves de sustentación dinámica
7. Estabilidad en los Swath y Hyswas

B. Olas

1. Parámetros
2. Tipos de olas
3. Algunos conceptos sobre olas
4. Olas en la V Región de Valparaíso
5. Escalas de medición del oleaje

C. Teoría de formación de olas en cuerpos flotantes en movimiento

1. Aguas profundas para el caso de embarcaciones
2. Patrón de olas según Kelvin
3. Patrón de olas según Número de Froude basado en la profundidad

D. Resistencia a la marcha en multicascos

1. Comportamiento a distintas velocidades
2. Resistencia producida por formación de olas en multicascos
3. Formas de los cascos
4. Comportamiento de los catamaranes en el mar

E. Hidroalas en embarcaciones

1. La embarcación con hidroalas
2. Tipos de configuración de hidroalas
3. Perfiles alares
4. Principios físicos en perfiles alares
5. Teoría de vuelo

6. Diagrama polar
7. Sustentación de un perfil alar
8. Aletas estabilizadoras y perfiles alares en los Swath y Hyswas

F. Formas hidrodinámicas en los Swath

1. Cantidad de arbotantes
2. Forma y disposición de arbotantes
3. Formas del o los cascos sumergido/s

G. Maniobrabilidad en los Swath

1. Ubicación del timón

H. Propulsión

1. Propulsión diesel eléctrica

I. Estructura y construcción en Swath

1. Cargas estructurales
2. Casos estructurales
3. Construcción del "Aliswath"

J. Datos comparativos de embarcaciones Swath y Hyswas

K. Teoría de Modelos

1. Semejanza geométrica
2. Semejanza cinemática
3. Semejanza dinámica
4. Números adimensionales

A. Flotabilidad y Estabilidad

1. Algunas definiciones generales

a) Calado

“El calado denota la profundidad de agua necesaria para que un buque flote libremente y se mide verticalmente desde la parte inferior de la quilla hasta la línea de flotación.” (Gudmundsson, FAO, 2009)

b) Francobordo

“El francobordo es la distancia vertical que media entre la cara inferior de la cubierta de trabajo en el costado hasta la línea de flotación.” (Ibidem)

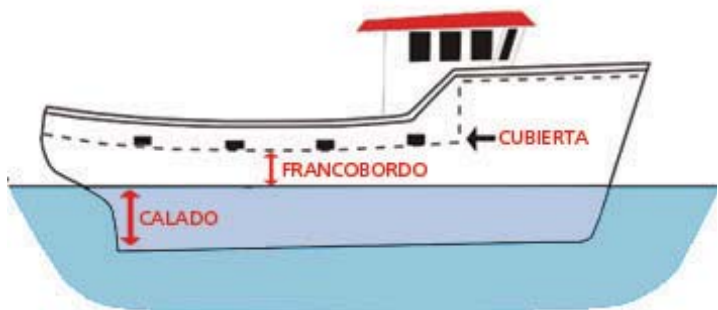


Figura 170. Esquema cubierta, francobordo, calado. Fuente: Gudmundsson, 2009. Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

c) Peso en Rosca

“El peso en rosca es el peso real de un buque cuando está terminado y listo para servicio, pero se encuentra vacío.” (Ibidem)

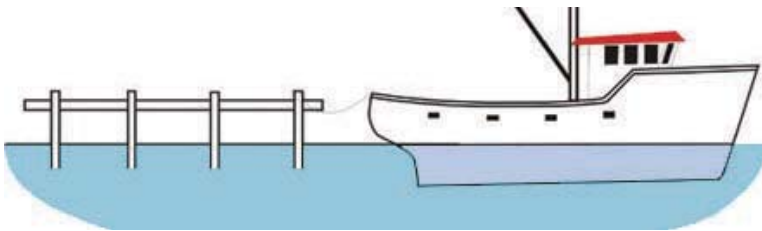


Figura 171. Peso en rosca. Fuente: Gudmundsson, 2009. Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

d) Peso Muerto

“El peso muerto es el peso real en toneladas que un buque puede transportar cuando está cargado hasta el calado máximo admisible (incluyendo combustible, agua dulce, suministros, captura y tripulación).” (Ibidem)

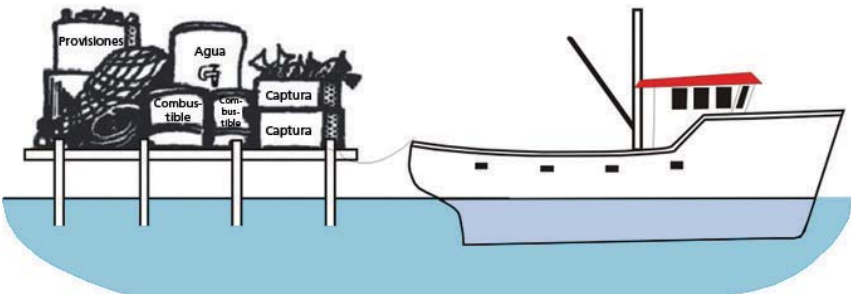


Figura 172. Peso muerto. Fuente: Gudmundsson, 2009. Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

e) Masa de Desplazamiento

La masa de desplazamiento es el peso total del buque, es decir:

Peso en rosca + Peso muerto = Masa de desplazamiento

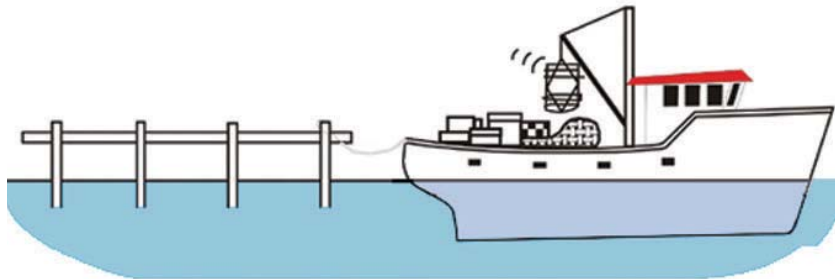


Figura 173. Masa de desplazamiento. Fuente: Gudmundsson, 2009. Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

f) Escora

“Se dice que un buque está escorado cuando se inclina debido a una fuerza externa, como por ejemplo, las olas o el viento.” (Ibidem)

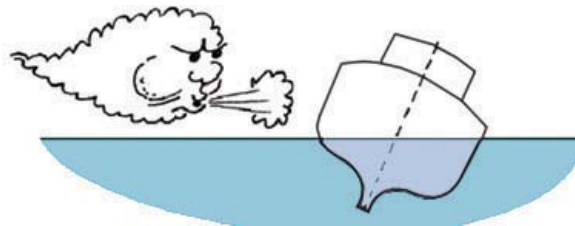


Figura 174. Escora. Fuente: Gudmundsson, 2009. Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

g) Centro de Gravedad

“El centro de gravedad es el punto (G) en que se supone que el peso total de un cuerpo actúa verticalmente hacia abajo.”

El centro de gravedad de un buque depende de la distribución del peso dentro del mismo y su posición se puede encontrar realizando una prueba de estabilidad o mediante cálculo matemático. La posición del centro de gravedad (G) se mide verticalmente desde un punto de referencia, que, por lo general, es la quilla del buque (K), y la distancia entre estos dos puntos se denomina KG.” (Ibidem)

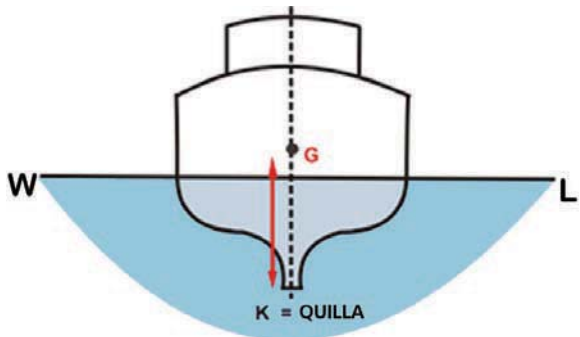


Figura 175. Centro de Gravedad. Fuente: Gudmundsson, 2009. Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

h) Flotabilidad

“Si se empuja una pelota dentro del agua, enseguida volverá a aparecer en la superficie. La fuerza que ocasiona este fenómeno se denomina flotabilidad. Cuando un buque flota libremente, su flotabilidad es igual a la masa de desplazamiento” (Ibidem) (Véase el Principio de Arquímedes en la página 160).

i) Centro de Carena o Boyantes

“El centro de boyantes o de carena “B”, es el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas de flotación, es decir, es el empuje ejercido por el líquido desde abajo hacia arriba que actúan en el casco sumergido, está ubicado en el centro geométrico del volumen sumergido.” (Ibidem)

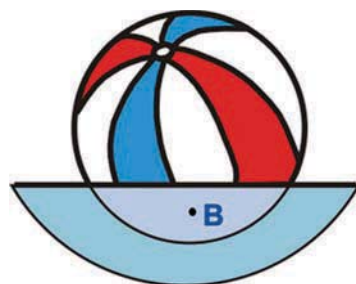


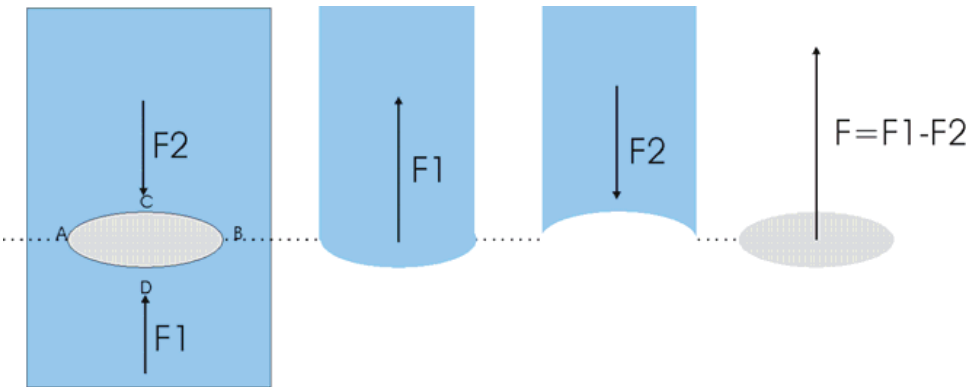
Figura 176. Centro de Carena o Boyantes. Fuente: Gudmundsson, 2009. Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

2. Ley de Arquímedes

“Todo cuerpo que se encuentra en un medio fluido pierde, aparentemente, tanto peso como sea el peso del fluido desplazado por el cuerpo”. (Arquímedes)

Este principio se cumple para cuerpos que están en un medio líquido y en un medio gaseoso.

De este modo cuando un cuerpo está sumergido en el fluido se genera un empuje hidrostático resultante de las presiones sobre la superficie del cuerpo que actúa siempre hacia arriba a través del centro de gravedad del cuerpo del fluido desplazado y de valor igual al peso del fluido desplazado. Esto se grafica en el siguiente esquema.



La fuerza sobre un cuerpo sumergido, la podemos calcular como la suma de las fuerzas sobre su superficie superior (F_2) e inferiores (F_1)	Sobre la superficie inferior (A-D-B) la fuerza será el peso del fluido sobre su superficie, y tendrá el sentido hacia arriba.	Sobre la superficie superior (A-C-B) la fuerza será el peso del fluido sobre su superficie, y tendrá el sentido hacia abajo	La resultante será la suma de las dos, que nos da una fuerza equivalente al peso del fluido que ocupa el volumen del cuerpo sumergido, y la resultante tendrá un sentido vertical y hacia arriba
--	---	---	--

Figura 177. Principio de Arquímedes. Fuente: Área de Mecánica de Fluidos, Departamento de Tecnología, Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales Universitat Jaume I , 2004

Por lo tanto la fuerza sobre el cuerpo sumergido será una fuerza equivalente al peso del fluido que ocupa el cuerpo. Esta es la fuerza de empuje.

3. Estabilidad Estática

a) Estabilidad transversal

Cuando un buque se encuentra adrizado (en posición de equilibrio) en aguas tranquilas, el centro de carena (fuerza ascendente) y el centro de gravedad (fuerza descendente) se encuentran en la misma línea vertical por encima de la quilla (K).

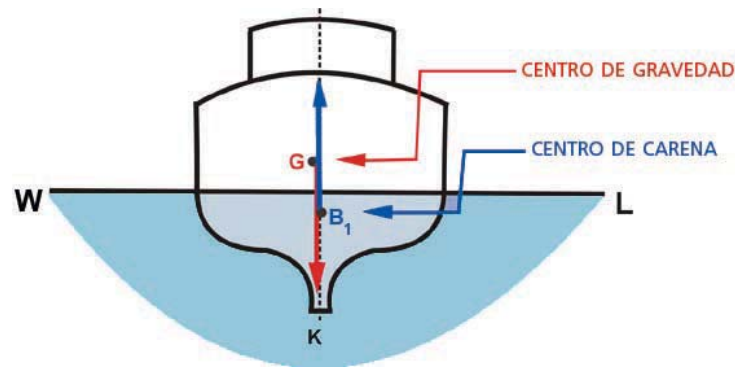


Figura 178. Estabilidad transversal. Fuente: Gudmundsson, 2009. Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Si el buque está inclinado debido a una fuerza externa (es decir, sin que exista ningún movimiento del peso interno), se produce una cuña de emersión a un costado del mismo y otra cuña de inmersión de similar tamaño al otro costado. Como consecuencia, el centro de carena, que es el centro de la sección sumergida del buque, cambiará de posición del punto B al B1.

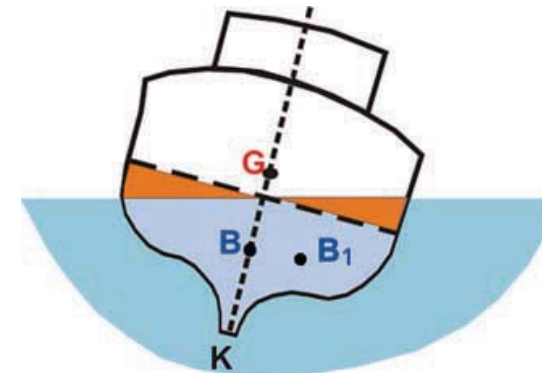


Figura 179. Escora y cambio del centro de carena. Fuente: Gudmundsson, 2009. Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

b) Metacentro (M)

El metacentro (M) es el punto de intersección de las líneas verticales trazadas desde el centro de carena a pequeños ángulos de escora consecutivos, y se puede equiparar a un eje central cuando el buque está inclinado a pequeños ángulos de escora. Su altura se mide desde el punto de referencia (K) y, por consiguiente, se denomina KM.

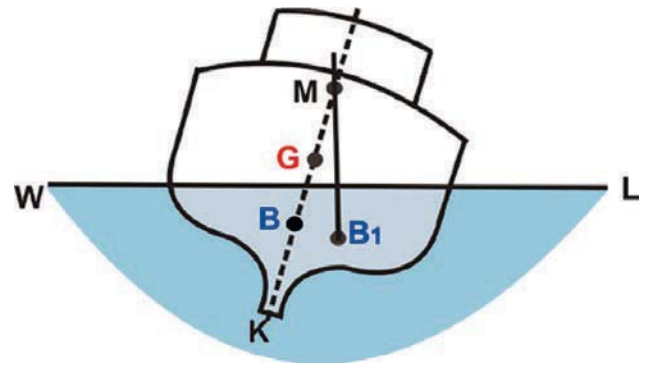


Figura 180. Metacentro. Fuente: Gudmundsson, 2009. Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

c) ¿ Por qué un buque se mantiene adrizado ?

Otra forma de entender las razones por las que un buque se mantiene adrizado es imaginar el balanceo de la cuna de un bebé, como se muestra en la figura siguiente. El buque pesquero está representado por la cuna y su centro de gravedad (G) se encuentra cerca del centro de ésta. El «empuje de flotabilidad» que soporta la cuna se representa por el balancín que se apoya en el suelo y el centro de carena (B) se encuentra en el punto donde el balancín hace contacto con el suelo. De la misma forma que ocurre con un buque pesquero, el centro de gravedad (G) de la cuna (buque) se encuentra por encima del balancín, es decir, el centro de carena (B). La perturbación más pequeña (viento u olas) provoca que la cuna (buque) se balancee (escore) hacia un costado. Cuando la cuna (buque) se balancea hacia un costado, el punto donde el balancín toca el suelo (centro de carena (B)) se desplaza hacia afuera, lo cual es necesario que ocurra a fin de mantener la cuna (buque) en posición de equilibrio. Este cambio del centro de carena (B) es el que permite que un buque pesquero vuelva a

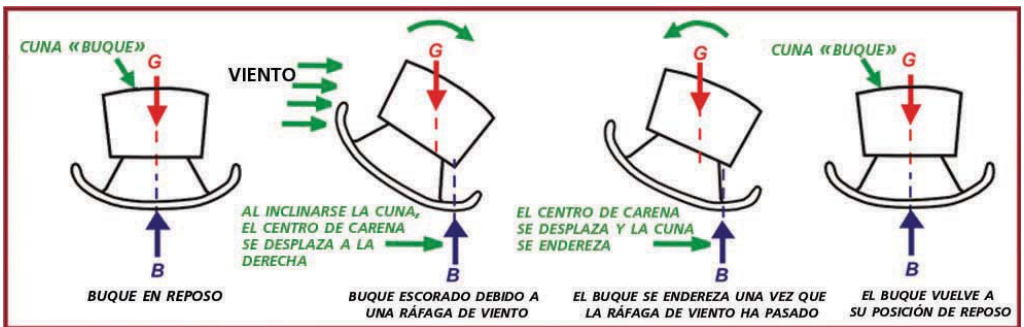


Figura 181. ¿Por qué un buque se mantiene adrizado? . Fuente: Gudmundsson, 2009. Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

d) Equilibrio

Se dice que un buque se encuentra en equilibrio estable si tiende a volver a la posición de adrizado después de estar inclinado. Para que esto ocurra, el centro de gravedad (G) deberá encontrarse por debajo del metacentro (M).

e) Altura Metacéntrica

La distancia entre G y M se conoce como la altura metacéntrica (GM). Un buque estable en posición de adrizado tiene una altura metacéntrica (GM) positiva, es decir, el metacentro (M) se encuentra por encima del centro de gravedad (G). Por lo general, esta magnitud se denomina altura GM positiva o estabilidad inicial positiva.

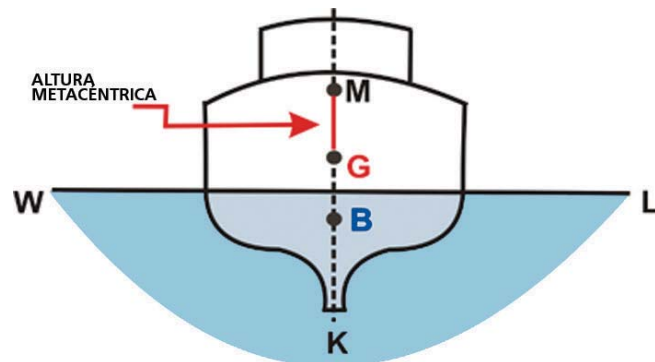


Figura 182. Altura metacéntrica. Fuente: Gudmundsson, 2009. Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

f) Brazo de Adrizamiento

Cuando un buque está escorado debido a una fuerza externa, se considera que su centro de gravedad (G), el cual no se ve afectado por la escora ni el peso de la embarcación, actúa verticalmente hacia abajo a través de G. El centro de carena (B) (centro geométrico de la sección sumergida) se desplaza a una nueva posición B1 y el empuje de flotabilidad (equivalente al peso del agua desplazada) se considera que actúa verticalmente hacia arriba a través del nuevo centro de carena B1. La distancia horizontal desde el centro de gravedad (G) a la línea vertical que parte desde B1 se denomina brazo adrizante. Dicha distancia se puede medir y normalmente se denomina GZ. Por consiguiente, la fuerza necesaria para que el buque vuelva a la posición de adrizado es el peso de éste actuando hacia abajo a través del centro de gravedad (G), multiplicado por el valor del brazo adrizante (GZ). Esta fuerza se denomina momento de estabilidad estática.

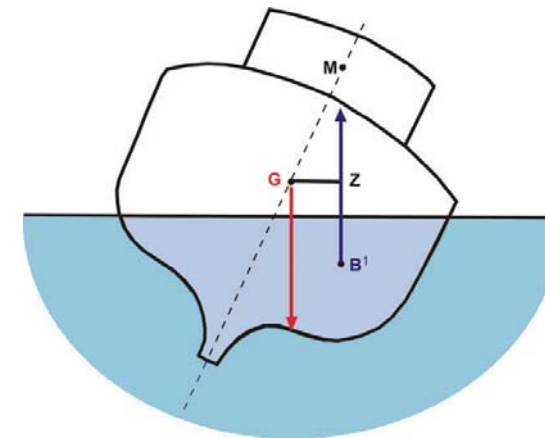


Figura 183. Brazo de Adrizamiento. Fuente: Gudmundsson, 2009. Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

El centro de gravedad (G) del buque ejerce un efecto notable sobre el brazo adrizante (GZ) y, por consiguiente, sobre la capacidad del buque de volver a la posición de adrizado. Cuanto más bajo se encuentre el centro de gravedad (G), mayor será el valor del brazo adrizante (GZ).

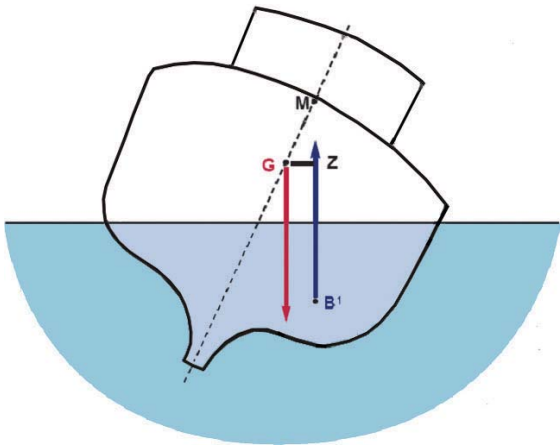


Figura 184. Cómo influye la posición del centro de gravedad en la estabilidad. Fuente: Gudmundsson, 2009. Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Si el centro de gravedad (G) del buque se encuentra cerca del metacentro (M), los valores de la altura metacéntrica (GM) y el brazo adrizante (GZ) serán bajos. Por lo tanto, el momento de estabilidad estática para volver el buque a la posición de adrizado será considerablemente menor que el mostrado en la ilustración anterior.

g) Curvas de Estabilidad (Curvas GZ)

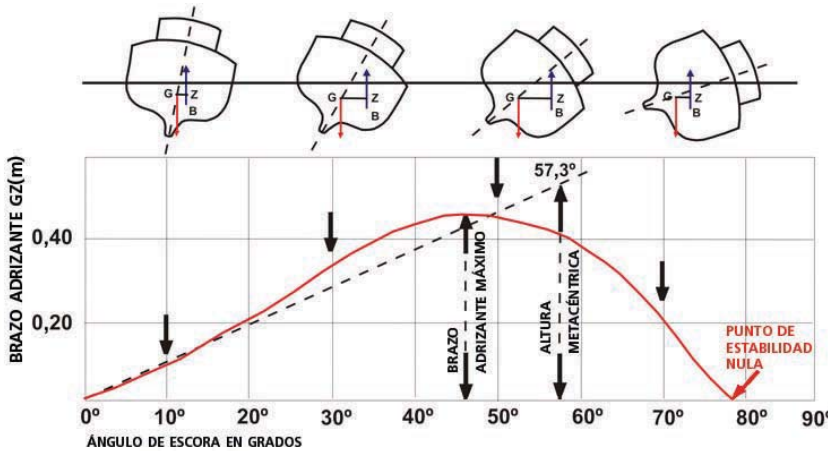


Figura 185. Curvas de Estabilidad. Fuente: Gudmundsson, 2009. Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Las curvas de estabilidad (curvas GZ) se usan para mostrar gráficamente los valores de los brazos de estabilidad (GZ) producidos por el movimiento de un buque al volver a la posición de equilibrio desde varias condiciones de escora. Dichas curvas tienen varias características generales y es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- (a) la altura metacéntrica (GM);
- (b) el valor máximo del brazo adrizante (GZ); y
- (c) el punto de estabilidad nula.

El perfil de las curvas de brazos adrizantes depende de las formas del casco y la carga del buque. Dicho perfil a pequeños ángulos de escora sigue generalmente la pendiente de la línea trazada hasta la altura metacéntrica (GM) inicial. A este respecto, el francobordo y la relación entre la manga y el puntal del buque también son muy importantes.

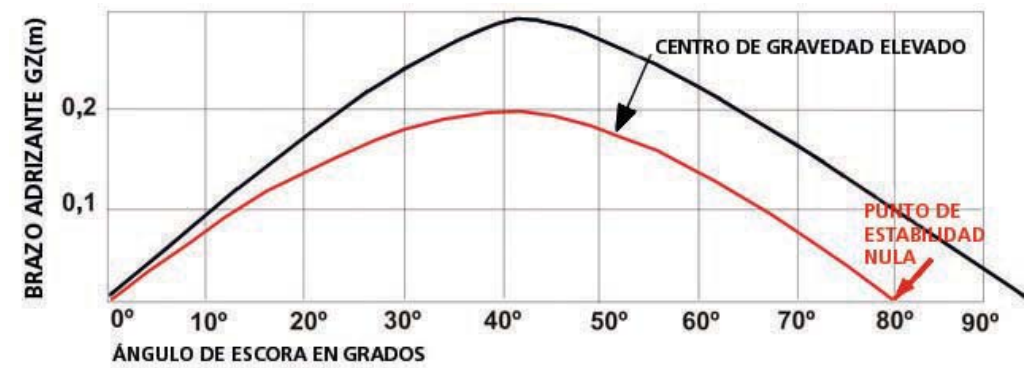


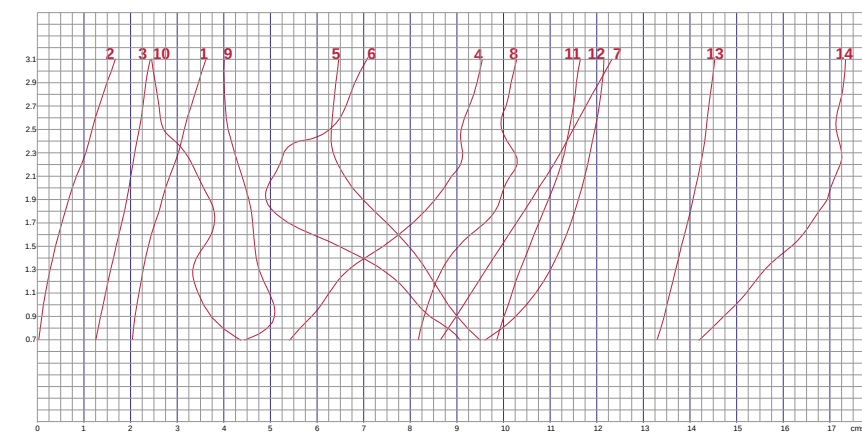
Figura 186. Ejemplo de curva de estabilidad. Fuente: Gudmundsson, 2009. Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Una elevación del centro de gravedad (G) del buque provoca una disminución de la altura metacéntrica (GM) y, consecuentemente, valores más pequeños de los brazos adrizantes (GZ).

Las formas del casco de un buque constituyen un factor importante a la hora de determinar las características de su estabilidad. Un incremento en la manga originará valores más altos de las alturas metacéntricas (GM) y brazos adrizantes (GZ) , aunque el punto de estabilidad nula será menor, es decir, el buque volcará a un ángulo de escora menor

4. Curvas Hidrostáticas

La forma de los cascos no siguen ecuaciones ni formas geométricas comunes, por lo que calcular información que se necesite para resolver problemas de estabilidad no es fácil. Las curvas hidrostáticas son una forma gráfica que sirve para obtener de forma rápida informaciones complejas de una nave para cada calado de la embarcación, suponiendo que la nave puede estar más o menos sumergida dependiendo de sus pesos. Se calculan distintas variables como volumen, la posición longitudinal o vertical del centro de boyantez, las toneladas por centímetro de inmersión, etc., todas para distintos calados.



Nombre de las Curvas

Nº	CURVA	SIGNO	REFERIDA A	ESCALA
1	Volumen		SECCION 2	1 CM = 48 M3
2	Desplazamiento		SECCION 0	1 CM = 48 TON
3	Superficie area mojada	SAM	SECCION 1	1 CM = 50 M2
4	Superficie de líneas de agua	SWL	SECCION 5	1 CM = 10 M2
5	Centro geométrico longitudinal	CLB	SECCION 8	1 CM = 0.25 M
6	Centro de gravedad longitudinal	GL	SECCION 8	1 CM = 0.25 M
7	Centro de carena vertical	VCB	SECCION 8	1 CM = 0.2 M
8	Momento de trimado	MCT	SECCION 8	1 CM = 0.2 TON/M
9	Metacentro vertical	KMT	SECCION 1	1 CM = 0.5 M
10	Metacentro longitudinal	KML	SECCION 1	1 CM = 4 M
11	Coeficiente prismático	CD	SECCION 8	1 CM = 0.1
12	Coeficiente cuaderna maestra	CM	SECCION 8	1 CM = 0.1
13	Coeficiente de block	CB	SECCION 13	1 CM = 0.2
14	Toneladas por cm de inmersión	TCI	SECCION 13	1 CM = 0.1 TON

Figura 187. Curvas hidrostáticas embarcación Amereida. Fuente: Ivelic, 2006. Embarcación Amereida y la épica de fundar el mar patagónico. Valparaíso, Chile

5. Curvas Cruzadas

Las curvas cruzadas son un gráfico plano que contiene la proyección de uno tridimensional, que indica el valor del brazo de adrizamiento en función del desplazamiento y del ángulo de escora. Para su grafica se considera el centro de gravedad fijo en la quilla.

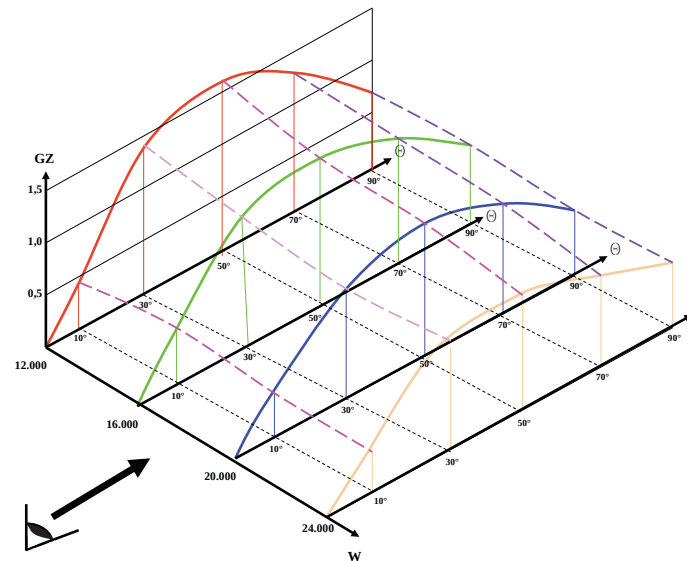


Figura 188. Gráfico tridimensional que indica el valor del brazo de adrizamiento en función del desplazamiento y del ángulo de escora. Fuente: Material de las clases del profesor Boris Guerrero, 2012

El mismo gráfico tridimensional se verá de la forma que se indica ahora. Este gráfico bidimensional es lo que se conoce como Curvas Cruzadas. Las líneas de trazos son los lugares geométricos de todos los brazos de adrizamiento para un mismo ángulo de escora.

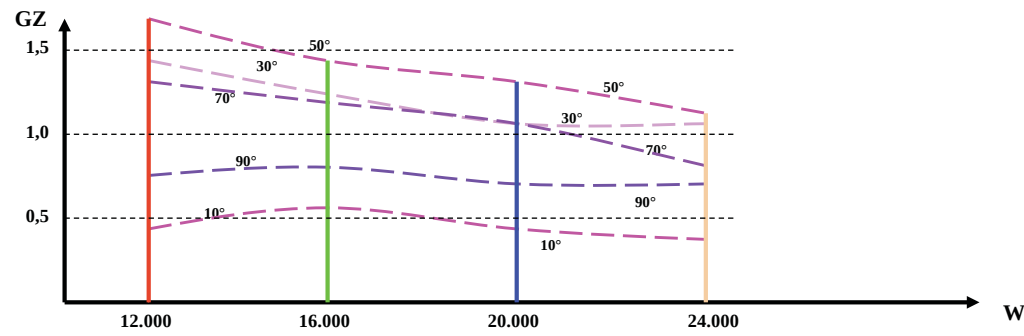


Figura 189. Curvas Cruzadas. Fuente: Material de las clases del profesor Boris Guerrero, 2012

6. Estabilidad en multicascos y en naves de sustentación dinámica

a) Marco Normativo para embarcaciones multicascos y de sustentación dinámica.

Para diseñar una embarcación tipo Hyswas, como en el caso de esta tesis, se debe considerar a esta nave como una nave multicasco y de sustentación dinámica.

Es por esto que el diseño, construcción y operatividad de estas embarcaciones se debe regir por un marco normativo dado por la OMI (Organización Marítima Internacional) y por normas nacionales de Chile.

Se debe recurrir a distintos documentos normativos de la OMI, del Convenio SOLAS, y otros. Los documentos específicos que tratan sobre el diseño y construcción de embarcaciones como la que se proyecta en esta tesis, son los siguientes:

- Resolución A.373(X). Noviembre 1977 "Código de Seguridad para Naves de Sustentación Dinámica"
- Resolución A.749(18). Noviembre 1993 "Código de estabilidad sin averías para todos los tipos de buques regidos por los instrumentos de la OMI"
- Resolución MSC.97(73). Diciembre 2000 "Adopción del código internacional de seguridad para naves de gran velocidad, 2000 (Código NGV 2000)"

En cuanto a la normativa nacional, la institución encargada es la Armada de Chile, específicamente la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante. Se deben considerar los siguientes documentos, dependiendo si la embarcación es nave mayor o menor:

- Circular O-71/010. 2006. El cual establece normas sobre construcción, equipamiento, inspecciones y otras exigencias de seguridad que deben cumplir las naves y artefactos navales menores.
- TM - 010. "Reglamento para la Construcción, Reparaciones y Conservación de las Naves Mercantes y Especiales Mayores y de Artefactos Navales, sus Inspecciones y su Reconocimiento"

b) Criterios de estabilidad de la OMI para multicasco

A continuación se presentan los requerimientos de estabilidad establecidos por la OMI para embarcaciones multicasco. A diferencia de los monocascos, el ángulo para GZ máximo es de 10° (en monocascos debe ser mayor a 30°), y no se menciona al GMr, dado que se espera un elevado valor de este parámetro.

Definición de Nave Multicasco (OMI): nave que con cualquier asiento o escora que pueda alcanzarse normalmente en servicio tiene un casco rígido que penetra la superficie del mar en varios lugares distintos.

	$A1 = 0,055 \times 30^\circ / \theta \text{ (m.rad)}$
1.- Área bajo la curva GZ.	Donde θ : 1. Ángulo de inundación descendente. 2. Ángulo al que se da el GZ máximo. 3. 30°
2.- GZ máximo	El valor máximo de GZ corresponderá a un ángulo de 10° como mínimo.
3.- Balance producido por las olas	Se determinará matemáticamente el efecto sobre la seguridad de la nave del balance en mar encrespada. Al realizar los cálculos, el área residual bajo la curva GZ (A2), es decir, más allá del ángulo de escora (θ_h), será como mínimo de 0,028 m · rad hasta el ángulo de balance θ_r . A falta de pruebas con modelos u otros datos, se tomará θ_r como 15°, o un ángulo ($\theta_d - \theta_h$), si éste es menor.

Figura 190. Fragmento sobre criterios de estabilidad de la OMI para multicasco. Fuente: OMI, 2000, Resolución MSC.97(73), Anexo 7: Estabilidad de las naves multicasco.

c) Estabilidad transversal de un multicasco

En el siguiente diagrama se puede ver transversalmente un catamarán. Su volumen sumergido se compone de dos secciones iguales del casco y como resultado de ello, el centro de boyantez se encuentra en el centro de la sección transversal. El centro de gravedad (G) del buque también está en el centro, gracias a la óptima disposición de pesos llevada a cabo por el diseñador. El hecho de que ambos centros estén directamente uno encima del otro, indica que las cosas son estáticas, el barco está allí fijo bajo condiciones ideales, sin viento, sin olas, etc.

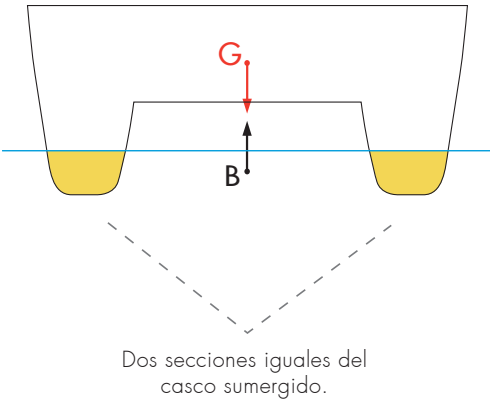


Figura 191. Catamarán adrizado. Fuente: Elaboración propia

d) ¿Qué pasa al escorarse levemente?

En el siguiente diagrama, se puede ver la embarcación levemente escorada. Esto no parece haber sido hecho por un ajuste de peso, porque vemos que el punto G todavía está en el medio, por lo que debemos suponer que el viento ha empujado el barco, o tal vez alguien acaba de bajar a un muelle. Aunque el volumen sumergido total sigue siendo el mismo, (que es el que se requiere para hacer flotar el buque), la porción de casco sumergido de la derecha tiene un volumen mayor que el de la izquierda. Es por esto que el centro de boyantez (B) se ha movido sustancialmente a la derecha. Ahora las dos fuerzas (de boyantez y gravedad) están desalineadas y cada uno se esfuerza para girar el barco hacia la izquierda hasta que estén, una vez más, linealmente opuestas y en equilibrio.

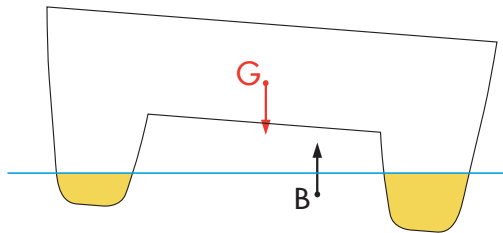


Figura 192. Catamarán levemente escorado.
Fuente: Elaboración propia

e) ¿Cómo es la estabilidad estática en multicascos?

A continuación se presentan los apuntes sobre estabilidad del estudio “Análisis de la estabilidad de catamaranes”, de José R. Marín, 2007. Se resumen ciertos puntos de interés para el proyecto de esta tesis. Se exponen ejemplos de ejercicios de estabilidad que se realizaron en este artículo basados en un catamarán standard. Estos conceptos luego se deben aplicar en las embarcaciones Swath o Hyswas.

f) Curva de estabilidad en Catamaranes

Debido a la acción de la boyantez a una distancia apreciable desde crujía, se presenta una elevadísima altura metacéntrica, GM_T (GM transversal), que se manifiesta como una alta pendiente de la curva de brazos adrizantes, GZ . Así mismo, el valor máximo de GZ se presenta a un ángulo relativamente bajo, alrededor de 15° , y luego la curva toma una pendiente suavemente negativa.

La separación entre cascos hace que la inercia del plano de flotación sea elevada, proveyendo una muy alta altura metacéntrica inicial, GM_0 . Sin embargo, el hecho de tener cascos separados hace pensar que una avería podría tener también un efecto pronunciado de escoramiento.

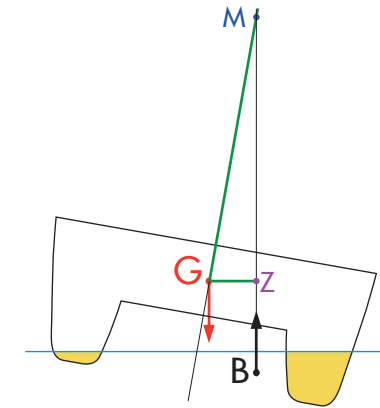


Figura 193. Elevada altura metacéntrica y brazo adrizante en catamaranes. Fuente: Elaboración propia

A continuación se presentan las curvas de brazos adrizantes de un catamarán bajo dos condiciones de carga: completamente cargado y con 10% de consumibles.

Puede notarse el elevadísimo valor del brazo adrizante máximo. También es notorio que dicho valor extremo se produce a un ángulo relativamente pequeño; luego de ello, la curva tiene una pendiente negativa relativamente baja, es decir, el ángulo al cual la embarcación pierde la estabilidad positiva parece ser elevado.

Elevado valor del brazo adrizante máximo, a un ángulo de escora relativamente pequeño

Pendiente negativa relativamente baja

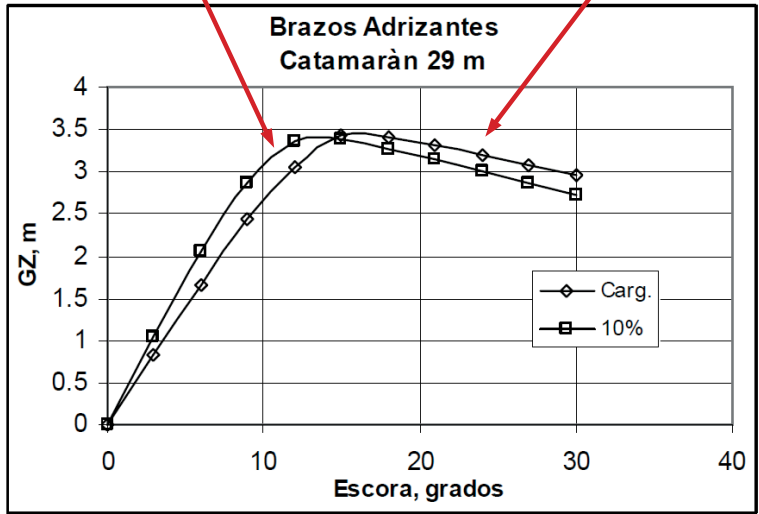


Figura 194. Curvas de brazos adrizantes, condición intacta. Fuente: Marín, 2007 (intervenido). Análisis de la estabilidad de Catamaranes, Guayaquil, Ecuador. Disponible en: www.dspace.espol.edu.ec/bitstream

g) Comparación estabilidad transversal de un Monocasco y un Catamarán

A continuación se grafica simultáneamente la curva de estabilidad para catamarán y para un de tipo monocasco.

Gran diferencia en pendiente en el origen de ambas curvas, debido a la diferencia enorme en la altura metacéntrica, GMT

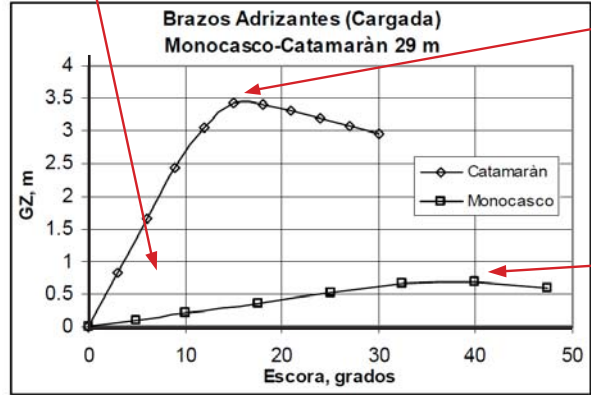


Figura 195. Comparación de curvas de estabilidad intacta entre un catamarán y un monocasco. Fuente: Marín, 2007 (intervenido). Análisis de la estabilidad de Catamaranes, Ecuador.

La curva del catamarán desciende más rápido que la del monocasco. Desciende a los 15° de escora app. Según la OMI, para catamaranes se exige que el GZ máximo se dé a un mínimo 10°, por lo tanto este casco cumple con las exigencias de estabilidad intacta.

Para monocasco, la OMI exige que el GZ máximo se dé a ángulos de escora mayor de 30°

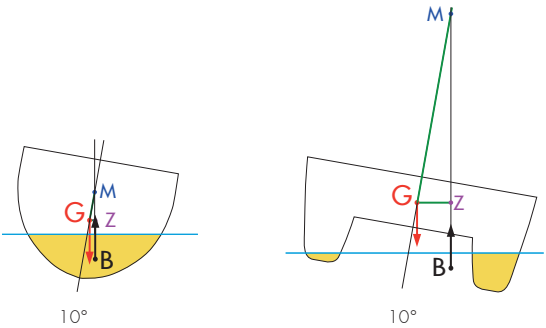


Figura 196. GM y GZ en un catamarán y un monocasco. Fuente: Elaboración propia

Al igual que el gráfico anterior (Fig. 195), en el siguiente se muestra simultáneamente la curva de estabilidad para un catamarán y para un de tipo monocasco.

Se puede ver nuevamente la gran diferencia de GZ entre ambas embarcaciones. El máximo GZ del catamarán se alcanza a los 12° app., mientras que el monocasco lo alcanza a los 90° app.

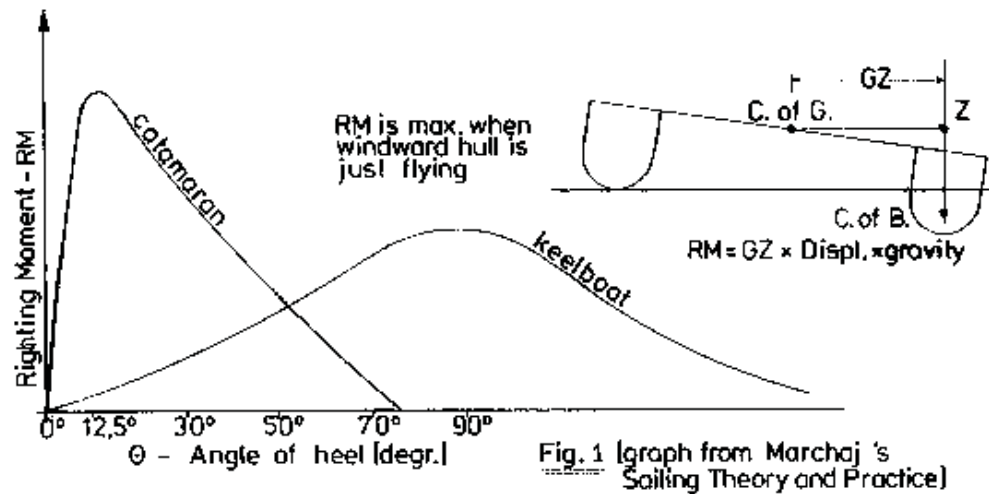


Figura 197. Gráfico de que compara la estabilidad de un monocasco y un catamarán. Fuente: Tony Marchaj's. Sailing Theory and Practice. Disponible en: <http://www.sailingcatamarans.com/stability2.htm>

h) Criterios de estabilidad de la OMI para naves de sustentación dinámica

A continuación se presentan los requerimientos de estabilidad establecidos por la OMI para embarcaciones de sustentación dinámica.

La definición de Nave de Sustentación Dinámica se expone a continuación:

1.4.1 Por "nave de sustentación dinámica" se entenderá una nave que pueda operar en la superficie del agua o por encima de ésta y cuyas características sean tan diferentes de las de los buques de desplazamiento de tipo ordinario a los cuales se aplican los Convenios internacionales existentes y en particular los de Seguridad y de Líneas de Carga, que habrán de tomarse otras medidas si se quiere conseguir un grado de seguridad equivalente. Dentro del marco de esta definición general se considerará que una nave que presente una u otra de las características que a continuación se indican lo es de sustentación dinámica:

- el peso, o una parte importante del peso, está contrarrestado en una de las modalidades operacionales por fuerzas distintas de las hidrostáticas;
- la nave es apta para operar a velocidades tales que la relación $\frac{v}{\sqrt{gL}}$ es igual o superior a 0,9, donde "v" es la velocidad máxima, "L" es la eslora correspondiente a la flotación y "g" es la aceleración debida a la gravedad, expresados todos estos datos en unidades compatibles.

1.4.3 "Hidroala" es una nave que en condiciones operacionales normales sustentan por encima de la superficie del agua fuerzas hidrodinámicas generadas por aletas de soporte.

Figura 198. Fragmento de la definición de "Nave de sustentación dinámica" e "Hidroala". Fuente: OMI, 1977. Código de Seguridad para Naves de Sustentación Dinámica. Resolución 373 (X)

Dentro de los requerimientos de estabilidad para naves de sustentación dinámica, se pueden nombrar o citar los siguientes puntos:

2.3 Estabilidad al estado intacto

2.3.1 En la modalidad con desplazamiento la estabilidad de una nave ha de ser tal que, cuando flote en aguas tranquilas, su ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal no exceda de 8° en ninguna dirección, dados cualquiera de los casos de carga permitidos y los movimientos incontrolados de los pasajeros que puedan producirse. Se hará un cálculo de la estabilidad dinámica con respecto a las condiciones críticas de proyecto.

2.5 Estabilidad de la nave en la modalidad sin desplazamiento

2.5.1 La Administración se cerciorará de que cuando la nave opere en la modalidad sin desplazamiento y en la de transición, dentro de las limitaciones operacionales aprobadas, tras una perturbación que origine balance, cabeceo u oscilación vertical, o una combinación de estos movimientos, recuperará su actitud inicial.

2.5.2 La estabilidad de balance y cabeceo de cada nave en la modalidad sin desplazamiento se determinará experimentalmente antes de la puesta en servicio comercial, y de ella quedará el oportuno registro.

Figura 199. Fragmento de los requerimientos de estabilidad de naves de sustentación dinámica. Fuente: OMI, 1977. Código de Seguridad para Naves de Sustentación Dinámica. Resolución 373 (X)

**METODOS RELATIVOS A LA DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD
AL ESTADO INTACTO DE LOS HIDROALAS**

Se examinará la estabilidad de estas naves en sus modalidades de flotación sobre el casco, de transición y de soporte sobre aletas sustentadoras. En la determinación de la estabilidad se tendrán también en cuenta los efectos de las fuerzas exteriores. Los procedimientos que siguen se exponen a título de orientación para la determinación de la estabilidad.

Figura 200. Fragmento de los requerimientos de estabilidad de naves de sustentación dinámica. Fuente: OMI, 1977. Código de Seguridad para Naves de Sustentación Dinámica. Resolución 373 (X)

Tratando de resumir los puntos que se deben considerar para evaluar la estabilidad, resulta la siguiente lista de cálculos:

Para calcular estabilidad en modo con desplazamiento:

- Momento escorante provocado por la evolución
- Relación establecida entre el momento de zozobra y el momento escorante con miras a satisfacer el criterio meteorológico
- Momento escorante provocado por la presión del viento
- Evaluación del momento mínimo de zozobra en la modalidad con desplazamiento

Para calcular estabilidad en modo de transición y de soporte sobre las aletas sustentadoras

- 1.2.2 a) Se verificará la estabilidad correspondiente a las modalidades de transición y de soporte sobre aletas sustentadoras para todas las condiciones de carga, considerando el servicio a que esté destinada la nave.
- b) La estabilidad correspondiente a las modalidades de transición y de soporte sobre aletas sustentadoras podrá determinarse por cálculo o bien sobre la base de los datos obtenidos en experimentos realizados con modelos, y se verificará mediante pruebas a escala natural sometiendo la nave a una serie de momentos escorantes conocidos logrados con pesos de lastre excéntricos, y registrando los ángulos de escora producidos por tales momentos. Estos resultados, cuando se obtengan en las modalidades de flotación sobre el casco, despegue, soporte continuo sobre aletas sustentadoras y retorno a la flotación sobre el casco, darán una indicación de los valores de la estabilidad en las diversas situaciones de la nave durante la fase de transición.
- c) Se establecerá el tiempo que se tarda en pasar de la modalidad de flotación sobre el casco a la de soporte sobre aletas sustentadoras y viceversa. Este tiempo no deberá exceder de dos minutos.
- d) En la modalidad de soporte sobre aletas sustentadoras, el ángulo de escora originado por la concentración de pasajeros en una banda no excederá de 8°. En la modalidad de transición el ángulo de escora debido a la concentración de pasajeros en una banda no excederá de 12°. La concentración de pasajeros la determinará la Administración teniendo en cuenta la orientación que al respecto se facilita en el Apéndice III del presente Código.

Figura 201. Fragmento de los requerimientos de estabilidad de naves de sustentación dinámica.
Fuente: OMI, 1977. Código de Seguridad para Naves de Sustentación Dinámica. Resolución 373 (X)

También se sugiere calcular la altura metacéntrica GM. A continuación se expone la explicación sobre esto:

1.2.3 En la figura 3 se muestra uno de los posibles métodos de determinación de la altura metacéntrica (GM) en la modalidad de soporte sobre aletas sustentadoras, en la fase de proyecto correspondiente a una determinada configuración de aletas.

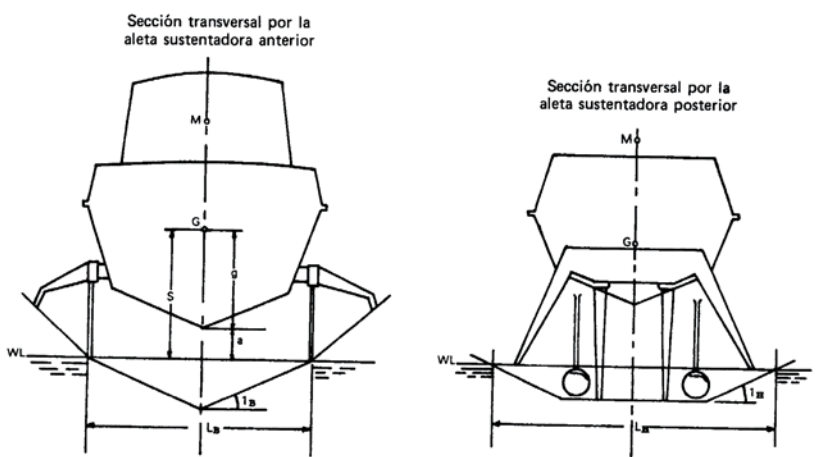


Figura 3

$$GM = n_B \left(\frac{L_B}{2 \tan 1_B} - S \right) + n_H \left(\frac{L_H}{2 \tan 1_H} - S \right)$$

- donde n_B = porcentaje de la carga del hidroala soportada por la aleta sustentadora anterior
 n_H = porcentaje de la carga del hidroala soportada por la aleta sustentadora posterior
 L_B = envergadura de la aleta sustentadora anterior
 L_H = envergadura de la aleta sustentadora posterior
 a = distancia libre entre la parte inferior de la quilla y el agua
 g = altura del centro de gravedad por encima de la parte inferior de la quilla
 1_B = ángulo de inclinación de la aleta sustentadora anterior con respecto a la horizontal
 1_H = ángulo de inclinación de la aleta sustentadora posterior con respecto a la horizontal

Figura 202. Fragmento de los requerimientos de estabilidad de naves de sustentación dinámica.
Fuente: OMI, 1977. Código de Seguridad para Naves de Sustentación Dinámica. Resolución 373 (X)

7. Estabilidad en los Swath y Hyswas

a) Curva de estabilidad de un Swath

El brazo adrizante de estos buques es comparable al del monocasco equivalente, en rangos inferiores a los 10 o 15°. Por encima de estos ángulos de escora, las flotaciones inclinadas tocan la caja, o bien hacen emerger el casco sumergido de la banda opuesta, con lo que aumenta el área en la flotación y por tanto el brazo adrizante aumentará bastante respecto al monocasco. El área bajo la curva de brazos adrizantes es mayor que la del monocasco.

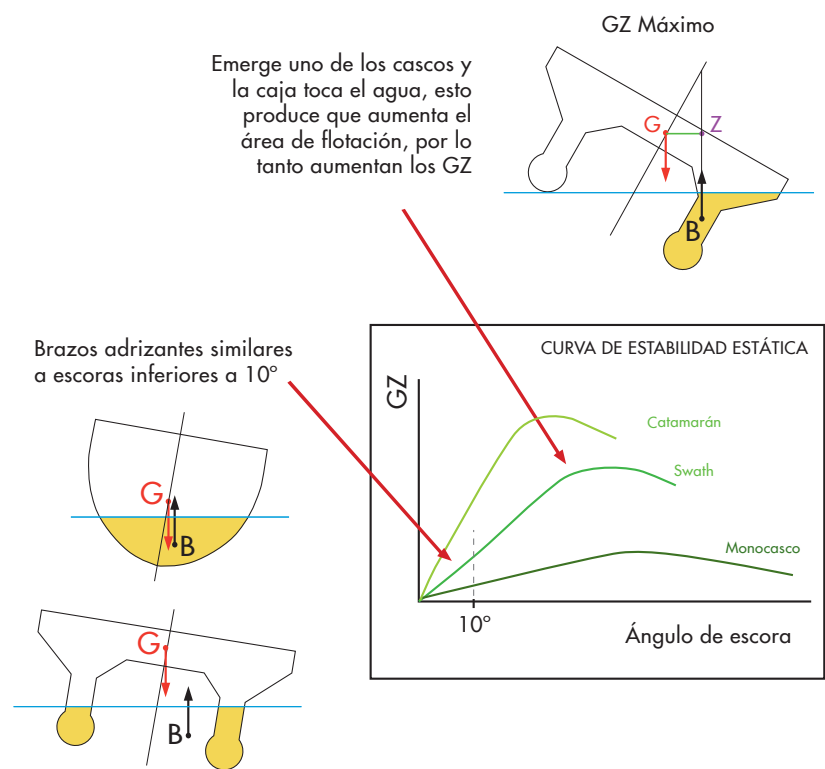


Figura 203. Esquema de comparación de estabilidad estática entre Swath y Monocascos
Fuente: Elaboración propia

b) Bajo GM

Un problema que se observa en el diseño de un buque Swath, es el bajo GM en algunas condiciones de carga, que puede solventarse con una distribución adecuada de pesos, o aumentando la separación entre arbotantes si se está en fase de proyecto.

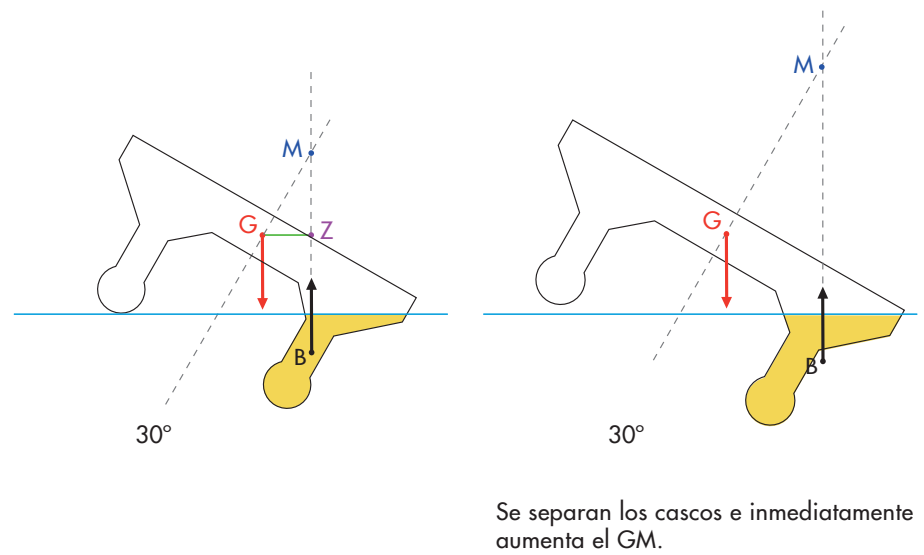


Figura 204. Se aumenta la separación entre los cascos para aumentar GM.
Fuente: Elaboración propia

c) La mayor manga produce mayor $ME1^\circ$

La sensibilidad a la escora se mide por el momento para escorar 1° ($ME1^\circ$). La mayor manga en relación con los monocascos, compensa las bajas TPC y MT1 con unas mayores $ME1^\circ$. Pero hay que tener cuidado con este parámetro, pues al tener mayor manga que el monocasco, los momentos de escora que se logran con la distribución interior de pesos, también serán mayores que en el monocasco equivalente.

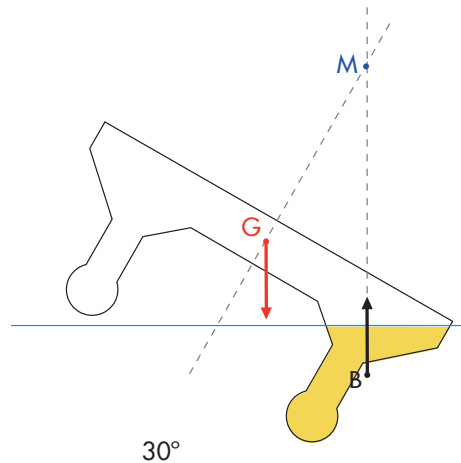
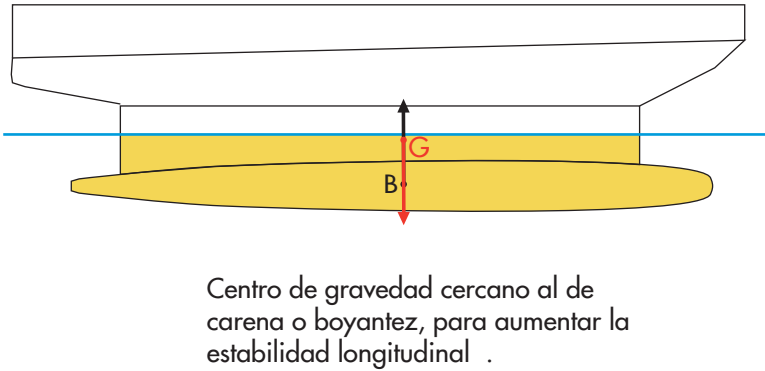


Figura 205. La mayor manga produce mayor $ME1^\circ$.
Fuente: Elaboración propia

d) Localización de G Y B

La localización del centro de gravedad de los Swath debe ser especialmente precisa y controlada debido a las bajas MT1 que ocasionan grandes trimados, con lo que la propulsión y la habitabilidad a bordo empeoran; por tanto, el centro de gravedad se ha de situar lo más cercano posible al de carena. En un monocasco la tendencia al trimado no es tan grande como en los Swath.



Centro de gravedad cercano al de carena o boyantez, para aumentar la estabilidad longitudinal .

Figura 206. Localización de G y B .
Fuente: Elaboración propia

e) Ejemplo de Curva de Estabilidad de un Swath

Es muy importante la operatividad continua de los Swath hasta estado del mar correspondiente a una altura de ola significativa entre 0,5 y 1,25 m y una velocidad del viento de hasta 30 nudos.

Por esta razón, en Italia se hizo un estudio de estabilidad de un Swath frente a vientos y olas, que consiste en la evaluación de la estabilidad estática transversal entre el momento de adrizamiento propia de la embarcación (righting moments) y el momento de escora debido a un constante viento (wind heeling moment) que sopla en la zona lateral. Todos los cálculos se realizaron incluyendo la corrección de la superficie libre de todos los tanques considerados como medios llenos con el fin de evaluar la estabilidad de la embarcación en las peores condiciones posibles.

En el gráfico se ven trazadas tres diferentes curvas de brazos adrizantes, correspondientes a diferentes diseño de los arbotantes. La curva inferior corresponde a los arbotantes verticales rectos mientras que el más alto corresponde al diseño final de arbotante que se muestra en la figura siguiente, con lados acampanados por encima de la línea de flotación.

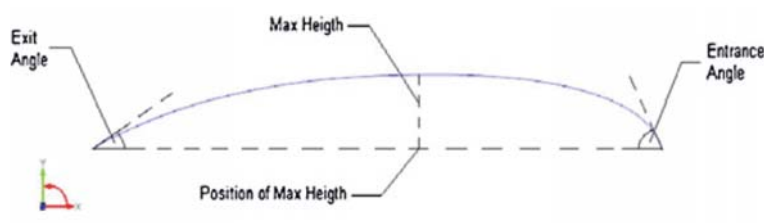


Figura 207. Geometría final del arbotante. Corresponde a la mitad de la geometría, ya que la sección es simétrica. Fuente: Brizzolara & Curtin & Bovio & Vernengo, 2011. Concept design and hydrodynamic optimization of an innovative SWATH USV by CFD methods, Este artículo es parte de “the Topical Collection on Maritime Rapid Environmental Assessment”

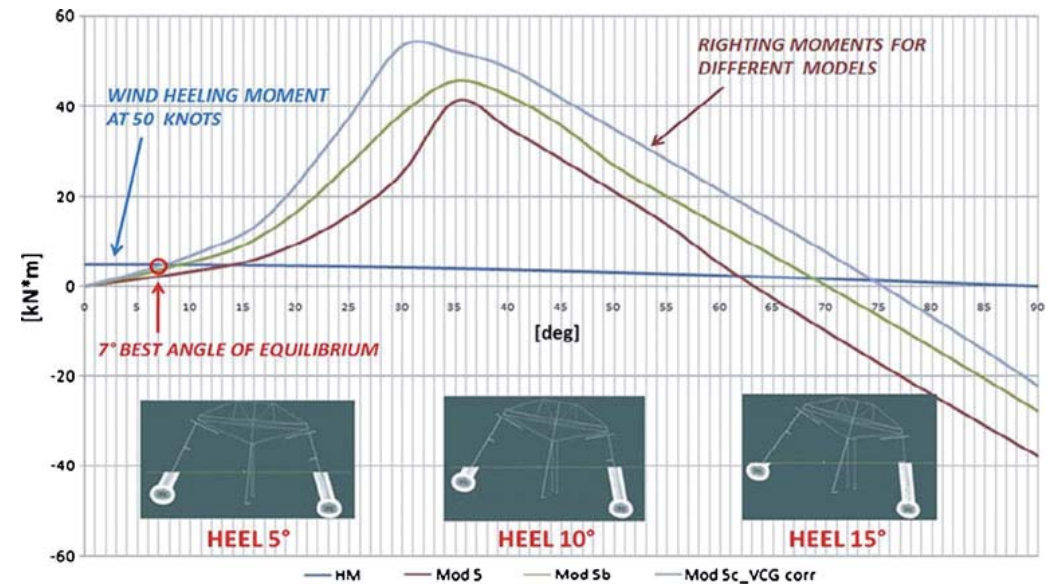


Figura 208. Brazos de adrizamiento transversal para tres diseños diferentes de arbotantes y bajo condiciones de viento de 50 nudos. Fuente: Brizzolara & Curtin & Bovio & Vernengo, 2011. Concept design and hydrodynamic optimization of an innovative SWATH USV by CFD methods, Este artículo es parte de “the Topical Collection on Maritime Rapid Environmental Assessment”

f) Estabilidad estática de un Hyswas

Al igual que los Swath, el brazo adrizante de los Hyswas es comparable al del monocasco equivalente, sólo en rangos inferiores a los 10 o 15°. Por encima de estos ángulos de escora, las flotaciones inclinadas tocan la caja, o bien emerge el casco sumergido central, con lo que aumenta el área en la flotación y por tanto el brazo adrizante aumentará bastante respecto al monocasco. El área bajo la curva de brazos adrizantes es mayor que la del monocasco.

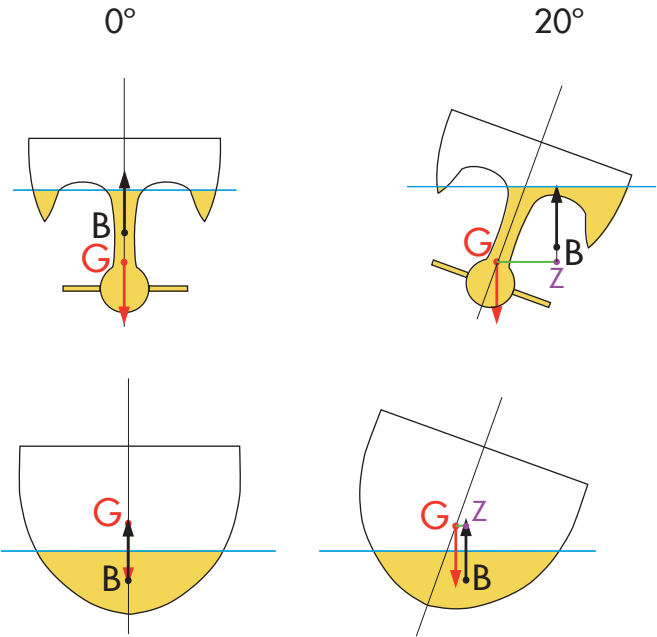
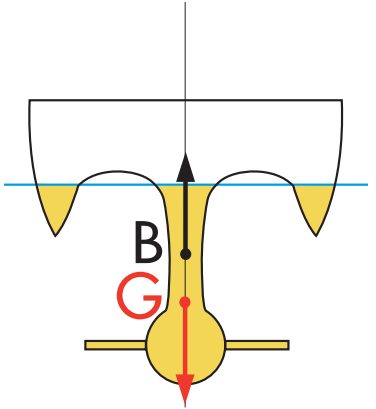


Figura 209. Comparación de GZ entre Hyswas y Monocasco.
Fuente: Elaboración propia

g) Localización de CG Y B debe ser precisa y controlada

Al igual que los Swath, la localización del centro de gravedad (CG) de los Hyswas debe ser especialmente precisa y controlada debido a las bajas MT1 (momento de trimado necesario para que la nave varíe su asiento en 1 cm) que ocasionan grandes trimados, con lo que la propulsión y la habitabilidad a bordo empeoran. Además hay que considerar que el centro de gravedad debe estar a la altura del bulbo sumergido; por tanto, el CG se ha de situar lo más cercano posible al de carena o boyantez (B).

Considerando en primer lugar que el centro de boyantez se define como el centro geométrico del volumen sumergido, y en segundo lugar, que el CG y el B han de situarse cercanos, entonces el diagrama de fuerzas debería verse así:



Al ubicar el centro de gravedad en el bulbo sumergido, la nave se comporta como un “mono porfiado”, que vuelve a su posición original.

Figura 210. Esquema de diagrama de fuerzas de un Hyswas detenido.
Fuente: Elaboración propia

h) Sustentación estática y dinámica en los Hyswas

Cuando un HYSWAS está en condición de desplazamiento (detenido) el 100% de su peso lo sustenta la fuerza de boyantes de su casco superior y el central.

Cuando está en modo de foilborne (sustentado por las alas), las hidroalas soportan aproximadamente el 30% del peso del buque, y el 70% la boyantes del casco superior (David W. Taylor Naval Ship Research and Development Center by C.M. Lee, 1977). Otras fuentes (Boote y Mascia, 2007) declaran que el diseño de la embarcación Hyswas llamada “Aliswath” se basa en que las alas entregan el 20 % de la sustentación y el otro 80% lo entrega la boyantes del bulbo sumergido.

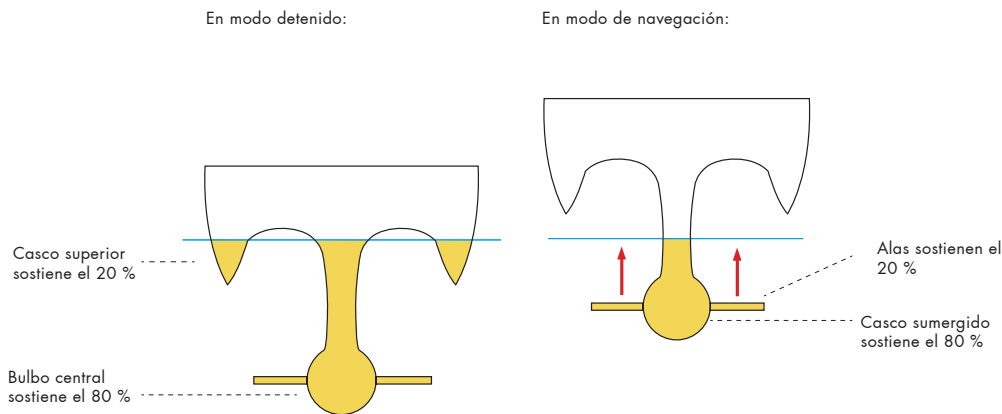


Figura 211. Sustentación de un Hyswas.
Fuente: Elaboración propia

i) Estabilidad dinámica de un Hyswas

Una preocupación importante a la hora de diseñar los Hyswas ha sido cómo evitar los movimientos de balanceo provocada por las olas, ya que posee pequeños momentos restauradores debido a su mínima área en la flotación. Estos movimientos se pueden controlar con las hidroalas, que no sólo sirven para elevar la embarcación, sino que para estabilizar.

En modo de navegación:

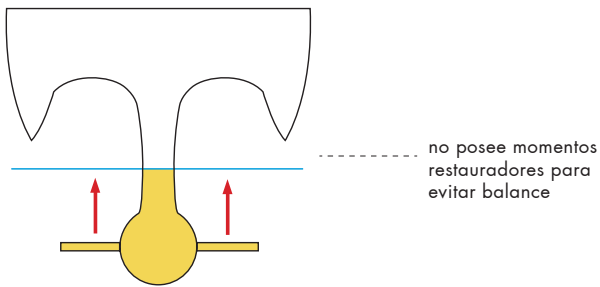


Figura 212. Esquema de un Hyswas en modo de sustentación.
Fuente: Elaboración propia

j) Curvas de estabilidad de Monocasco-Catamarán-Swath

En base a todo lo anterior, se realiza un esquema que resume las curvas de estabilidad de los tres tipos de embarcaciones antes descritas.

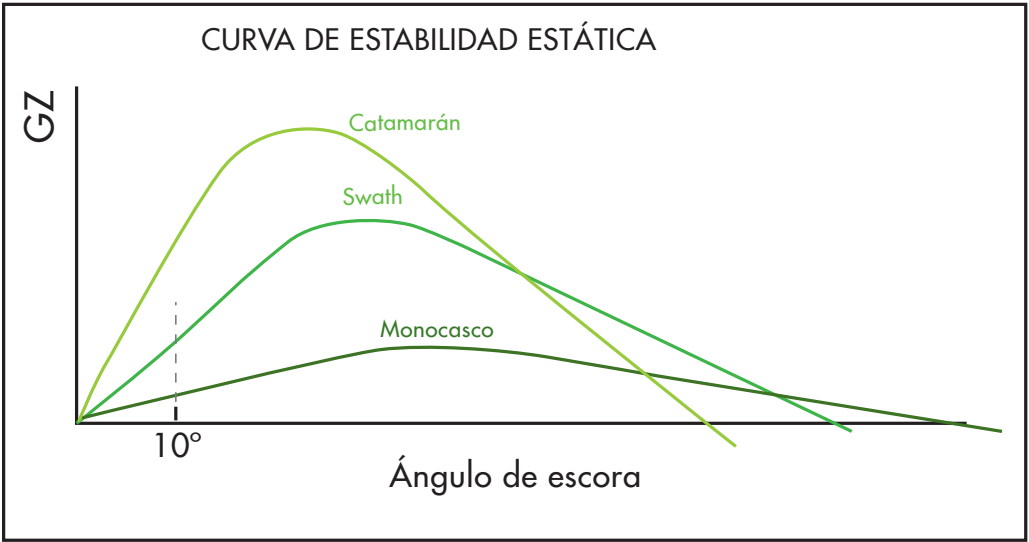
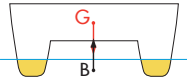


Figura 213. Comparación de curvas de estabilidad de Monocasco, Swath y Catamarán.
Fuente: Elaboración propia.

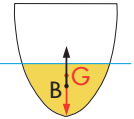
En la página 180 y 181 se presentan unos esquemas que muestran el comportamiento de distintos tipos de embarcaciones a distintas escoras. Esto para entender qué pasa con su estabilidad transversal. Se muestran cinco tipos de embarcaciones a diferentes ángulos de escora (los más significativos).

Para entender el comportamiento de estabilidad, se supone que todas las embarcaciones poseen el mismo desplazamiento y por lo tanto el mismo volumen sumergido. Y también se supone fijo su centro de gravedad.

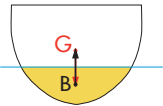
Catamarán, posee dos cascos que no calan mucho, y con un centro de gravedad cercano a la cubierta.



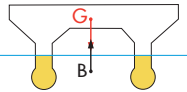
Monocasco esbelto, que en cuanto a comportamiento se parece a la de los veleros, ya que tiene el centro de gravedad bastante cercano a la quilla.



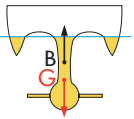
Monocasco Tradicional, con proporciones más estándares, el cual posee su centro de gravedad en el centro de la embarcación.

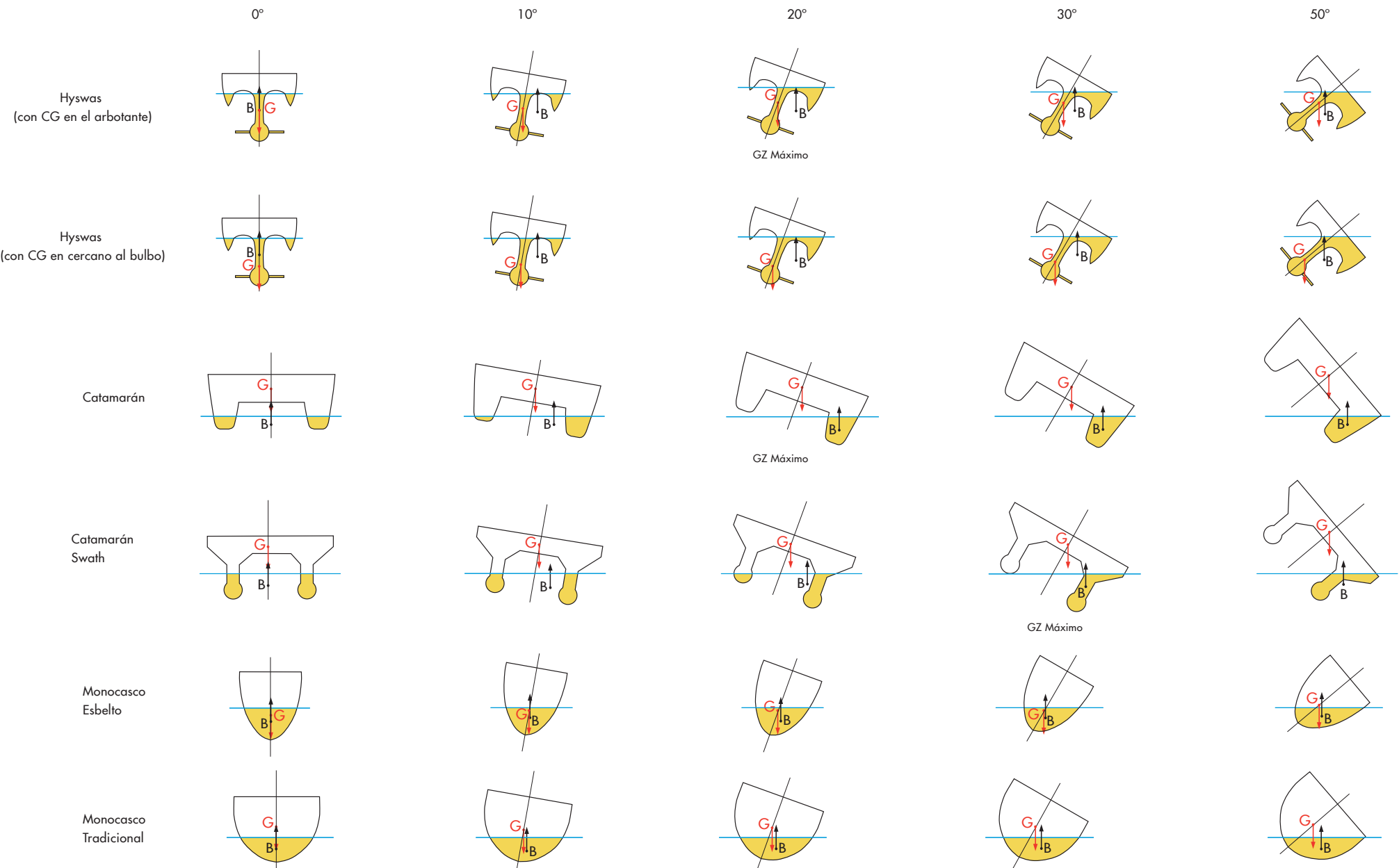


Swath, posee dos cascos sumergidos y su centro de gravedad de encuentra cercano a la cubierta



Hyswas, con un casco central sumergido y dos laterales, su centro de gravedad ubicado muy abajo parecido a los veleros.





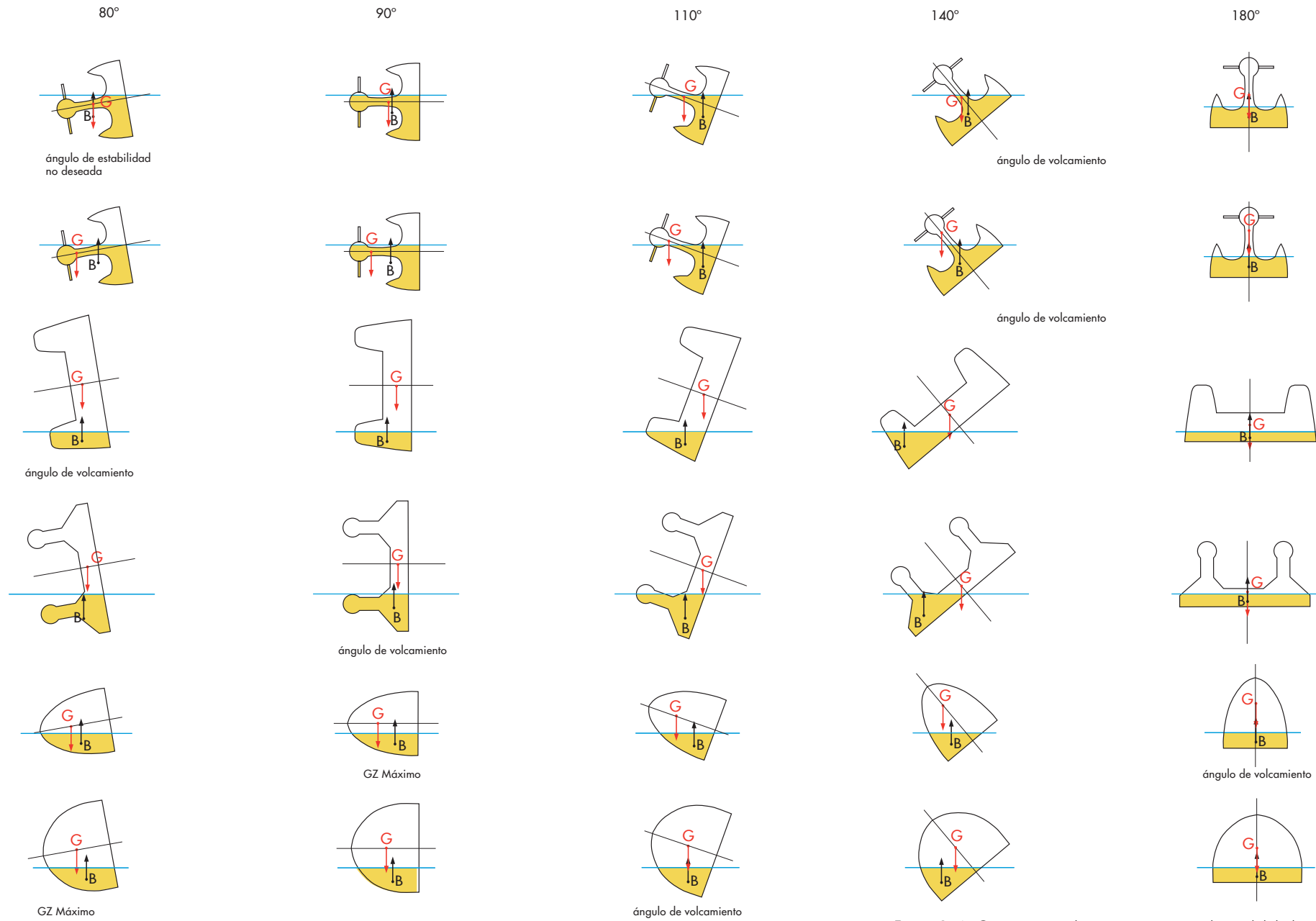


Figura 214. Comparación de comportamientos de estabilidad estática de un monocas-co, un swath, un catamarán y un hyswas. Fuente: Elaboración propia.

B. Olas

Son ondulaciones en el agua, que conllevan transporte de energía y formadas a partir de una perturbación; normalmente se propagan según la dirección del viento. Allí donde la onda estacionaria pasa a ser de traslación, hay transferencia energética desde la vertical a la horizontal; esto da lugar a tensiones (cizalles) entre el lecho y la base del agua, que provocan removilización y transporte de material.

El oleaje incidente en la costa puede experimentar una serie de modificaciones, como son refracción, con retroceso o retardo del frente que oscila y se sitúa sensiblemente paralelo a la línea de costa; reflexión, que produce el reenvío del oleaje incidente hacia el mar cuando no llega a romper; difracción, con transferencia de la energía a sotavento respecto a un obstáculo, originando arcos en su entorno.

Se entiende por oleaje aquellas ondas con períodos de 3 a 20 s, generalmente generadas por vientos, el que actúa sobre el agua del mar poniéndola en movimiento, produciendo un movimiento ondulatorio en las capas superficiales.



Figura 215. Imagen Satelital del Puerto de San Antonio.
Fuente: Google Earth.

1. Parámetros

Longitud de onda (L_w) : Distancia que separa dos crestas consecutivas.

$$L_w = V_w \cdot T$$

Altura de ola (H) : Distancia vertical entre la cresta y el valle o seno de una ola.

Período del oleaje (T) : El tiempo que tarda en pasar por un punto fijo dos crestas consecutivas o dos valle consecutivos.

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega}$$

Celeridad de la onda (C) : Velocidad con la cual se propaga la ola, es decir, $C=L/T$.

Para definir las características del perfil de una ola, se utiliza la relación de esbeltez o peralte

$$\gamma = H/L$$

Frecuencia (f): número de crestas que pasan en un segundo. Es la inversa del periodo

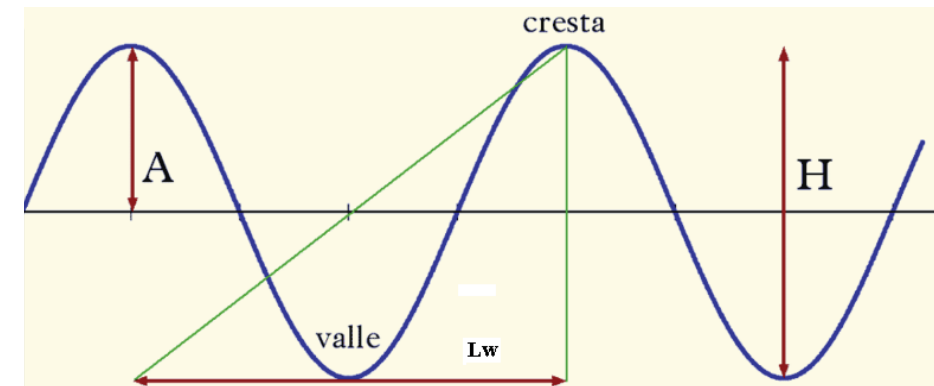
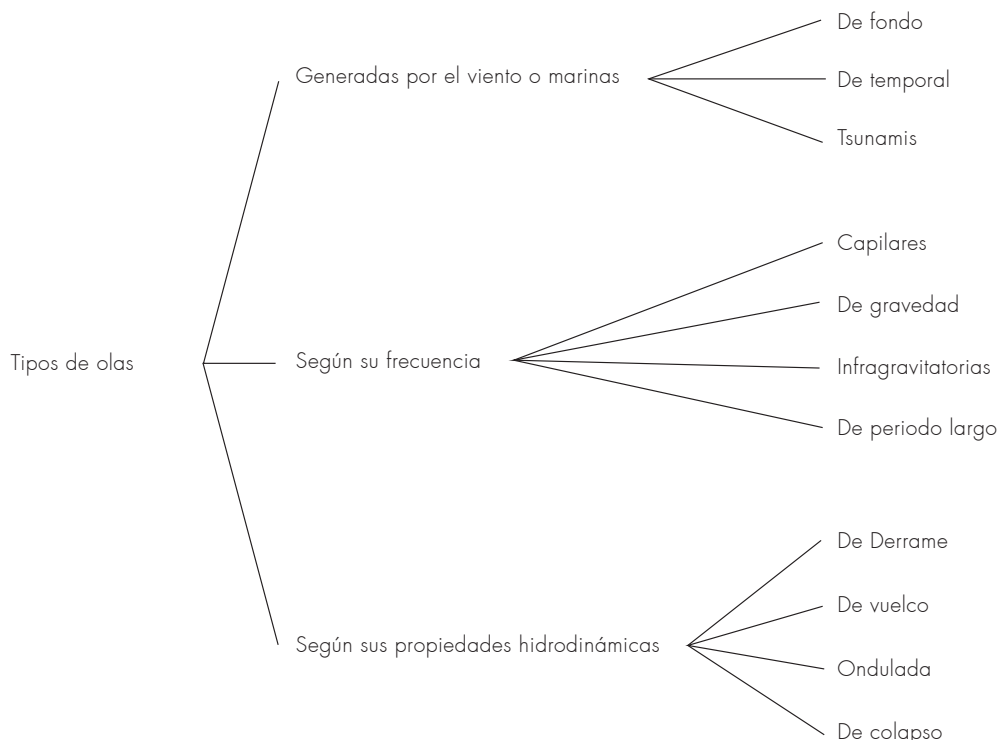


Figura 216. Parámetros de una ola. Fuente: Fernandez, 2006. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Ola>

2. Tipos de olas

A continuación se expone la información relacionada a los tipos de olas que entrega Cartes-Zurita (2005) en su tesis titulada: “Análisis Espacial y temporal de la dinámica de las corrientes en la Bahía de Valparaíso”.



a) Generadas por el viento o marinas

Están sometidas a la influencia directa del viento que las produce, pudiendo llegar a anularse o reforzarse. Es el oleaje que está siendo generado por el viento en la zona de fetch (superficie de mar afectada por el viento donde se genera la ola). En este caso la superficie del mar presenta un aspecto irregular y caótico, las olas poseen una longitud de onda relativamente corta y un fuerte peralte. Su morfología muestra crestas puntiagudas y surcos redondeados que forman rizaduras superpuestas. Según la velocidad del viento y las características de cada masa agua, presentan dimensiones que varían desde un oleaje con escasa magnitud (mar rizada o picada, de 0 a 0,25 m de altura) a mar gruesa y muy gruesa (de 2,5 a 6 m de altura).

Olas de Fondo

Corresponde al oleaje que ya ha abandonado su área de generación y se propaga por los océanos hacia las zonas costeras. En este recorrido las olas se dispersan radialmente y las crestas presentan longitudes de onda mayores que dentro del área de generación, estas son mucho más regulares y menos peraltadas que para un oleaje fondo. No están bajo la influencia directa del viento, a causa del cese de este, que pueden desplazarse decenas, o incluso centenas de kilómetros desde su zona de origen y según la dirección del viento sin ser mantenidas por éste. Son ondulaciones sinusoidales de gran simetría y circularidad crestas y senos redondeados, altura y espaciado uniformes.

Figura 217. Tipos de olas. Fuente: Elaboración propia, en base a la información dada por Cartes-Zurita, 2005

De temporal

Tiene el mismo origen que las olas marinas, pero son transportadas y mantenidas por el viento de una zona tormentosa. La energía y rapidez del avance en los trenes de olas sobre los rompientes, interrumpe transitoriamente el flujo de retorno provocando un apilamiento del agua y una invasión de zonas más alejadas tierra dentro. Puede llegar a ser un oleaje muy destructivo, máximo si a los efectos del temporal se suman otros como mareas de tormenta u ondulaciones debidas a diferencias en las presiones atmosféricas. Son olas con longitud de onda y periodo largos, de gran altura: desde arboladas (6 a 9m) a enormes (mayores de 14 m).

Tsunamis

Oleaje asociado a la actividad submarina (tectónica, volcánica, deslizamiento), que desplaza masas de agua a gran profundidad y origina olas en superficie con amplitud pequeña (alrededor de 1 m) y gran longitud de onda (50 a 200 Km.); Pueden transportarse a largas distancias (centenas de Km.) y velocidades (hasta 800 Km./h). En alta mar apenas es perceptible, sin embargo, al llegar a la costa sufre una notable transformación cuando disminuye la profundidad, esa energía acumulada debe concentrarse en un volumen de agua mucho menor, lo cual implica mayor altura, pasando de 60 - 100 cm. a 15 – 30 m, formando olas muy destructivas.

b) Según su frecuencia

Capilares

Se deben al roce entre láminas de aire y agua en la misma fuente del viento; estando controladas por la tensión superficial del líquido. Son pequeñas rizaduras con morfología en V, cuya longitud de onda es inferior a 1,73 cm. y su altura aproximada unos milímetros.

De gravedad

Son olas generadas por la transferencia de energía desde el viento al agua y controladas por la masa movilizada. Su longitud de onda es superior a 1,73 cm. Incluyen a las olas marinas, de fondo y traslación.

Infragravitatorias

Formadas mediante interacción entre olas. Tienen amplitud baja y periodos largos.

De periodo largo

Producidas por movimientos periódicos de baja frecuencia (mareas) y eventos sin periodicidad (maremotos y tormentas).

c) Según sus propiedades hidrodinámicas

Considera la transferencia energética desde la oscilación al desplazamiento o translación, con la consiguiente removilización de material. A veces lo denominan oleaje de translación, rompiente, surf, etc., y puede ser:

De Derrame

Movimiento progresivo de atenuación en una onda y paso a la traslación; llegan a presentar rupturas encadenadas.

De vuelco

Adelanto en cada cresta respecto a su base, pérdida de sustentación y enroque, ocasionando un vacío o voluta, con desintegración posterior y fuertes turbulencias.

Ondulada

Formación de una cresta que no llega al vuelco y se diluye, al tiempo que es adelantada por su base en avance hacia la zona de rompiente.

De colapso

Caso mixto entre vuelco y ondulada.

3. Algunos conceptos sobre olas

a) Aguas profundas

Una ola se propaga en aguas profundas cuando la relación (h/L) entre la profundidad y su longitud es superior a $1/2$. Efecto del oleaje hasta una profundidad de media longitud de onda. En estas condiciones, las características de la ola son independientes de la profundidad: la ola no percibe el fondo. Por lo tanto la longitud de onda sólo depende del periodo de la ola:

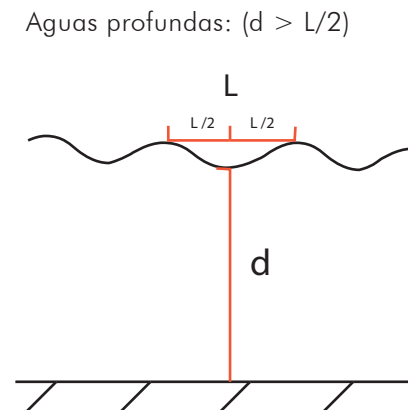


Figura 218. Esquema Aguas Profundas.
Fuente: Elaboración propia

$$L = \frac{gT^2}{2\pi}$$

Donde:

g: aceleración de gravedad (m/s)

T: período del oleaje (s)

L: longitud de onda (m)

Además, la ecuación de la celeridad (velocidad) es:

$$C = \left(\frac{L}{T} \right) \Rightarrow C = \frac{gT}{2\pi}$$

b) Aguas bajas o someras

Para la condición de aguas bajas o someras, también se basa en la relación (h/L), ahora, si este parámetro tiende a cero, se está en condición de aguas bajas, entonces la tangente hiperbólica de (2ph/L) tomará el valor del ángulo.

Donde la longitud de onda será igual a:

$$L = T\sqrt{gh}$$

Donde:

g: aceleración de gravedad (m/s)

T: período del oleaje (s)

L: longitud de onda (m)

h: profundidad (m)

Aguas someras: ($d < L/20$)

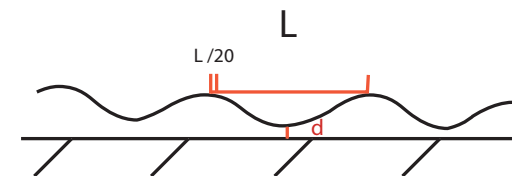


Figura 219. Esquema Aguas Someras.
Fuente: Elaboración propia

c) Altura de la ola Significativa

La altura de ola significativa, H_s o $H_{1/3}$ es el parámetro más extendido a la hora de describir un estado de mar. Fue presentado por primera vez por Sverdrup y Munk (1947) y surgió de la necesidad de establecer un parámetro estadístico que relacionara las alturas de ola obtenidas en el registro instrumental del oleaje y las establecidas a través de observación visual de un estado de mar. Si se registran las alturas de las olas en una zona durante un tiempo determinado, se observará una diversidad importante de valores. Para indicar la altura de la ola representativa de este estado de la mar se toma un valor estadístico denominado altura de la ola significativa, que es la media aritmética de las alturas del tercio de las olas de mayor altura registradas. Hay que indicar que no se puede establecer una relación que permita hallar la altura máxima de la ola, a partir de la altura de la ola significativa.

4. Olas en la V Región de Valparaíso

A continuación se exponen datos sobre las olas presentes en la Bahía de Valparaíso y en el Puerto de Quinteros. Basados en investigaciones realizadas por Cartes-Zurita, 2005, Leyton & Andrade, 1987. Además de la información que entrega el SHOA sobre los datos de olas dados por boyas que se encuentran en ciertas bahías.

De los anteriores estudios se extrajeron los siguientes datos:

Olas reinantes y dominantes

La dirección W la dirección reinante.

La direcciones SW y NW las direcciones dominantes.

Dirección y Altura de Ola Oceánica según temporada

Verano: Olas promedio: W : 1m y S : 1,5m

Invierno: W : 2,5m y S : 2,5m

Temporal: NW : 2,5 a 6 m

Marejadas: 5m

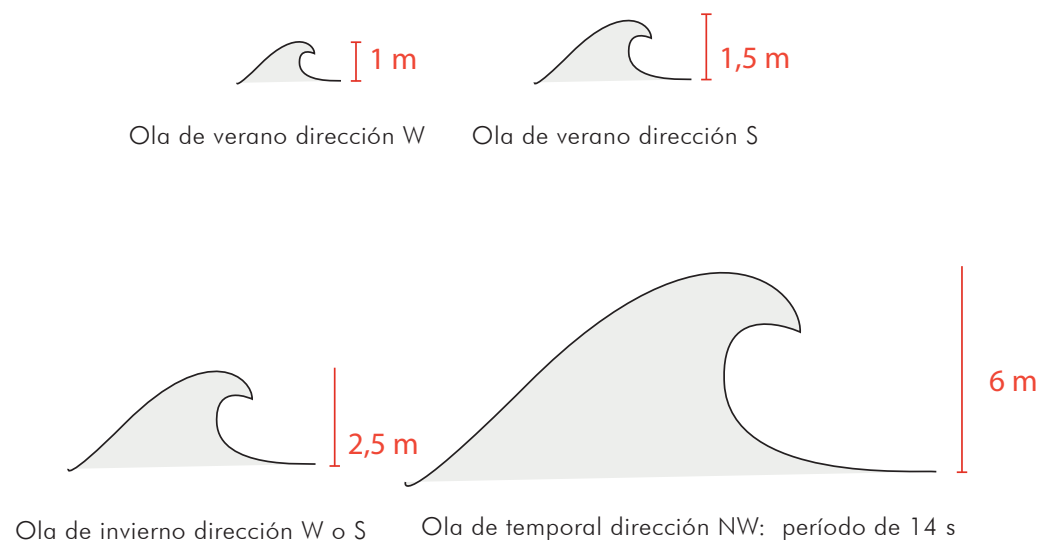


Figura 220. Olas en Bahía de Valparaíso.
Fuente: Elaboración propia

Períodos de Olas según temporada

Otoño-Invierno: 10-14 segundos

Primavera- Verano: 8-12 segundos

Temporal: 14 segundos

Período significativo para un año típico: 12 segundos

Estudio de olas en Quintero

El oleaje en la bahía de Quintero es complejo. Está conformado por olas de corto periodo tipo sea generadas por los vientos locales en el interior de la bahía, pero también se presentan olas tipo swell que inciden desde aguas profundas que, para efecto de este proyecto, son las de mayor relevancia.

El oleaje swell se genera tanto por los campos de vientos en el Pacífico Sur, como por vientos en el Hemisferio Norte, de manera que la incidencia local a la cuadra de Quintero puede corresponder a estados de mar resultantes de la superposición de oleajes con distintas direcciones, alturas y periodos. En términos espectrales, los estados de mar suelen presentar condiciones bi-modales tanto en dirección como en el dominio de la frecuencia.

Oleaje reinante en aguas profundas: dirección general SW.

Periodos pico largos hasta 22s

Oleaje dominante: dirección general NW.

En los temporales de invierno: oleaje desde el 4to cuadrante, debido a que los fetch se ubican más cerca de la costa, suelen tener periodos menores -10 a 14s-.

En los meses de verano: cuando en el hemisferio norte ocurren temporales de invierno de gran magnitud, estas olas pueden alcanzar el hemisferio sur, y pueden incidir en el litoral central con alturas relativamente bajas, pero con periodos pico largos de hasta 24s.

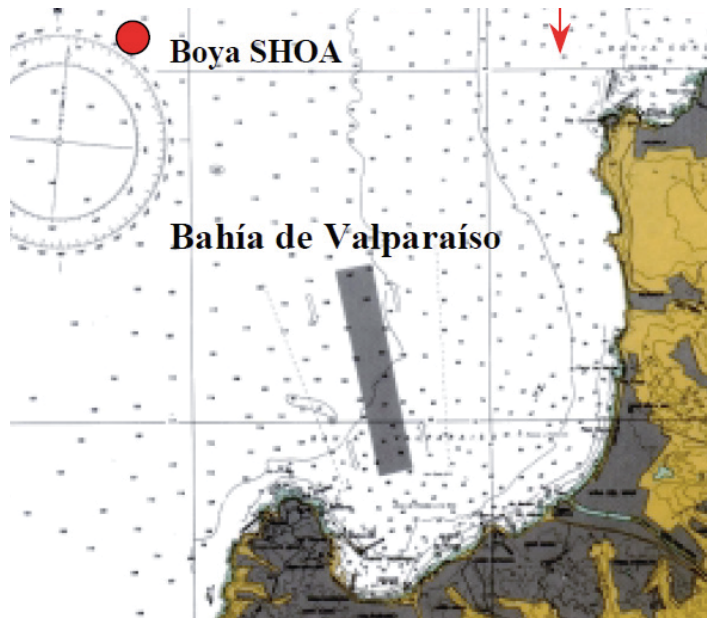
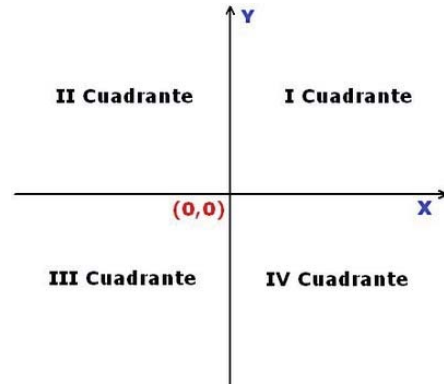


Figura 221. Boya SHOA en Bahía de Valparaíso.

Clima de oleaje de aguas profundas en Quintero:

Oleaje swell:

El régimen de oleaje se ve dominado por el swell que alcanza, durante el periodo analizado (20 años), alturas significativas de $H_s = 6.8\text{m}$ y periodos medios de hasta 16.4s . Casi el 70% de las alturas significativas son menores a $H_s = 3\text{m}$, con casi un 50% entre $H_s = 2$ y 3m . Más de un 95% del swell proviene del 3er cuadrante, con una concentración de aprox. 60% de incidencia del SW.

Oleaje sea:

Las condiciones del oleaje sea son igualmente exigentes, alcanzando alturas de hasta $H_s = 6.6\text{m}$ y periodos medios apenas superiores a 8.6s . Más del 95% del oleaje presenta alturas significativas menores a $H_s = 3\text{m}$, con casi un 60% bajo $H_s = 0.5\text{m}$. Las direcciones son mayoritariamente del 3er cuadrante, donde casi la totalidad proviene del sector S a SW, con las mayores alturas provenientes tanto del N como del SSW, sin embargo las ocurrencias son mayores para el 3er cuadrante.

Los periodos picos más recurrentes corresponden a 12 y 14s . La estadística de Fugro-Oceanor registra un 73% aprox. de eventos en estos periodos y la estadística de la boya un 64% aprox.

Altura significativa: $H_s = 0.97$

Oleaje en la Monoboya

Los periodos pico se concentran entre los 10 y 16s (90%) con un valor medio de $T_p = 12.3s$.

Las alturas de ola en la boya son relativamente bajas, casi un 80% del tiempo se presenta con alturas significativas menores a $H_s = 1.5m$. La máxima altura significativa de la serie de tiempo de 20 años, alcanza a $H_s = 4.6m$.

En cuanto a la estacionalidad, se observa que la altura H_{mo} media del oleaje se mantiene casi invariable durante el año. En cambio, las alturas máximas mensuales se presentan entre los meses de abril a octubre.

En cuanto a la variación anual, se observa una variabilidad de la altura H_{mo} media anual que acusa la influencia del fenómeno de El Niño en años como 1987, 1992, 1993 y 1998.

En la mayoría de los años, las alturas máximas sobrepasan los $H_{mo} = 3.0m$, lo que ocurriría sólo en los meses de invierno.

Con el clima local de oleaje se evaluó las tormentas extremas, en función del periodo de retorno. Para $T_r = 100$ años la altura de oleaje local es de $H_s = 4.8m$ con un intervalo de confianza del 90% de $H_s = 4.3m$ a $5.3m$. Dada la profundidad en la que se ubica la monoboya, de aprox. 50m, la condición del oleaje extremo es no-rompiente.

Respecto a la presencia de ondas largas, mediciones locales permitieron establecer que sus alturas significativas son aprox. un 3% de la altura significativa del oleaje, con períodos en el rango de 32 a 64s.

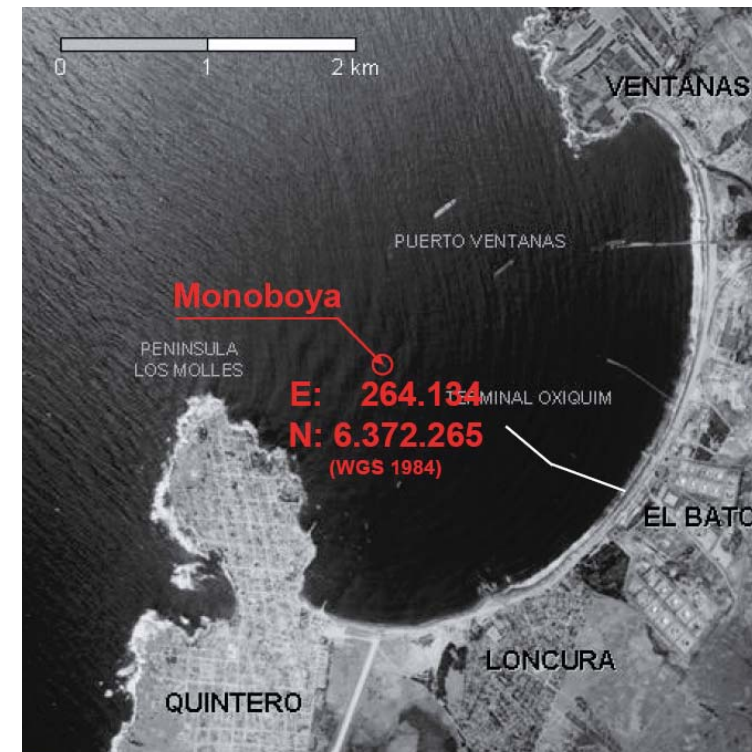


Figura 222. Monoboya en Quintero.

Oleaje producido por corrientes y vientos en la Bahía de Valparaíso

Primavera - Verano

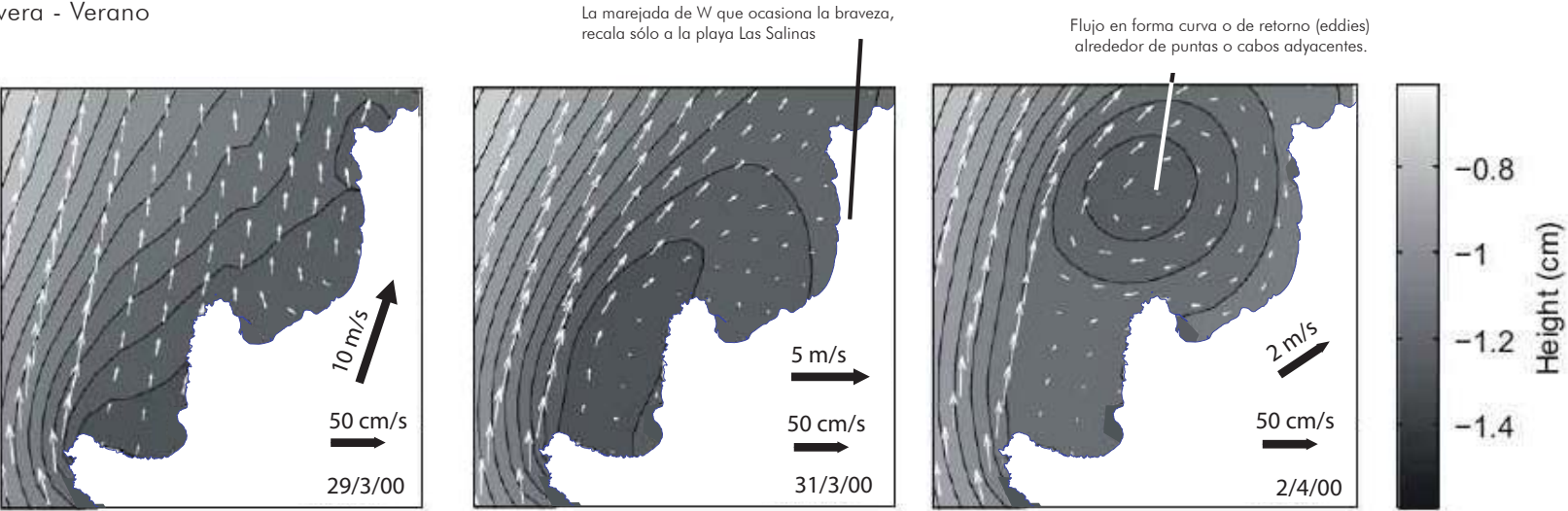


Figura 223. Desarrollo de un eddie en Punta Curaumilla durante 29 de Marzo y 2 de Abril del 2000, la velocidad superficial es indicada con vectores blancos, y la elevación del nivel del mar por colores degradados. La velocidad y dirección del viento, está dada por una flecha negra. Fuente: Aiken, 2008 (Intervenido)

Invierno

Viento Norte durante los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto. Los vientos en invierno pueden alcanzar los 50 nudos y excepcionalmente mayores para la condición de invierno y dirección NW del oleaje incidente en punta Ángeles, Cartes-Zurita (2005) observa que las corrientes producen una circulación en dirección al sector puerto y una recirculación en el sector frente a playa San Mateo.

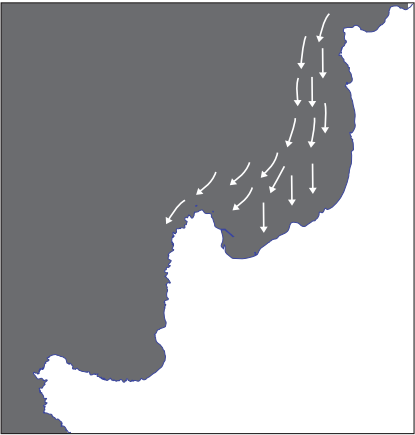


Figura 224. Viento Norte Bahía de Valparaíso. Fuente: Elaboración propia.

“La amplia bahía de Valparaíso es abierta con su boca hacia el norte, por lo que la circulación del agua en su interior está condicionada por diversos factores. Entre ellos cabe destacar la circulación oceánica próxima, correspondiente al sistema de corrientes Chile-Perú (Humboldt), la onda de marea que se propaga hacia el sur, la protección de los vientos del sur, y la batimetría” (Avaria,1989).

Aiken (2008), simuló la corriente superficial por 4 años, y logra identificar un jet costero conducido hacia el ecuador por vientos persistentes llamada Corriente Costera de Chile. Propone que, debido a que esta corriente costera es acelerada por procesos de surgencia (transporte de Ekman), como los de punta Curaumilla o punta Topocalma, originan un segundo flujo en forma curva o de retorno (eddies) alrededor de puntas o cabos adyacentes.

5. Escala de medición del oleaje

Existe una relación entre la velocidad del viento y la altura de la ola. Si comparamos las escalas de Beaufort y Douglas tenemos la siguiente tabla:

Valor Escala Beaufort	Nombre Escala Beaufort	Velocidad en			Efectos del viento en tierra y en el mar	Altura de las olas (m)	Valor Escala Douglas	Nombre Escala Douglas
		Nudos	Km/h	M/h				
0	Calma	0	0	0	Las hojas de los árboles no se mueven. El humo se eleva verticalmente. Mar completamente en calma, como un espejo	0	0	Llana
1	Ventolina	1 - 3	1 - 5	1 - 3	Las hojas de los árboles no se mueven, el humo se eleva en pequeñas ondulaciones. En el mar pequeñas ondulaciones, rizos como escamas de pescado pero sin espuma.	0,1	1	Rizada
2	Flojito	4 - 6	6 - 11	4 - 7	Las hojas de los árboles susurran. Las banderas ondean ligeramente. Ola pequeñas en el mar, de apariencia vítrea, sin romperse	0,2 - 0,5	2	Marejadilla
3	Flojo	7 - 10	12 - 19	8 - 11	Las hojas de los árboles están en constante movimiento. Las banderas están extendidas al viento. Pequeñas olas en el mar, crestas rompientes, espuma de aspecto vítreo aislados vellones de espuma	0,6 - 1	3	Marejada
4	Bonancible- moderado	11 - 16	20-28	12-18	Las ramas pequeñas de los árboles se mueven. Las banderas ondean. Pequeñas olas creciendo, cabrilleo numeroso y frecuente de las olas	1 - 2	4	Fuerte marejada
5	Fresquito	17 - 21	29-38	19-24	Se balancean los árboles pequeños. Las banderas ondean dando aletazos. Olas medianas alargadas, cabrilleo (con salpicaduras)	2 - 3	5	Mar gruesa
6	Fresco	22 - 27	39 - 50	25 - 31	Las ramas grandes de los árboles se balancean. Las banderas ondean fuertemente. Se forman olas grandes, crestas de espuma blanca y salpicaduras	3 - 4	6	Muy gruesa
7	Frescachón	28 - 33	51 - 61	32 -38	Los árboles grandes se mueven fuertemente. El mar crece; la espuma blanca que proviene de las olas es arrastrada por el viento	4 - 5,5	6	Muy gruesa
8	temporal	34 - 40	62 - 74	39-46	Las ramas pequeñas de los árboles se rompen. Olas de altura media y mas alargadas, del borde superior de sus crestas comienzan a destacarse torbellinos de salpicaduras	5,5 a 7	7	Arbolada
9	Fuerte temporal	41 - 47	75 - 88	47-54	Las ramas grandes de los árboles se rompen. Las tejas vuelan de los tejados. Grandes olas, espesas estelas de espuma a lo largo del viento, las crestas de las olas se rompen en rollos, las salpicaduras pueden reducir la visibilidad	7 - 9	8	Montañosa
10	Temporal duro	48 - 55	89-101	55-63	Los arboles son arrancados. Se producen daños en los edificios. Olas muy grandes con largas crestas en penachos, la espuma se aglomera en grandes bancos y es llevada por el viento en espesas estelas blancas en conjunto la superficie esta blanca, la visibilidad esta reducida	10- 11,5	8	Montañosa
11	Temporal muy duro	56 - 63	102-117	64-74	Se producen daños generalizados en árboles y edificios. Olas de altura excepcional, (pueden perderse de vista tras ellas barcos de tonelaje pequeño y medio), mar cubierta de espuma, la visibilidad esta reducida	11,5- 14	8	Montañosa
12	Temporal huracanado	+ 64	+ 117	+ 75	Grandes y extensos daños en edificios. Muchos árboles arrancados. En el mar aire lleno de espuma, salpicaduras, mar cubierto de espuma visibilidad muy reducida	+14	9	Enorme

Figura 225. Tabal escala de Beaufort y Douglas. Fuente: Vidal, 2008. Teoría de Olas y Comportamiento del Buque en la Mar.



CARTA DE ESTADO DE MAR Y ESCALA BEAUFORT



FUERZA 0 : Viento menor de 1 nudo.
Aspecto del mar : Como espejo.
Altura de la ola : 0 m
Estado del mar : Calma



FUERZA 1 : Viento 1-3 nudos.
Aspecto del mar : Pequeños rizos con apariencia de escala. Crestas sin espuma.
Altura de la ola : 0,1 m
Estado del mar : Llana



FUERZA 2 y 3 : Viento 4 - 10 nudos.
Aspecto del mar : Olas pequeñas. Crestas comienzan a romper. Escasos rizos.
Altura de la ola : 0,1 - 0,5 m
Estado del mar : Rizada



FUERZA 4 : Viento 11 - 16 nudos.
Aspecto del mar : Olas pequeñas se hacen más grandes. Rizos más definidos.
Altura de la ola : 0,5 - 1,25 m
Estado del mar : Marejadilla



FUERZA 5 : Viento 17 - 21 nudos.
Aspecto del mar : Olas moderadas aumentan en forma. Rizos blancos en aumento. Aparecen rociadores.
Altura de la ola : 1,25 - 2,5 m
Estado del mar : Marejada



FUERZA 6 : Viento 22 - 27 nudos.
Aspecto del mar : Se forman olas más grandes. Rizos blancos por todas partes, más rociadores.
Altura de la ola : 2,5 - 4,0 m
Estado del mar : Gruesa



FUERZA 7 : Viento 28 - 33 nudos.
Aspecto del mar : Olas se amontonan. La espuma de crestas que rompen fluyen elevadas por el viento.
Altura de la ola : 4,0 - 6,0 m
Estado del mar : Muy gruesa



FUERZA 8 : Viento 34 - 40 nudos.
Aspecto del mar : Olas de altura media y mayor longitud. Rociadores se desprenden de las olas en la dirección del viento.
Altura de la ola : 6,0 - 8,0 m
Estado del mar : Arbolada



FUERZA 9 : Viento 41 - 47 nudos.
Aspecto del mar : Olas altas. Crestas comienzan a enrollarse. Gran cantidad de rociadores reducen la visibilidad.
Altura de la ola : 8,0 - 10,0 m
Estado del mar : Arbolada alta



FUERZA 10 : Viento 48 - 55 nudos.
Aspecto del mar : Olas muy altas, con crestas colgantes en aumento. La visibilidad es aún más reducida.
Altura de la ola : 10,0 - 12,5 m
Estado del mar : Montañosa



FUERZA 11 : Viento 56 - 63 nudos.
Aspecto del mar : Olas excepcionalmente altas. Mar cubierto de espuma blanca en forma de parches. La visibilidad se reduce más aún.
Altura de la ola : 12,5 - 16,0 m
Estado del mar : Confusa



FUERZA 12 : Viento mayor de 64 nudos.
Aspecto del mar : El aire está lleno de espuma y rociadores. El mar está completamente blanco debido a bancos de espuma, la visibilidad es muy reducida.
Altura de la ola : Mayor de 16,0 m
Estado del mar : Huracanado

Figura 226. Carta de Estado de Mar y Escala Beaufort. Fuente: SHOA, 2013, Chile, Carta N° 3 “Estado del Mar y Fuerza Beaufort”. Disponible en: <http://www.shoa.cl/Vaul/Vaul/meteoronavegacion/tema5.htm>

En la siguiente tabla se muestra la escala de Beaufort y la escala OMI, donde se detallan los datos de las olas para cada número de la escala de Beaufort.

VIENTO

MAR

DESCRIPCION	ESCALA BEAUFORT						DESCRIPCION	ESCALA OMI (IMO)								
	LIMITES DE VIENTO (NUDOS)							PERIODO SIGNIFICATIVO T _{1/3} (SEGUNDOS)								
	PROMEDIO							PERIODO MAXIMA ENERGIA (SEGUNDOS)								
	SIGNIFICATIVA - 1/10 ALTURA DE LAS OLAS MENORES							LONGITUD MEDIA DE LA COSTA A 500 VIENTOS (MILLAS)								
CALMA	0	0-1	0	0	0	0	CALMA	0	—	—	—	—	—	—	—	—
VENTOLINA	1	1-3	2	0.01	0.02	0.03	RIZADA	1	0.0-1.2	0.7	0.5	0.25	5	8 M.N.		
FLOJO (Brisa muy debil)	2	4-6	5	0.06	0.09	0.11			0.1-2.8	2.0	1.4	2.04	8	29 M.N.		
FLOJO (Brisa debil)	3	7-10	8.5	0.16	0.31	0.37	MAREJADILLA	2	0.8-5.0	3.4	2.4	6.10	9.8	17 HRS		
			10	0.27	0.43	0.55			1.0-6.0	4	2.9	8.23	10	24		
			12	0.43	0.67	0.85			1.0-7.0	4.8	3.4	12.19	18	35		
BRANZCIBLE MODERADO (Brisa moderada)	4	11-16	13.5	0.55	0.88	1.13	MAREJADA	3	1.4-7.6	5.4	3.9	15.65	24	43		
			14	0.61	1.01	1.43			1.5-7.8	5.6	4.0	17.98	28	52		
			16	0.83	1.40	1.77			2.0-8.8	6.5	4.6	21.64	40	66		
			18	1.16	1.86	2.32			2.5-10.0	7.2	5.1	27.43	55	83		
FRESQUITO (Brisa fuerte)	5	17-21	19	1.31	2.10	2.65	FUERTE MAREJADA	4	2.8-10.6	7.7	5.4	30.17	65	92		
			20	1.57	2.44	3.05			3.0-11.1	8.1	5.7	33.83	75	10		
			22	1.69	3.05	3.96			3.4-12.2	8.9	6.3	40.84	100	12		
FRESCO (Brisa fuerte)	6	22-27	24	2.41	3.66	4.88	GRUESA	5	3.7-13.5	9.7	6.8	48.77	130	14		
			24.5	2.50	3.96	5.18			3.8-13.6	9.9	7.0	49.99	140	15		
			26	2.83	4.57	6.10	MUY GRUESA	6	4.0-14.5	10.5	7.4	52.30	180	17		
			28	3.35	5.49	7.01			4.5-15.5	11.3	7.9	64.62	230	20		
FRESCACHON (Viento fuerte)	7	28-33	30	4.27	6.71	8.53	ARBOLADA	7	4.7-16.7	12.1	8.6	76.20	280	23		
			30.5	4.27	7.01	8.84			4.8-17.0	12.4	9.7	78.64	290	24		
			32	4.55	7.92	10.06			5.0-17.5	12.9	9.1	86.57	340	27		
			34	5.79	9.14	11.58			5.5-18.5	13.6	9.7	98.15	420	30		
TEMPORAL	8	34-40	36	6.40	10.67	13.41	MONTAÑOSA	8	5.8-19.7	14.5	10.3	110.64	500	34		
			37	7.01	11.28	14.23			6-20.5	14.9	10.5	114.60	530	37		
			38	7.62	12.19	15.24			6.2-20.6	15.4	10.7	119.48	600	38		
			40	8.53	13.72	17.68			6.5-21.7	16.1	11.4	135.33	710	42		
TEMPORAL FUERTE	9	41-47	42	9.45	15.24	19.51			7-23	17.0	12.0	149.56	830	47		
			44	11.58	17.68	22.25			7-24.2	17.7	12.5	162.76	960	52		
			46	12.19	19.51	24.69			7-25	18.6	13.1	179.83	1110	57		
			48	13.41	21.64	27.43			7.5-26	19.4	13.8	198.12	1250	63		
TEMPORAL DURO	10	48-55	50	14.93	23.77	31.17	ENORME	9	7.5-27	20.2	14.3	212.36	1420	69		
			51.5	15.55	25.30	32.31			8-28.2	20.8	14.7	224.33	1560	73		
			52	15.46	26.52	33.53			8-28.5	21.0	14.8	228.60	1610	75		
			54	17.58	28.96	36.88			8-29.5	21.8	15.4	246.89	1800	81		
TEMPORAL MUY DURO	11	56-63	56	19.51	31.39	39.62			8.5-31	22.6	16.3	277.33	2100	88		
			59.5	22.25	35.36	45.11			10-32	24	17.0	300.23	2500	101		
TEMPORAL HURACANADO	12	64-71	> 64	24.35 ^b	39.01 ^b	49.99 ^b			10-35	(26)	(18)	~	~	~		

a) La duracion y alcance para vientos huracanados y a menudo para vertarrones y tormentas, ti vez se alcanza y por consiguient los mares no se desarrollan plenamente.

a) La casilla sombreada indica cu valor tabulado corresponde al p central de la escala de Beaufort

b) Para tales vientos, el estado de mar es confuso. Las crestas de olas se dispersan y el agua se mezcla con el aire

* La duracion y alcance para vientos huracanados y a menudo para vertarrones y tormentas, si vez se alcanza y por consiguiente los mares no se desarrollan plenamente.

a) La casilla sombreada indica el valor tabulado corresponde al promedio de la escala de Beaufort.

b) Para tales vientos, el estado de mar es confuso. Las crestas de olas se dispersan y el agua se mezcla con el aire.

Figura 227. Escala de Beaufort. Fuente: D.Bravo, 2008, Propuesta de generación de energía mediante olas. Valdivia, Chile. Escuela de Ingeniería Naval, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile.

C. Teoría de formación de olas en cuerpos flotantes en movimiento

En esta sección se explica de manera conceptual cómo influye el comportamiento del agua en el de las embarcaciones mientras éstas navegan.

Fuerzas que intervienen en el estudio de los movimientos del buque se pueden clasificar de la siguiente forma:

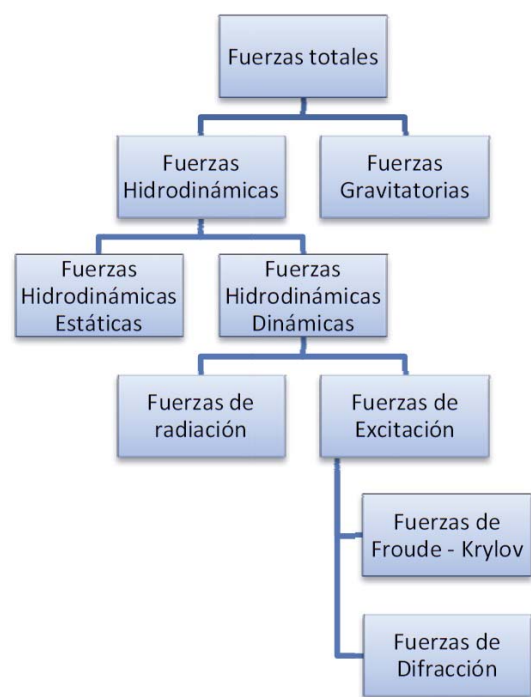


Figura 228. Fuerzas que intervienen en el movimientos de un buque.
Fuente: Vidal, 2008

1. Aguas profundas para el caso de embarcaciones

Para las olas generadas por un buque, la regla de aguas profundas planteada en la página 186 de la presente tesis no se aplica, ya que puede llevar a errores. La mejor medida de la profundidad para estas olas es el número de Froude basado en la profundidad mostrada en la formula siguiente:

Numero de Froude basado en la profundidad:

$$F_{nh} = \frac{V}{\sqrt{gh}}$$

Donde

V : velocidad del buque

g: gravedad

h: profundidad del agua

Cuando el cociente entre la profundidad y la eslora en la flotación es mayor que uno, se puede considerar que la profundidad no afecta a la formación de olas. La ola no percibe el fondo.

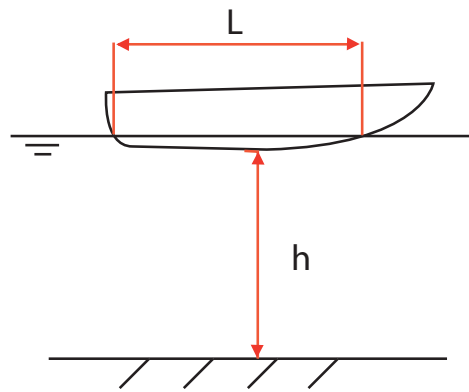


Figura 229. Esquema Aguas profundas para el caso de embarcaciones. Fuente: Alaez, 1991

Osea si la eslora en la flotación de una embarcación es 10 m, para que no afecte la profundidad a la formación de olas, esta profundidad debe ser mayor que 10 m.

Si,

$$\frac{\text{PROFUNDIDAD (h)}}{\text{ESLORA EN LA FLOTACIÓN (L)}} > 1$$

 ...entonces la profundidad no afecta a la formación de olas

2. Patrón de olas según Kelvin

La explicación básica del sistema de olas que genera cualquier cuerpo flotante se le atribuye a Lord Kelvin (1887). Quien considero un simple punto de presión que se mueve sobre la superficie del agua, el cual genera un patrón de olas característico. Donde se considera un tren de olas transversales que van detrás del punto de presión, junto con una serie de olas divergentes que se irradian desde el punto de presión y que forma un ángulo de $19^{\circ}28'$ con respecto a la línea de avance.

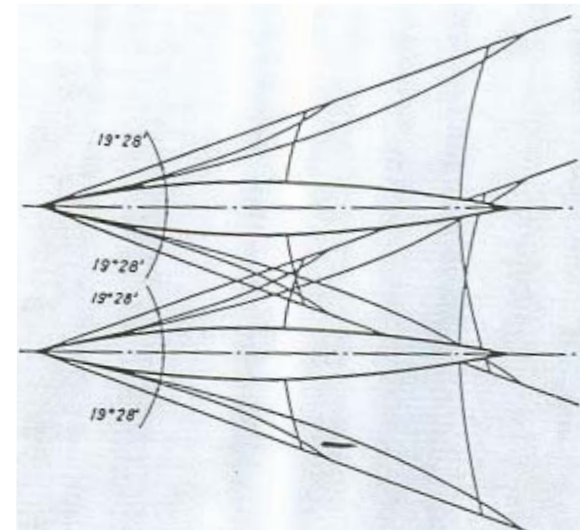


Figura 230. Ángulo de olas divergentes característicos a partir de un sólo punto de presión, según Kelvin. Fuente: Alaez, 1991. Catamaranes de Alta Velocidad, Publicación num. 130, Madrid, España

Las olas transversales se mueven a la misma velocidad del buque y su longitud puede ser deducida por la formula:

$$\lambda = 2 \cdot \pi \cdot V^2 / g$$

Para el caso de las embarcaciones es posible distinguir mas de un patrón de olas de Kelvin, por lo general uno en la proa y otro en la popa.

Como antes se mencionó, la longitud de la ola se puede deducir a partir de la velocidad del buque (fórmula anteriormente expresada), esto fue lo que relacionó Froude a través del número adimensional que lleva su nombre, en otras palabras relaciona la velocidad del buque con la longitud de las olas transversales del primer punto de presión del buque (proa).

De todas formas hoy se tiene el conocimiento que la formación de olas es producto de la distribución de presiones alrededor del casco debido a las velocidades del flujo que lo envuelve y no de un sólo punto de presión.

La formación de olas es solo posible si existe una superficie libre de fluido en contacto con otro, en este caso el agua con el aire. Ya que los cuerpos sumergidos en movimiento también desarrollan una distribución de presiones producto de las velocidades alrededor del casco pero sin la cercanía de la superficie libre no generan olas.

El patrón de olas Kelvin se da para el caso en que la embarcación navegue en aguas profundas, concepto que fue explicado en la página 197.

3. Patrón de olas según Número de Froude basado en la profundidad (F_{nh})

El número de Froude basado en la profundidad resulta crítico en la determinación las características de las olas en aguas poco profundas, al igual que el F_n : Número de Froude basado en la eslora, lo es en aguas profundas.

Sin embargo, la influencia de F_{nh} (profundidad) es mucho más visible que la de F_n (eslora).

A partir del Número de Froude basado en la profundidad del agua (fórmula anterior), podemos hablar de tres tipos de regímenes de fluidos:

Regimen de fluido crítico ($F_{nh} = 1$)

Regimen de fluido subcrítico ($F_{nh} < 1$)

Regimen de fluido supercrítico ($F_{nh} > 1$)

Para valores subcríticos de F_{nh} y para valores del número de Froude inferiores a 0.9, tenemos el patrón de olas de Kelvin clásico, como se muestra en la siguiente figura.

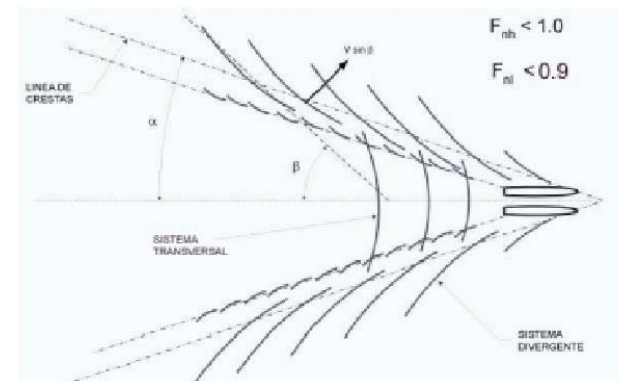


Figura 231 . Patrón de olas de Lord Kelvin en régimen subcrítico, Fuente: Alaez, 1991. Catamaranes de Alta Velocidad, Publicación num. 130, Madrid, España

Para buques navegando a un número de Froude mayor o igual que 1 (fluido supercrítico, desaparece el tren de olas transversal.

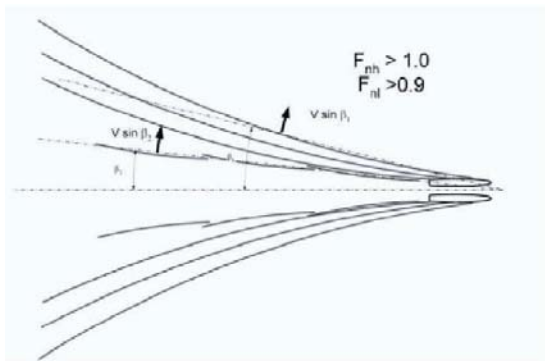


Figura 232. Régimen supercrítico: desaparición de las olas transversales por un $F_{nh} > 1$ Fuente: Alaez, 1991. Catamaranes de Alta Velocidad, Publicación num. 130, Madrid, España



Figura 233. Embarcaciones navegando en régimen subcrítico (izquierdo) y supercrítico (derecha) Fuente: Alaez, 1991. Catamaranes de Alta Velocidad, Publicación num. 130, Madrid, España

Se puede observar que el régimen subcrítico, el de la izquierda produce trenes de olas transversales, mientras que el supercrítico, el de la derecha, no posee este tipo de olas.

También nos damos cuenta que la longitud de la ola del barco que va más rápido (el de la derecha) son más grandes que las del barco más lento (izquierda).

En ambos casos se mantienen las olas divergentes, que se caracterizan por ser grupos de olas de periodos cortos y largos.

Número de Froude basado en la eslora

El Número de Froude regula la distribución de la ola generada por la embarcación en su movimiento a lo largo de su eslora. Sabemos que cuando una embarcación se mueve sobre el agua, la carena produce un reparto discontinuo de presiones que provoca olas; la distribución de estas olas generadas por el casco dependerá de la eslora del barco y la velocidad a la que se mueva.

Es un coeficiente adimensional, y tiene la siguiente expresión:

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g * L}}$$

Donde

V : velocidad del buque (m/s)

g: gravedad (m/s²)

L: eslora en la flotación (m)

Cuando el numero de Froude es igual a 0,45, la resistencia aumenta más rápidamente con la velocidad, provocado por el trimado y por la altura de las olas generadas. En este punto es cuando la eslora de la flotación coincide con la longitud de la ola generada por el casco.

A partir del número de Froude se puede determinar el régimen de desplazamiento de la embarcación. En función de la velocidad y la eslora de la embarcación, podemos hablar de tres tipos de regímenes de navegación, esto son:

Régimen de desplazamiento ($F_n < 0,35$) ($0 < F_n < 0,6$)

Régimen de semidesplazamiento ($0,35 < F_n < 0,45$) ($0,6 < F_n < 1,3$)

Régimen de planeo ($F_n > 0,45$) ($F_n > 1,3$). Donde la presión hidrodinámica supera a la hidrostática

Habrà que tener en cuenta en la elección del número de Froude del barco, que este valor influirá directamente en otros importantes parámetros de diseño, tales como la velocidad de diseño, el coeficiente prismático, y la posición longitudinal del centro de carena.

Frecuencia de encuentro

El movimiento creado por la fuerza de excitación depende, en magnitud, de la fuerza de excitación y su frecuencia. La respuesta de un barco a la fuerza de excitación no es diferente. Sin embargo, la frecuencia de excitación de la fuerza no sólo depende de la frecuencia de la ola, sino que también de la velocidad y la dirección del barco. El parámetro importante es la frecuencia de encuentro, que tiene en cuenta la velocidad relativa del barco y de las olas del mar.

Si la frecuencia de encuentro es igual a la frecuencia natural de flexión de la estructura del barco, entonces entra en resonancia.

¿Qué condición de olas produce una máxima respuesta en la estructura del buque?

Si la frecuencia de encuentro es igual a la frecuencia natural de flexión, la estructura entra en resonancia. La máxima respuesta se tiene cuando la longitud de ola es igual a la eslora entre perpendiculares.

D. Resistencia a la marcha en multicascos

1. Comportamiento a distintas velocidades

En general en la zona de bajos números de froude (baja velocidad) la resistencia al avance de un catamarán es mayor en comparación a un monocasco de igual eslora y desplazamiento. En estas condiciones predomina la resistencia por fricción.

Para velocidades mayores, en las que la resistencia por formación de olas predomina, es difícil saber lo que puede pasar.

A baja velocidad, los catamaranes ofrecen mayor resistencia friccional que el monocasco

Cuando menos superficie mojada posea el casco, menor será la perturbación que el paso de la embarcación produce sobre la superficie del agua. Esto hace que la resistencia al avance sea menor.

Cuando los catamaranes van a baja velocidad, poseen mayor superficie mojada que un monocasco comparable. Es por esto que a baja velocidad los catamaranes ofrecen mayor resistencia friccional que el monocasco.

En la figura siguiente se dan valores de la superficie mojada de formas semejantes del mismo volumen, con uno y dos cascos; en el mejor de los casos el incremento en superficie mojada de los cuerpos dobles sobre los sencillos ronda el 40%.

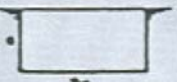
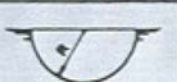
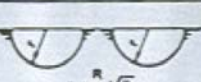
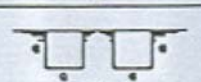
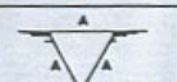
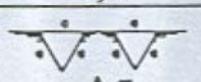
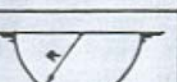
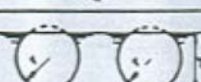
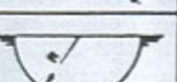
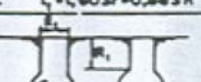
Nº	Cuerpo de un solo casco.	$\frac{B}{T}$	Cuerpos del catamarán de idéntico volumen.	$\frac{B}{T}$	Factor por el que se incrementa la superficie mojada
1		2,0		1,2	50 %
2		2,0		1,0	50 %
3		1,0		0,5	66,7 %
4		1,6		0,38	80 %
5		2,0		2,0	41,4 %
6		1,0		1,0	41,4 %
7		1,6		1,6	41,4 %
8		2,0		1,20	55 %
9		2,0		0,33	103 %

Figura 234. Incremento de la superficie mojada de formas semejantes del mismo volumen , con uno y dos cascos.
Fuente: Alaez, 1991. Catamaranes de Alta Velocidad, Madrid, España. Publicación num. 130, Canal de Experiencias Hidrodinámicas, El Pardo, Ministerio de Defensa.

A alta velocidad, los catamaranes poseen similar superficie mojada que el monocasco

Cuando se produce planeo, a mayor velocidad, la diferencia en superficie mojada con la de un monocasco de igual eslora y desplazamiento es mínima debido a que en esa situación solamente es el fondo de la embarcación el que está en contacto con el agua, actuando las fuerzas hidrodinámicas por sobre las hidrostáticas.

¿Qué ocurre con la resistencia en catamaranes navegando a altas velocidades?

La característica fundamental de la resistencia al avance de los multicascos, la que representa la mayor complejidad, es la resistencia que aparece por la interferencia entre los flujos que rodean a cada uno de los dos cascos.

La interferencia es de dos clases:

- Producida por sistemas de olas que generan cada uno de los cuerpos.

- Producida por el cambio en el flujo alrededor de un casco, debido a la presencia del otro. (este existe aunque no hubiera superficie libre, es decir en cuerpos totalmente sumergidos también está presente)

2. Resistencia producida por formación de olas en multicascos

La interferencia debido a las olas nace de la superposición de los sistemas de olas generadas por cada cuerpo, y puede modificar el valor de la resistencia por formación de olas, especialmente en la zona de velocidad alta en la que esta clase de resistencia es alta.

Cuando los senos o crestas de las olas producidas por los cascos coinciden, la amplitud del sistema de olas resultante es mucho mayor, por lo tanto aumenta este tipo de resistencia. Como las proas de los cascos van situadas en la misma posición longitudinal, lo más probable que las olas transversales se refuercen, aumentando la resistencia por formación de olas.

En los monocascos, las olas generadas por la popa cancelan las que provienen de la proa.

Como se ha dicho antes, cuando la longitud de las olas transversales coincide con la longitud de la eslora del barco ($F_n = 0,4$), la resistencia es máxima. Para muchos monocascos o catamaranes con mucha separación transversal, la velocidad a la que se produce esto, marca un límite difícil de superar. La única opción que queda es instalar una propulsión con mayor potencia.

La única interferencia favorable sería cancelando los sistemas de olas divergentes de cada casco. Sin embargo, las probabilidades de que se produzca una interferencia beneficiosa son muy bajas. Por eso, se aconseja no buscar una interferencia favorable, sino que evitar perturbación en la zona entre cascos. Un modo de conseguirlo es disminuir la curvatura longitudinal de la parte interior de los cascos, lo que reduce a un mínimo las olas generadas. Así nacen los cascos asimétricos con respecto a su línea de crujía, como el de la siguiente imagen.

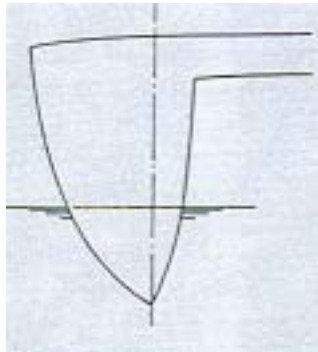


Figura 235. Casco asimétrico con respecto a su línea de crujía. Fuente: Alaez, 1991. Catamaranes de Alta Velocidad, Madrid, España. Publicación num. 130, Canal de Experiencias Hidrodinámicas, El Pardo, Ministerio de Defensa.

3. Formas de los cascos

a) ¿Qué formas de cascos se necesitan para el planeo?

La forma anterior es muy buena para evitar la formación de olas. Sin embargo cuando la embarcación debe empezar a planear y las olas producidas por la embarcación empiezan a desaparecer, es necesario otro tipo de formas. La forma anterior, al ser el costado interior recto, no da sustentación dinámica favorable al planeo de la superficie lateral y la resistencia crece bastante. Por eso los cascos asimétricos dejan de ser buenos para velocidades altas en las que se produce el planeo.

b) Interferencia producida por la forma de los cascos

Se produce por el cambio en el flujo que rodea cada casco y aparece aunque no haya superficie libre.

En cascos simétricos con respecto a la línea de crujía, el flujo alrededor de uno de sus costados es igual al flujo del otro costado.

Cuando el casco no es simétrico, los flujos ya no son idénticos, produciéndose un flujo transversal que modifica la resistencia al avance.

c) Formas en los cascos para evitar resistencia a la marcha

Para que no se resistan a la marcha, los cascos de los multicascos deben ser mucho finos y esbeltos que los de los monocascos de la misma eslora y desplazamiento.

La finura de los cascos evita que la resistencia por formación de olas crezca mucho con la velocidad y facilita el que la embarcación alcance altas velocidades.

En los cascos de catamarán, la relación eslora-manga de cada casco es siempre superior a siete a uno y lo normal es que esté entre nueve y once a uno. Son más largos y angostos que los monocascos, ya que no tienen problema de estabilidad transversal.

d) Las formas de los cascos de multicascos, se dividen en simétricas y asimétricas con respecto a la línea de crujía.

No hay una regla fija sobre qué formas son las más adecuadas para cada proyecto, pero depende en gran medida de la velocidad y de la separación entre cascos.

Si las velocidades corresponden a $Fn < 0,2$, el uso de catamaranes no es por sus ventajas hidrodinámicas, sino por otros motivos (gran cubierta, estabilidad, etc)

Cuando las velocidades corresponden a $0,2 < Fn < 0,4$, la interferencia de olas juega un papel importante. Por lo que se deben tener criterios de hidrodinámica importantes. Son adecuadas las formas asimétricas.

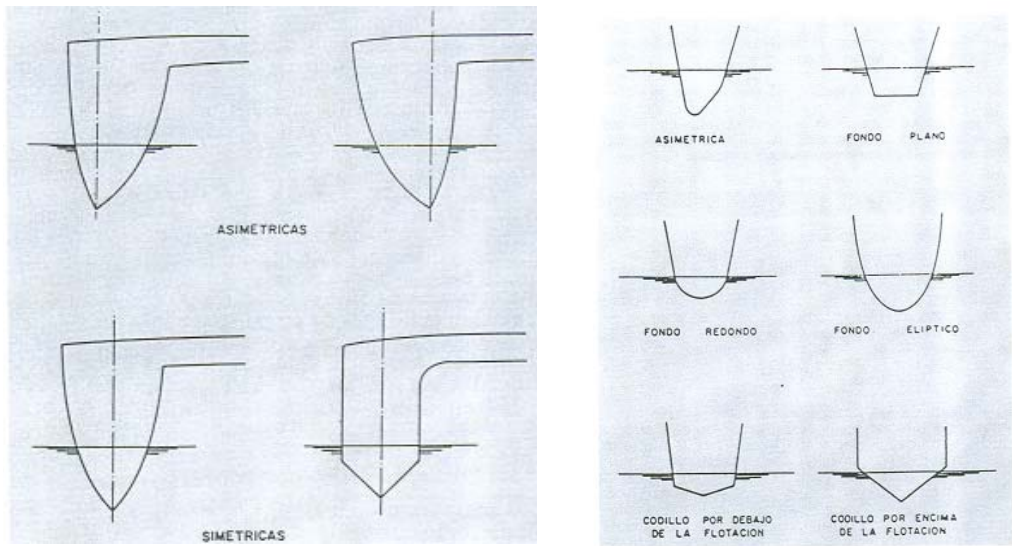


Figura 236. Formas de cascos. Fuente: Alaez, 1991. Catamaranes de Alta Velocidad, Madrid, España. Publicación num. 130, Canal de Experiencias Hidrodinámicas, El Pardo, Ministerio de Defensa.

A mayores velocidades desaparece la formación de olas, por lo que se hace necesario formas aptas para el planeo. Las formas asimétricas dejan de ser adecuadas. A estas velocidades la discusión está en si las formas más convenientes son las redondas o las que tienen codillos.

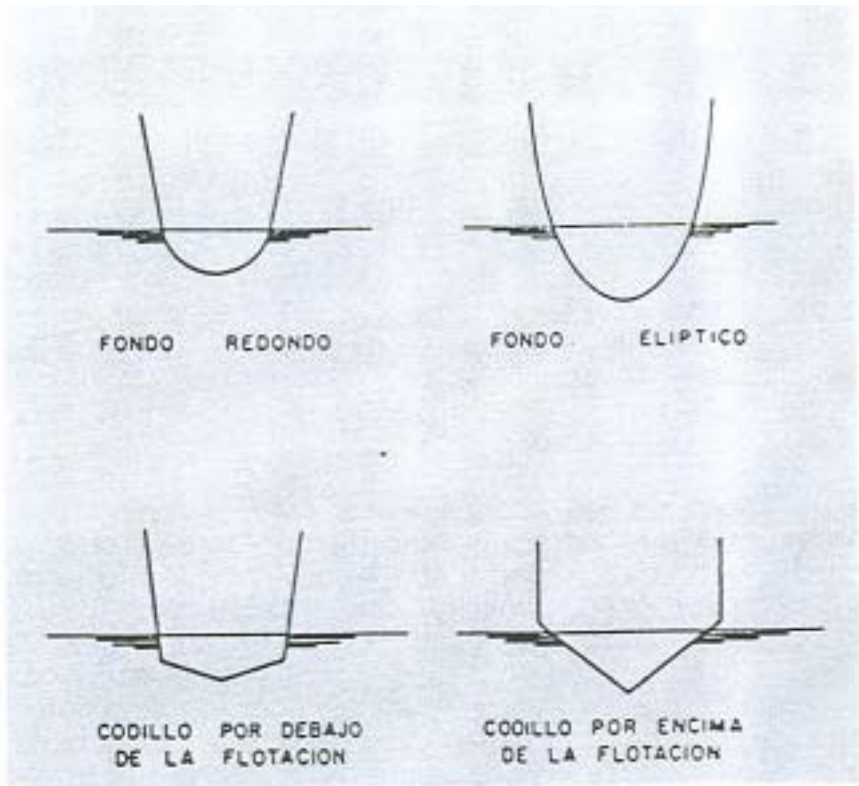


Figura 237. Formas simétricas con respecto a la línea de crujía y formas redondas o con codillo para planeo. Fuente: Alaez, 1991. Catamaranes de Alta Velocidad, Madrid, España. Publicación num. 130, Canal de Experiencias Hidrodinámicas, El Pardo, Ministerio de Defensa.

Las formas asimétricas para barcos que navegan a gran velocidad suelen ser las conocidas como “partidas” o “split out”, que se obtienen dividiendo por la línea de crujía el casco de un monocasco de alta velocidad y separar transversalmente las dos mitades. Cuando la embarcación está planeando, el agua sólo moja el fondo, con lo que, al no hacer lo mismo con los costados, la superficie mojada es la misma que tendría el barco sin partir. Desaparece, por tanto el grave inconveniente que tienen las formas asimétricas cuando la embarcación no está planeando completamente y las olas casi han desaparecido.

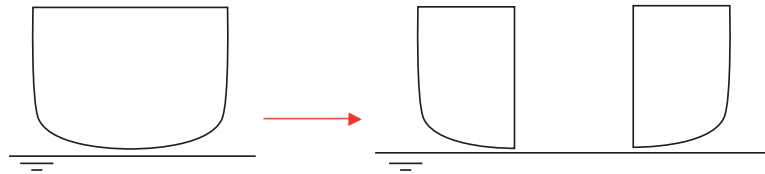


Figura 238. Esquema de embarcación “split out”, cuando la embarcación va planeando, el agua sólo moja el fondo.
Fuente: Elaborción propia

4. Comportamiento de los catamaranes en el mar

Los movimientos más críticos de un catamarán en olas son, la oscilación vertical (heave) y el cabeceo navegando con la mar de proa, ya que ambos pueden causar impactos en la parte baja de la estructura de unión.

La manera de evitar estos golpes es dándole altura sobre el nivel de flotación. Para calcularla, basta medir el movimiento vertical con respecto a la ola que produce el cabeceo y la oscilación vertical sobre un punto situado en la estructura de unión.

Al darle más altura, aumentan los momentos flectores, disminuye la estabilidad transversal al subir el centro de gravedad.

Debido a que el catamarán tiene mayor altura metacéntrica transversal, menores son las amplitudes y períodos de balance, lo que influye negativamente en la habitabilidad, produciendo mareos.

Además el comportamiento en el mar de un catamarán depende del embarque de agua, las aceleraciones en la proa y los golpes de mar en la proa. En la siguiente figura se dan las aceleraciones de la proa de diferentes vehículos en función de la altura significativa de la ola.

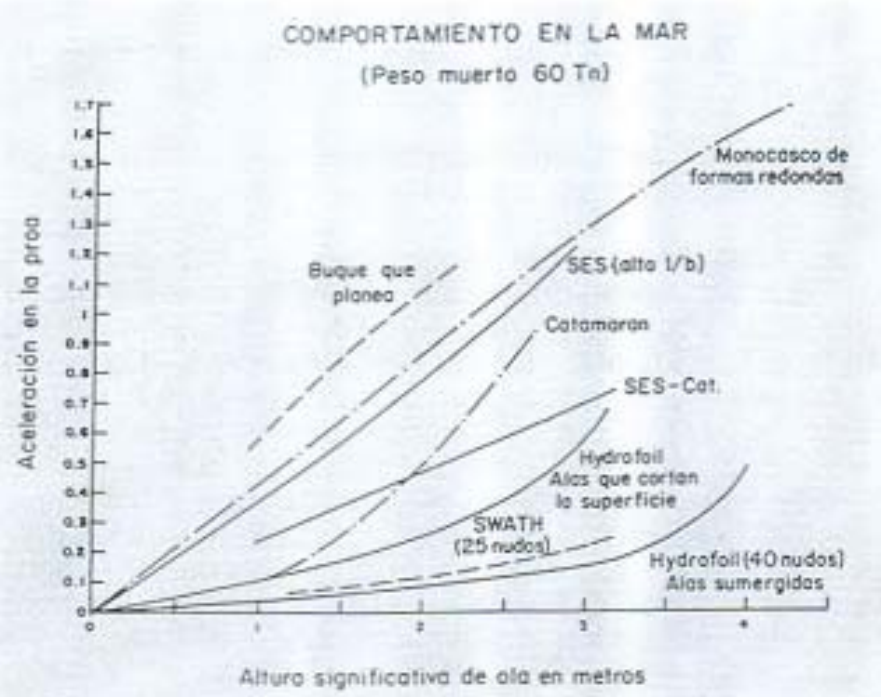


Figura 239. Aceleraciones en la proa de distintas embarcaciones, a distintas alturas de olas. Fuente: Alaez, 1991. Catamaranes de Alta Velocidad, Madrid, España. Publicación num. 130, Canal de Experiencias Hidrodinámicas, El Pardo, Ministerio de Defensa.

Una de las mayores limitaciones que tienen los catamaranes rápidos, es su comportamiento en el mar abierto, pues su capacidad para negociar la mar es escasa. Por eso su uso, la mayor parte de las veces, está limitado a aguas restringidas.

En la siguiente figura se muestran los límites de funcionamiento de catamaranes rápidos, aconsejados por el Norske Veritas.

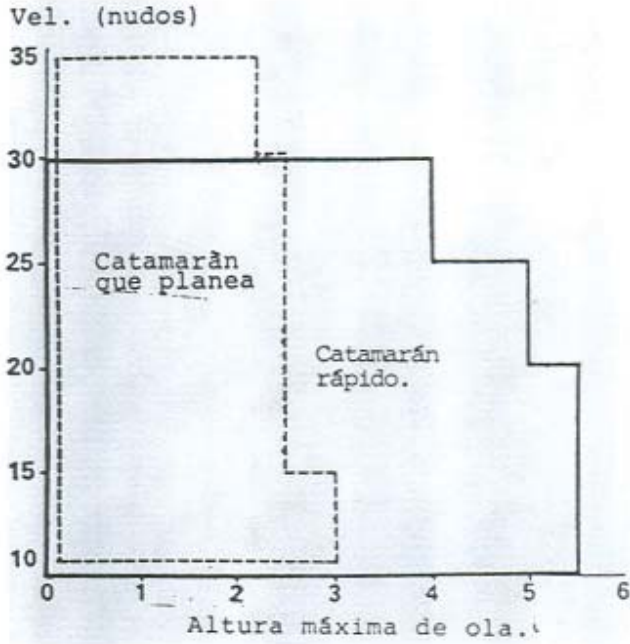


Figura 240. Límites de funcionamiento de catamaranes rápidos a distintas olas. Fuente: Alaez, 1991. Catamaranes de Alta Velocidad, Madrid, España. Publicación num. 130, Canal de Experiencias Hidrodinámicas, El Pardo, Ministerio de Defensa.

Para mejorar el comportamiento de catamaranes rápidos en mares agitados, se han propuesto nuevos proyectos. Uno de ellos es el “Wave Piercing Catamarán” que poseen unos cascos más largos, menor franco bordo (disminuye reserva de flotabilidad, reduce los movimientos por las olas), mayor separación entre cascos y situar más alta la estructura de unión. Además los cascos poseen muy poca manga, lo que hace que corte el agua en vez de seguir con su movimiento a las olas.

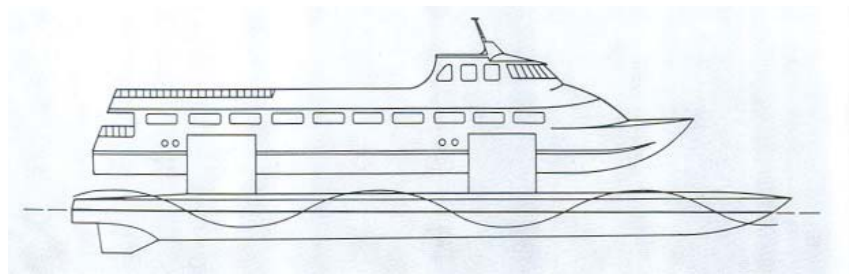


Figura 241. Vista Longitudinal de un Wave Piercing. Fuente: Alaez, 1991. Catamaranes de Alta Velocidad, Madrid, España. Publicación num. 130, Canal de Experiencias Hidrodinámicas, El Pardo, Ministerio de Defensa.



Figura 242. Imagen de un Wave Piercing actual. Fuente: <http://continuouswave.com/ubb/Forum1/HTML/013843.html>

Otra opción de catamarán son los “Swath” que posee reducción en el área de flotación. En esta tesis se desarrolla un proyecto de Swath pero que posee sólo un casco sumergido. A continuación se compara la vista transversal de un catamarán de líneas tradicionales y la de un Swath. Se diferencian principalmente por su área en la línea de la flotación.

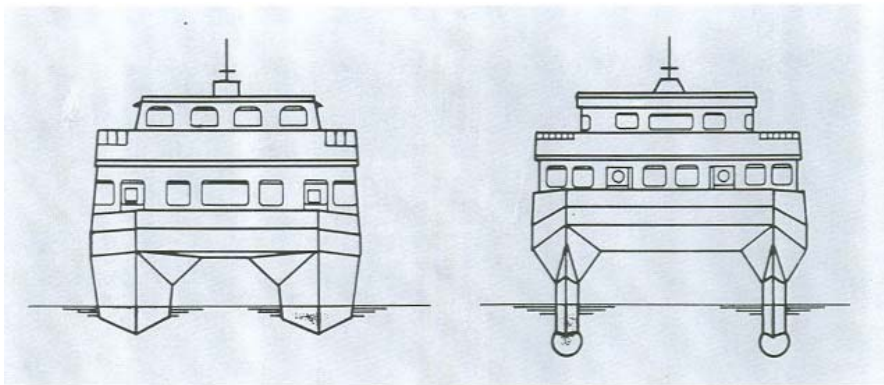


Figura 243. Comparación catamarán tradicional (izquierda) y catamarán Swath (derecha) Fuente: Alaez, 1991. Catamaranes de Alta Velocidad, Madrid, España. Publicación num. 130, Canal de Experiencias Hidrodinámicas, El Pardo, Ministerio de Defensa.

E. Hidroalas en embarcaciones

1. La embarcación con hidroalas

Una embarcación con hidroala, es una embarcación que cuenta con un perfil hidrodinámico bajo el agua que le permite levantar el casco por sobre la superficie del agua, eliminando la resistencia al avance del mismo y la resistencia ocasionada por la generación de olas, que limitan la velocidad de las embarcaciones convencionales. Dependen tanto de la fuerza de boyantes como la de sustentación.

Un segundo aspecto y la más importante ventaja de elevar el casco sobre el agua es la eliminación del roce con el agua y los movimientos de las olas. Esto permite que la embarcación alcance altas velocidades en mares bastante fuertes. A bajas velocidades, antes que la resistencia por generación de olas sea dominante, la fuerza de boyantes es muy eficiente. El hidrofoil opera sobre su casco como un buque convencional. Conforme la velocidad se incrementa, también lo hace la eficiencia de las superficies de levantamiento (perfiles alares o foils) hasta el punto donde estas superficies producen una fuerza hidrodinámica vertical de levantamiento, que reemplaza la fuerza de boyantes en forma progresiva, hasta que el casco queda completamente fuera del agua. Todo esto ocurre en el límite de la velocidad de despegue. En este punto un hidrofoil desarrolla mayores velocidades que un buque convencional, con la misma potencia específica instalada como se muestra en la figura 244.

Los perfiles hidrodinámicos son estructuras alares que se encuentran debajo de la superficie del agua, diseñada para obtener una relación alta en sustentación y baja en arrastre. La sección de perfil alar crea una diferencia de presión entre las superficies superior e inferior al enfrentarse a un fluido. Las fuerzas ejercidas por la presión son negativas en la parte superior y positivas en la parte inferior del perfil. La sumatoria de las fuerzas ejercidas sobre la hidroala producen la sustentación y el arrastre; la primera perpendicular al flujo y la segunda paralela a él. Es la sustentación, la que permite levantar el casco del agua, haciendo que éste se deslice sólo sobre las hidroalas.

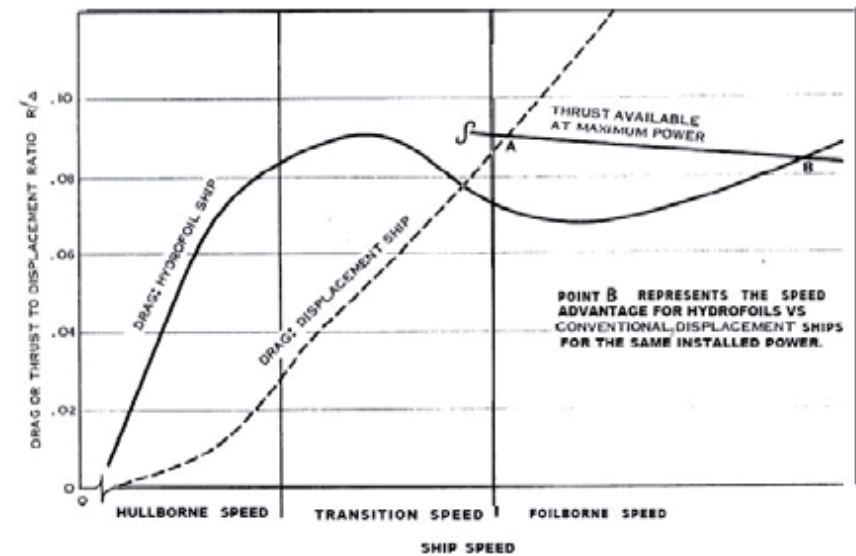


Figura 244. Curva de Resistencia v/s Velocidad.
Fuente: <http://www.foils.org>

2. Tipos de configuraciones de hidroalas

Existen dos tipos de hidrofoil: superficies incrustadas y superficies sumergidas como se ilustra en la figura 245. El sistema de superficies incrustadas es estable en sus diferentes versiones y no dependen de un sofisticado sistema de control automático para estabilizarlo (usado en embarcaciones de pasajeros y vehículos). Entre los hidrofoils comerciales y militares, un 75% emplea este tipo de sistema, debido a la naturaleza del medio donde va a operar, en aguas tranquilas o en golfos donde la implementación de un sistema automático de control sería injustificada.

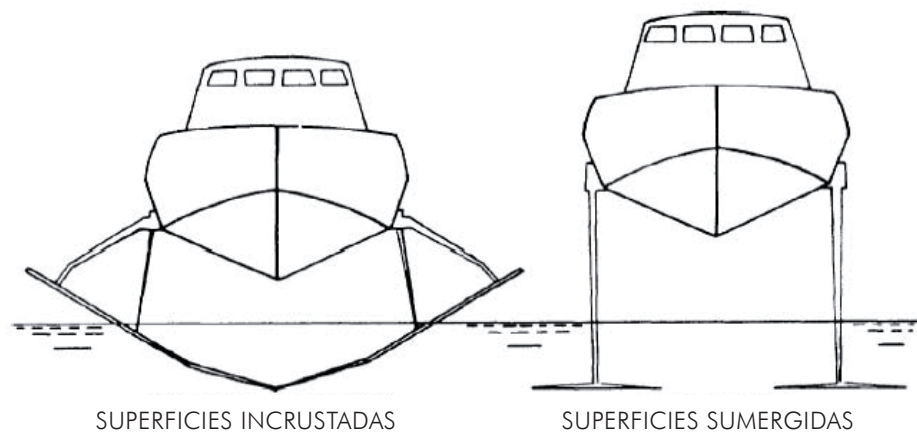


Figura 245. Tipos de Hidrofoil.
Fuente: <http://www.foils.org>

Este tipo de embarcaciones operan a bajas revoluciones alcanzando velocidades de 35 nudos en aguas tranquilas. La disposición geométrica de las superficies de levantamiento, le brindan un comportamiento dinámico similar al de un buque de desplazamiento, es decir, la respuesta esta directamente relacionada con las irregularidades del mar. El sistema de superficie sumergida, depende su estabilidad del control de levantamiento de los foils, cuya operación es completamente sumergida bajo la superficie del agua. Este sistema desacopla la embarcación de las fuerzas externas producidas por el oleaje, el control del levantamiento, lo logra por el movimiento completo de los foils, que se conoce como control incidente. La mayoría de las superficies de levantamiento son fijas y poseen dispositivos de cola como flaps para variar la fuerza de sustentación, los restantes son combinados.

Este sistema esta compuesto por un computador que recibe las señales enviadas por los sensores que registran los movimientos de balanceo, cabeceo, aceleración de elevación y altura sobre la superficie del agua. Esta información es procesada y el computador envía señales a los actuadores hidráulicos que activan los flaps de control de levantamiento en los foils, este sistema se denomina control automático (ACS) como se ilustra en la figura 246.

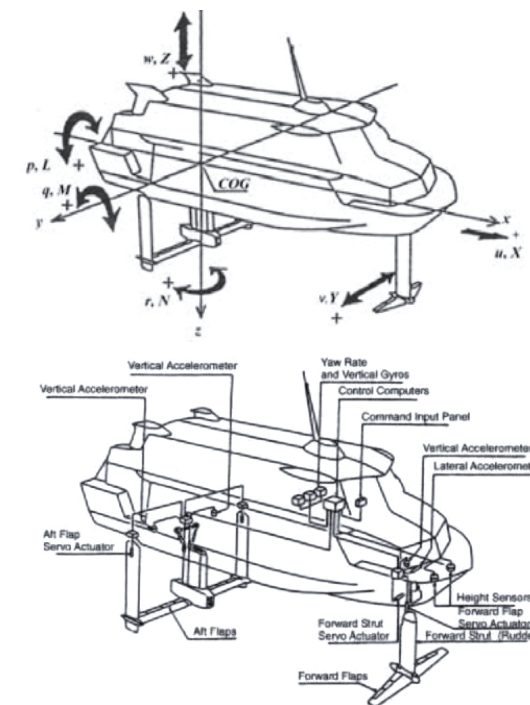


Figura 246. Grados de Libertad de la embarcación y control automático de Flaps.
Fuente: <http://www.foils.org>

3. Perfiles Alares

a) Estructura del perfil alar

En un ala, lo que llamaríamos largo ancho y alto, se define en lenguaje de la hidrodinámica, al igual que en la aerodinámica, como envergadura, cuerda y espesor, respectivamente.

Envergadura: es la distancia entre puntas de ala o bordes marginales (ver dibujo).

Cuerda: es la distancia entre (el borde de ataque) parte delantera y (el borde de salida) parte posterior del ala.

Espesor: es la distancia entre la parte superior del ala (llamada extradós) y la parte inferior de la misma (llamada intradós)

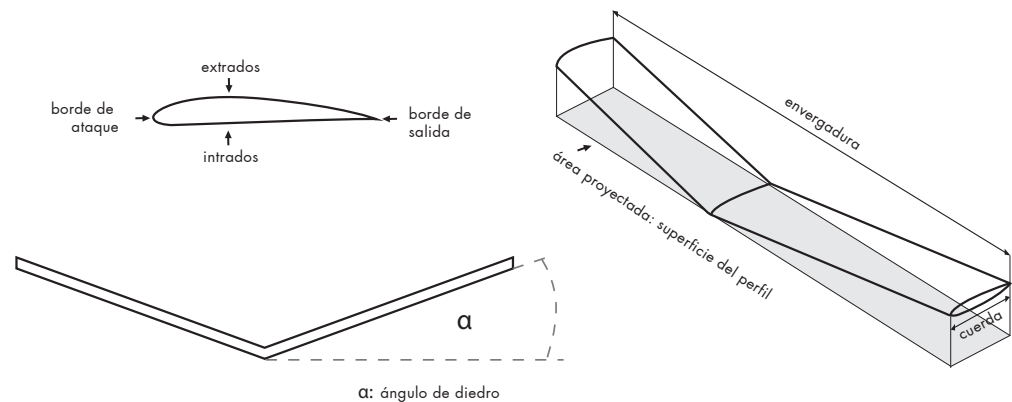


Figura 247. Parámetros de un perfil alar.
Fuente: Elaboración propia

b) Clasificación de los perfiles alares

La mayor parte del desarrollo de perfiles en los Estados Unidos ha sido realizado a partir de 1929 por el Comité Nacional de Aeronáutica (NACA), que fue precursor de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA). Las primeras series estudiadas fueron las llamadas “de cuatro dígitos”. El primero de los dígitos daba la curvatura en porcentaje de la cuerda; el segundo daba la posición de la curvatura máxima en décimas de la cuerda y los dos últimos dígitos el espesor máximo en porcentaje de la cuerda. Por ejemplo, un perfil NACA 2415 tiene la curvatura máxima del 2 % de la cuerda, situada en el punto del 40 % de la cuerda (medido desde el borde de ataque) y con un espesor máximo del 15 % de la cuerda. El desarrollo posterior llevó a las series de cinco dígitos, “series 1”, logrando altas velocidades (denominados de flujo laminar).

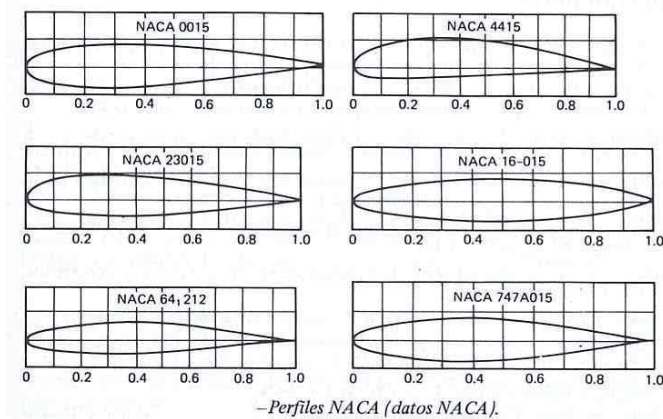


Figura 248. Clasificación de los perfiles. Fuente: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/BUENOS_AIRES/62/tecnolog/perfiles.htm

c) Perfiles alares

A continuación se exponen unos modelos de perfiles alares que se estudiaron en la tesis de Magíster Náutico y Marítimo de Marla Marchant: "Diseño de una lancha rápida con hidroalas". Estos modelos se eligieron de acuerdo a dos criterios: estabilidad y el coeficiente de roce en relación al de sustentación e incremento del ángulo de ataque. Se estudian perfiles alares que hayan sido diseñados específicamente para ser utilizados en embarcaciones con hidroalas.

Eppler 818

Posee elevado coeficiente de sustentación y poco roce para ángulos de ataque elevados, que permite mayor sustentación a una determinada velocidad. Su forma al ser un poco mas ancha permitirá una mejor construcción.

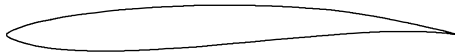


Figura 249. Eppler 818

Naca Munk 5

El perfil naca munk- 5 esta dentro de la clasificación de alas de doble curvatura, las que se caracterizan por ser auto estables, cuando el ala entra en perdida desplazan su centro de gravedad, recuperando el ángulo de ataque original. Estas alas tienen un coeficiente de sustentación aceptable, pero su coeficiente de roce es mucho mayor respecto a las que no corrigen su centro de gravedad.

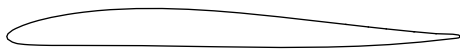


Figura 250. Naca Munk 5

Naca Munk 0012

El perfil naca 0012 es un perfil simétrico, de bajo coeficiente de roce, lo cual es ideal para ser utilizado como perfil vertical, debido a que la función de estos perfiles es solo estructural, no generan sustentación, pero deben producir el menor roce posible para no afectar el desempeño de la embarcación. Además su espesor es alto con respecto a la cuerda ayudando a que la estructura sea suficientemente fuerte. Con respecto a las dimensiones de la cuerda en relación al ala que soporta, deben medir entre $1/2$ y $1/3$ de la cuerda del ala que estructuran, en este caso, cuanto menor sea la superficie de estos, menos roce presentaran para la estructura.



Figura 251. Naca Munk 0012

4. Principios físicos relacionados a los perfiles alares

a) Teorema de Bernoulli

Describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente. Comprueba experimentalmente que la presión interna de un fluido decrece en la medida que la velocidad del fluido incrementa. Establece que para un fluido incompresible y no viscoso en flujo estacionario, la presión y la velocidad a lo largo de una línea de corriente están relacionadas: La suma de la presión estática y la dinámica es constante, definiéndose como presión total.

$$\frac{V^2 \rho}{2} + P + \rho g z = \text{constante}$$

V = velocidad del fluido en la sección considerada.

g = aceleración gravitatoria

z = altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.

P = presión a lo largo de la línea de corriente.

ρ = densidad del fluido.

La presión estática se obtiene de la profundidad a la que se encuentra la partícula respecto a la presión atmosférica. La presión dinámica depende de la densidad y la velocidad que tenga la partícula en un momento determinado. Se puede decir que en un fluido ideal en movimiento, en el que no hay aporte de energía, la modificación de la velocidad es realizada por una variación de presión. Al intervenir la velocidad al cuadrado, resulta cuatro veces más costoso energéticamente doblar la velocidad que doblar la presión, pequeñas variaciones de velocidad producen grandes variaciones de presión. Esto ocurre a velocidades inferiores a la del sonido, pues a partir de esta ocurren otros fenómenos que afectan de forma importante esta relación.

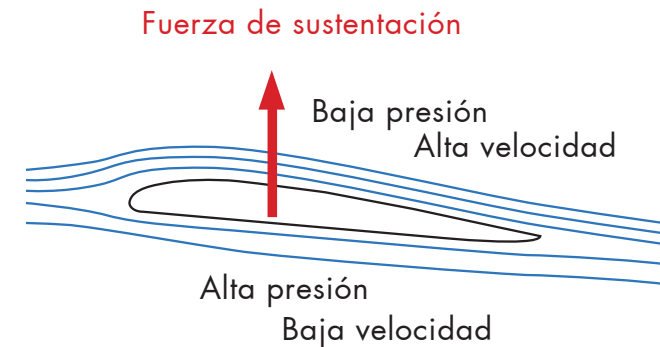


Figura 252. Esquema Efecto Bernoulli en un perfil alar.
Fuente: Elaboración propia

b) Efecto Venturi

Es una aplicación directa del teorema de Bernouilli, es un conducto en el que se ha efectuado un estrechamiento con el propósito de producir succión. Se basa en el aumento de la velocidad que sufre el fluido al pasar por la parte angosta, generando un descenso de presión en el fluido y provocando la succión.

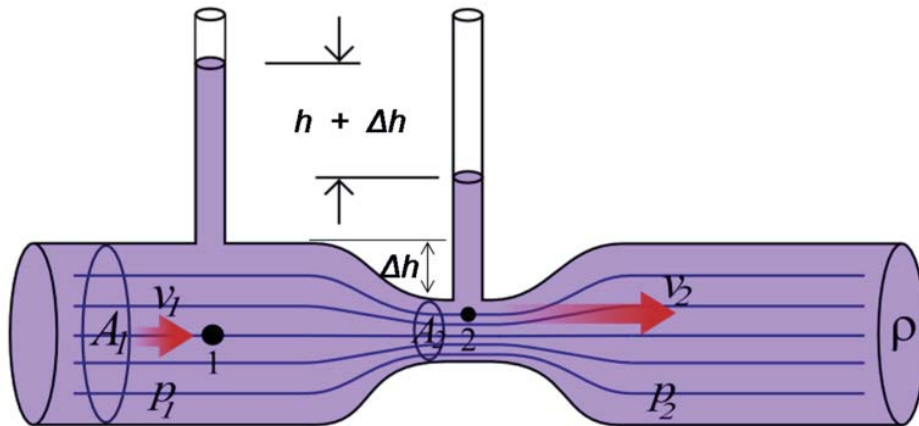


Figura 253. Esquema del Efecto Venturi. Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Bernoulli

5. Teoría de Vuelo

a) Ángulo de ataque:

El ángulo de ataque es el ángulo formado por la cuerda del perfil y la dirección del flujo relativo. Llamamos flujo relativo al fluido paralelo a la trayectoria y en dirección opuesta al perfil. Este ángulo puede variar por diversas causas; por acción de los mandos; diseño de las alas o por las corrientes. Cuando el flujo es estacionario el recorrido de las partículas coincide con las líneas de corriente. Cuando el ángulo de ataque es nulo, igual a cero, las líneas de corriente rodean perfectamente el contorno del perfil, juntándose en la zona más ancha de éste. La tangente de la línea de corriente antes y después del perfil, tiene la misma dirección aproximadamente. Si se aumenta el ángulo, las líneas de corriente siguen adaptándose al borde, un mayor número de líneas de corriente pasan por el extradós, por lo que tiende a juntarse en la zona superior. Si se aumenta el ángulo de ataque es como si se aumentara la curvatura de la parte superior. La tangente de las líneas inmediatas antes y después del perfil varía cuanto más grande es el ángulo de ataque. A medida que el ángulo de ataque aumenta, las líneas de corriente se van desprendiendo del extradós. A este valor se le denomina ángulo de ataque crítico y determina la pérdida de sustentación.

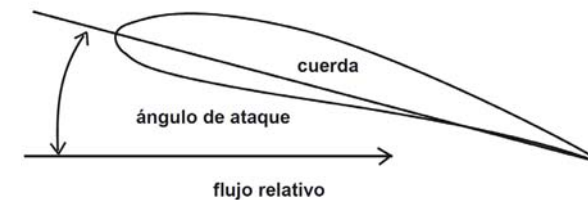


Figura 254. Ángulo de ataque en un perfil alar. Fuente: Marchant, 2008. Diseño de una lancha rápida con hidroalas para los mares de la patagonia occidental. Chile, Escuela de Arquitectura y Diseño Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

b) Capa límite:

En la tesis de Marla Marchant, 2008, “Diseño de una lancha rápida con hidroalas”, se realiza una descripción detallada sobre la teoría de la capa límite:

Viscosidad:

La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal, en otras palabras, determina la resistencia que presentan las partículas a deslizarse unas respecto de las otras. Cuando un sólido se desplaza en un fluido, la capa en contacto con el sólido se comporta como si estuviese adherida a él, se mueve a la misma velocidad que el sólido. La capa próxima a la que está en contacto con el objeto, tiene una velocidad menor, porque se produce un deslizamiento de una capa sobre la otra, la diferencia depende de la viscosidad.

Capa límite laminar

En capa límite laminar el movimiento se presenta ordenado en capas paralelas. Como se ve en el siguiente esquema de un perfil alar.

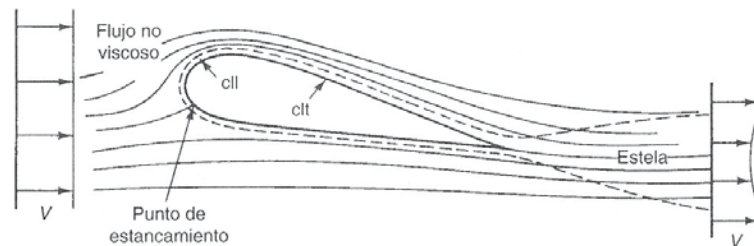


Figura 255. Capa límite adherida al perfil. Fuente: Universidad de Santiago de Chile, Ingeniería Civil Mecánica. Arrastre y sustentación sobre cuerpos aerodinámicos. Chile. Asignatura Mecánica de Fluidos II, Nivel 03, Experiencia C901

Punto de Separación

Cerca del borde de ataque, la capa límite permanece en régimen laminar. Cuando el flujo se aleja del borde de ataque, se transmite energía a las capas más alejadas por el rozamiento, haciendo que el espesor de la capa límite laminar aumente paulatinamente. A cierta distancia, la capa laminar sufre perturbaciones que destruyen el régimen laminar, convirtiéndolo en turbulento. El punto donde las capas pierden su paralelismo se denomina punto de separación o transición. Este punto depende de la rugosidad de la superficie y las propiedades del flujo englobadas en el número de Reynolds, el cual se determina a partir de la densidad y viscosidad del fluido, velocidad y dimensiones características del perfil.

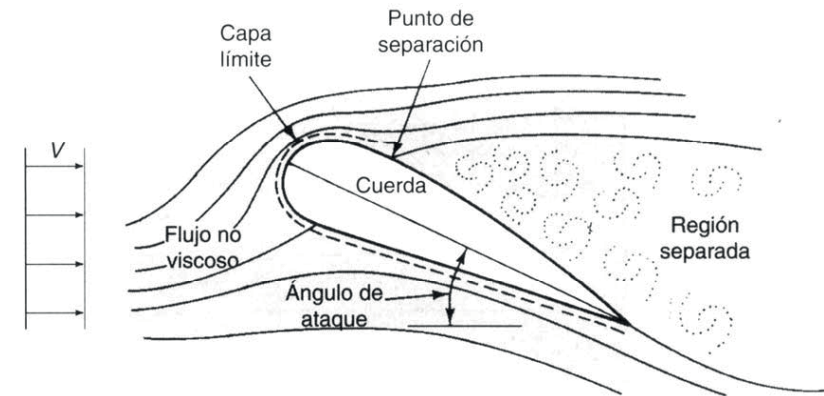


Figura 256. Capa límite separada sobre un perfil aerodinámico (stall). Fuente: Universidad de Santiago de Chile, Ingeniería Civil Mecánica. Arrastre y sustentación sobre cuerpos aerodinámicos. Chile. Asignatura Mecánica de Fluidos II, Nivel 03, Experiencia C901

Capa límite turbulenta

En la capa límite turbulenta las partículas se desplazan caóticamente, perturbando capas cada vez más lejanas, aumentando el espesor de la capa límite. La velocidad es afectada al transmitir parte de la energía a los torbellinos, como consecuencia aumenta la magnitud de la resistencia de fricción. La fricción generada sobre la superficie sólida en la capa límite turbulenta es mayor que en la laminar. Retrasar el punto de separación o transición reduce la resistencia. La pérdida de sustentación en un perfil alar, causada por el desprendimiento de la capa límite, en un gradiente adverso de presión, se produce mas fácil en la zona laminar que en la turbulenta. Por esto se prefiere sacrificar eficiencia por seguridad, evitando que la zona laminar se extienda a regiones en que se pueda desprender fácilmente la capa límite.



Figura 257. Desprendimiento de vórtices por despegue de capa límite que inducen vibración sobre el cuerpo.
Fuente: Universidad de Santiago de Chile, Ingeniería Civil Mecánica. Arrastre y sustentación sobre cuerpos aerodinámicos. Chile. Asignatura Mecánica de Fluidos II, Nivel 03, Experiencia C901

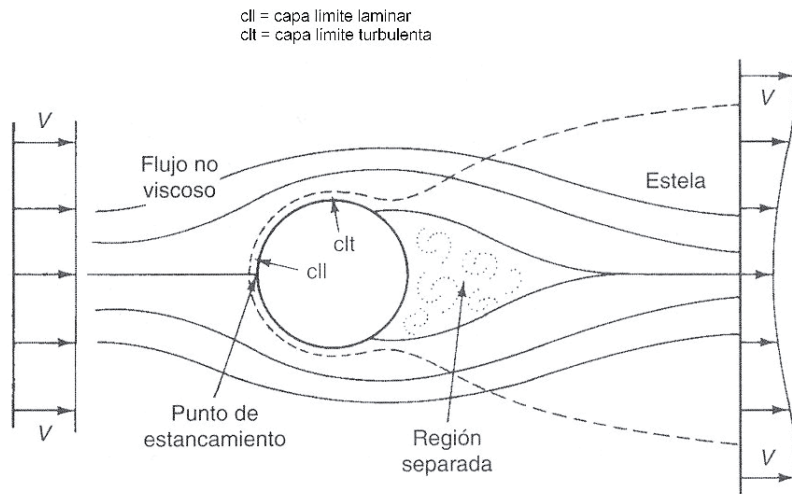


Figura 258. Caso de un cilindro con capa límite separada (stall). Fuente: Universidad de Santiago de Chile, Ingeniería Civil Mecánica. Arrastre y sustentación sobre cuerpos aerodinámicos. Chile. Asignatura Mecánica de Fluidos II, Nivel 03, Experiencia C901

Fuerzas ejercidas:

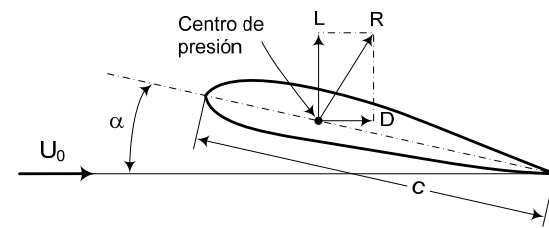


Figura 259. Fuerzas de sustentación (L) y de arrastre (D) de un perfil alar en vuelo. Fuente: Universidad de Santiago de Chile, Ingeniería Civil Mecánica. Arrastre y sustentación sobre cuerpos aerodinámicos. Chile. Asignatura Mecánica de Fluidos II, Nivel 03, Experiencia C901

El arrastre es una fuerza paralela al vector de velocidad o flujo, a esto lo llamamos velocidad infinita que no es alterado, donde se genera una fuerza contraria al movimiento lo cual es una fuerza de resistencia (F_D), se puede calcular considerando:

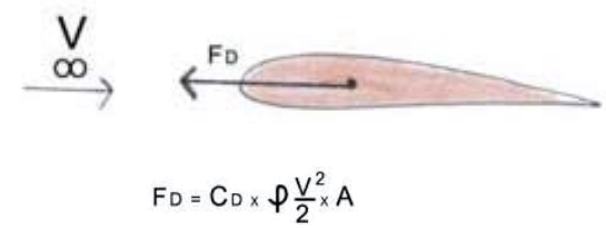


Figura 260. Fórmula de sustentación para un sección hidroalar. Fuente: Jeria, 2010. Embarcación de asistencia con hidroalas para los Habitantes de la Patagonia Occidental Sistemas de accesos y propulsión para el desembarco en todo tipo de orillas. Chile, Escuela de Arquitectura y Diseño Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Donde:

F_D : es la fuerza de sustentación en N.

ρ : es la densidad del fluido, en kg/m³.

V : es la velocidad, en m/s.

A : es el área de referencia del cuerpo, en m².

C_L : es el coeficiente de sustentación.

El área (A) es el área proyectada en el plano perpendicular al vector velocidad (V), normalmente en algunas bibliografías hay que especificar el vector, esta es la fuerza. El coeficiente depende de la forma y posición del cuerpo, es decir, si un objeto esta puesto con un ángulo de ataque determinado produce una capa límite en su parte superior e inferior del perfil, a mayor ángulo de ataque se produce una capa límite mayor en su parte superior. Esto es fundamental, ya que en algunos casos por aumentar la sustentación se hace que el arrastre crezca tanto que el sistema se derrumba y entra en colapso.

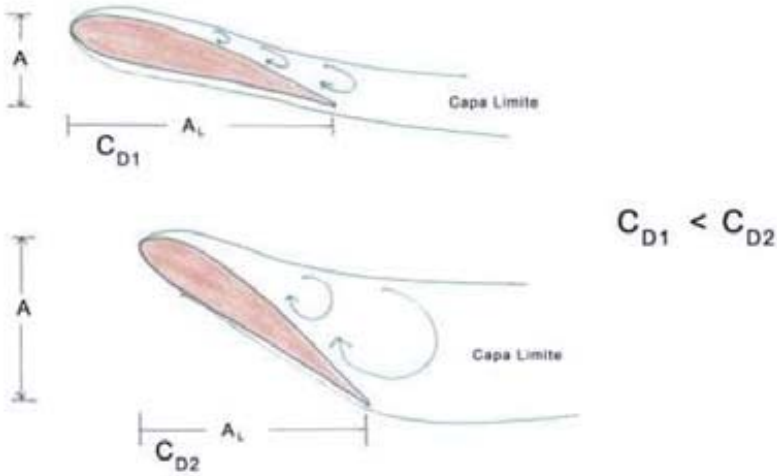


Figura 261. Proyeccion de Areas de un Perfil Hidrodinamico. Fuente: Jeria, 2010. Embarcación de asistencia con hidroalas para los Habitantes de la Patagonia Occidental Sistemas de accesos y propulsión para el desembarco en todo tipo de orillas. Chile, Escuela de Arquitectura y Diseño Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Perfiles Hidrodinamicos Diedros

Existen superficies sustentadoras que forman un diedro, con su arista central hacia arriba o hacia abajo. Si bien el mayor rendimiento parece obtenerse con la superficie continua, frecuentemente se adopta la forma de diedro por sus condiciones de estabilidad transversal.

El ángulo diedro crea una componente lateral a la fuerza de sustentación, perpendicular al plano alar. Puesto que la configuración es simétrica, las componentes laterales se cancelan, por lo que solo queda la fuerza neta hacia arriba, pero a su vez se experimentará una pérdida de la eficiencia del perfil. El motivo para el sacrificio de esta eficiencia, es que este sistema ofrece un sistema más estable en términos de escora, oscilación vertical y cabeceo, además de proporcionar un mejor rendimiento en las olas. El ángulo diedro se usa casi exclusivamente en perfiles incrustados. Esto significa que al emerger el perfil del agua, no solo los efectos de superficie reducen la sustentación, sino también la cantidad de superficie alar. El momento adrizante y trimado es más alto que en el caso de perfiles sumergidos. La ecuación de la resistencia inducida por el ángulo diedro es la siguiente:

$$C_{DI} = C_L^2 / (\pi AR \cos^2 T)$$

donde:

C_{DI} es resistencia inducida por perfil diedro.

C_L^2 es el coeficiente de sustentación.

AR (aspect ratio) es el área de referencia del cuerpo, en m².

T es el ángulo diedro

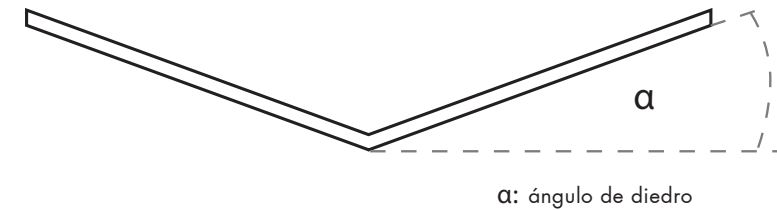


Figura 262. Figura 95. Vista frontal de un Perfil alar diedro.

Fuente: Elaboración propia.

Los diedros del ala son usados comúnmente en la aviación para que actúen sobre la estabilidad lateral. El que puede ser en ángulo ascendente o descendente del ala del avión con respecto al horizonte, formando las alas una V. Normalmente la magnitud del diedro son pocos grados. Si se ve afectado por turbulencias un ala se elevará y la opuesta bajará, como el viento relativo viene de lado, el ala que se encuentra abajo aumenta su ángulo de ataque, mientras que en la otra disminuye. Se genera un aumento de sustentación en el ala que se encuentra abajo lo que tiende a balancear la estructura, llegando al equilibrio.

6. Diagrama Polar

Los diagramas polares son gráficas del coeficiente de sustentación (Cl) en función del ángulo de ataque y el coeficiente de resistencia (Cd) para los distintos del ángulo de ataque o coeficientes de sustentación de un tipo de perfil. Estos valores son verificados experimentalmente. Las curvas nos ayudan a obtener los siguientes datos:

Horizontalmente en la base del gráfico, se encuentran los ángulos de ataque del perfil. A la derecha de la tabla, verticalmente se tienen dos curvas: la que está más a la derecha, que pertenece al coeficiente de resistencia al avance Cd (drag coefficient). A su izquierda, está la curva del coeficiente de sustentación Cl (lift coefficient).

En el diagrama de la figura 263, si nos fijamos en la línea de abajo donde están los ángulos de incidencia y en la propia curva del Cl, a 0° el coeficiente de sustentación es 0 en el caso de perfil simétrico y que, a valores negativos del ángulo, la sustentación es negativa y lo contrario para los valores positivos. El ángulo de sustentación nula en el que $Cl = 0$, será aquel en que no sustenta el perfil y es variable para los distintos perfiles aquí es 0 grados. Con un ángulo de 14,3° se obtiene la máxima sustentación, 0,94 a partir de este ángulo, la sustentación cae con más o menos violencia según el tipo de perfil, las dimensiones y la velocidad. Hablamos del fenómeno de desprendimiento de las capas del fluido.

Si se produce el desprendimiento por ejemplo a los 15 grados de incidencia, debería bajar este ángulo a 10 grados para volver a entrar en el régimen laminar, a bastante menos del punto donde comienza el problema. Recordar también que en este punto se produce simultáneamente el desprendimiento “brutal” y una pérdida de velocidad.

Cuando un perfil entra en el fluido con una incidencia de sustentación nula (ángulo 0°), no por eso deja de encontrar resistencia al avance, vemos que el Cd no es nulo puesto que el fluido ha de pasar rozando desde el borde de ataque al de fuga con toda la cuerda del ala y en toda su longitud.

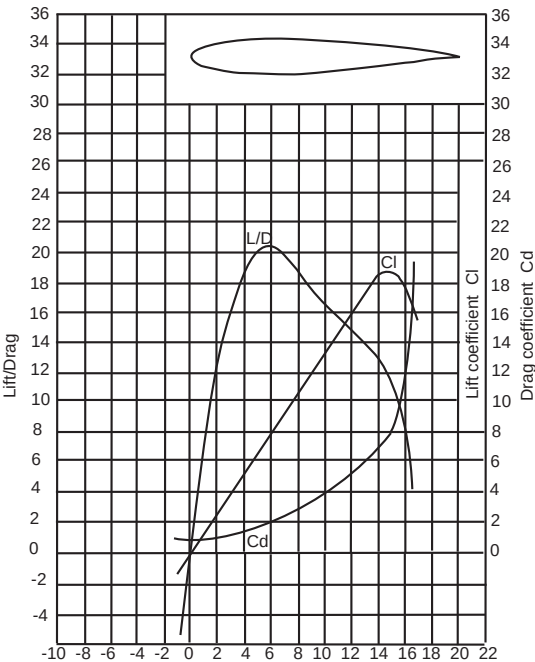


Figura 263. Diagrama polar de un perfil alar simétrico. Fuente: Marchant, 2008, Diseño de una lancha rápida con hidroalas para los mares de la patagonia occidental. Chile, Escuela de Arquitectura y Diseño Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

A la izquierda del gráfico vemos una curva llamada “ratio of lift to drag” (Coeficiente de sustentación en relación a la resistencia), puede ser dibujada con facilidad a partir de las curvas de ambos coeficientes y dividiendo en cada punto los valores de estos coeficientes. La curva L/D representa estos resultados que dan la “finura” de un perfil, su capacidad para penetrar en el aire. Cuanto más “fino” sea un perfil, menos empuje de motores necesitará. No obstante, la fineza del aparato lo da la combinación de otros elementos como el fuselaje, el motor, el tren de aterrizaje, los empenajes, etc. No debemos de obsesionarnos demasiado por eso con las características del ala solamente.

7. Sustentación de un perfil alar

La sustentación del perfil es proporcional a la densidad del medio (agua salada, aire, etc) y a la velocidad en se produce el despegue de la embarcación. El coeficiente de sustentación del ala, se indica en el diagrama polar en relación al ángulo de ataque del ala. La superficie del ala, se da por el largo y la cuerda.

Ejemplo de cómo calcular la superficie alar

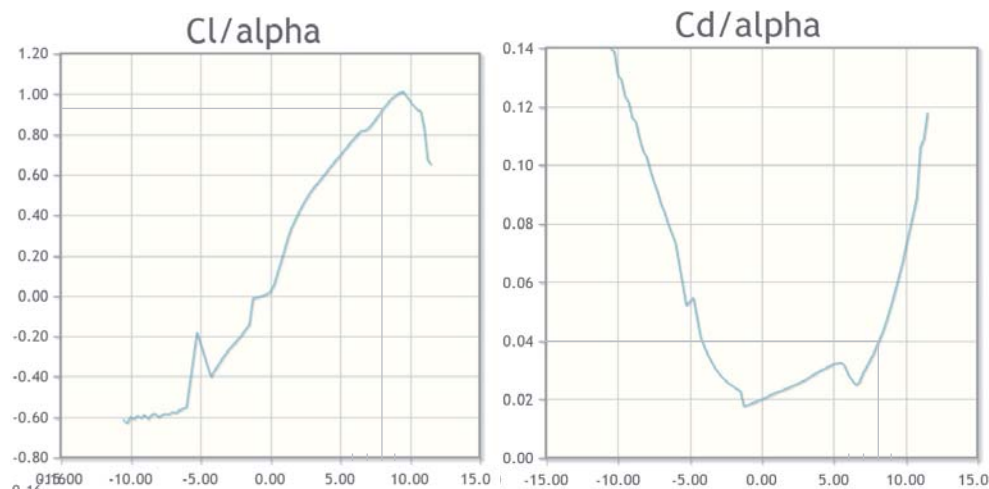


Figura 264. Diagramas polares del perfil Naca M5. Son dos gráficos , el de la izquierda: las absisas corresponden al ángulo de ataque y las ordenada muestra la sustentación. En el gráfico de la derecha: las absisas muestran el ángulo de ataque y las ordenadas muestran el coeficiente de resistencia. Fuente: www.airfoiltools.com

Lo primero es poseer los diagramas polares del perfil elegido. Éstos se pueden obtener de la web, específicamente del sitio señalado en el pie de foto de la figura anterior.

Luego se decide un ángulo de ataque adecuado para el perfil gracias a los datos que nos entrega el diagrama polar.

Del diagrama podemos interpretar que este perfil alar tiene un coeficiente de sustentación bastante alto para sus ángulos de ataque mayores a 0° app, pero un coeficiente de roce mayor, para ángulos mayores a 0°. Es por esto que, para este perfil se usa un ángulo de ataque de 8°, ángulo en el cual adquiere mucha sustentación y una resistencia intermedia. Se define una velocidad de despegue normalmente utilizada en tesis anteriores, que será de 8 nudos.

Al definir el tamaño de las alas se considera la distribución de cargas, para poder dividir el peso total de la embarcación entre la sustentación que debe producir el ala de proa y la de popa. Los pesos de mayor magnitud, como motor, carga y combustible, están a popa por tanto esta ala deberá sustentar mayor carga. Por ejemplo, se tiene un peso total de 1100 kilos, de los cuales 730 kilos a popa y 370 a proa, para el cálculo se consideran solo los pesos fijos.

Entonces tenemos tenemos los siguientes datos:

Cl (Coeficiente de sustentación): 0,87

Velocidad de despegue: V: 8 nudos = 4,12 m/s

Densidad agua salada: ρ : 1025 kg/m³

Peso de proa: 370 kg

Peso de popa: 730 kg

Fórmula de sustentación:

Se debe aclarar que este tipo de cálculo responde a la ecuación de Bernoulli (ver pág. 208), con algunas “simplificaciones” y el resultado que nos da es la fuerza de sustentación que tiene el ala y que debe ser igual al peso de la nave, por lo tanto para entenderla y calcularla debemos tener en claro cada uno de los términos que la compone.

$$L = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * S * Cl$$

Donde:

L: Sustentación [Kg]

ρ : Densidad del agua [Kg/m³]

V: Velocidad de la nave [m/s]

S: Superficie alar [m²]

Cl: Coeficiente de sustentación [Sin unidades]

Entonces reemplazamos los datos en la fórmula para saber la superficie alar que se necesita:

Sustentación en popa:

$$730 \text{ kg} = \frac{1}{2} * 1025 \text{ kg/m}^3 * (4,12 \text{ m/s})^2 * S * 0,87$$

Se realiza el mismo procedimiento para saber la superficie alas en proa.

8. Aletas estabilizadoras y perfiles alares sustentadores en Swath y Hyswas

a) Aletas estabilizadoras mejoraran estabilidad longitudinal

Los Swath suelen incorporar aletas estabilizadoras activas, pasivas o mixtas, para mejorar la estabilidad longitudinal, debido a que la sustentación producida por estas aletas origina un amortiguamiento adicional al cabeceo, evitando el hundimiento a alta velocidad. Además mantienen más estable a la embarcación cuando hay olas y poseen una buena amortiguación cuando está estacionado. La aletas se ubican normalmente en el lado interior de los cascos y en los extremos alejados de los mismos, para obtener el máximo momento de trimado.

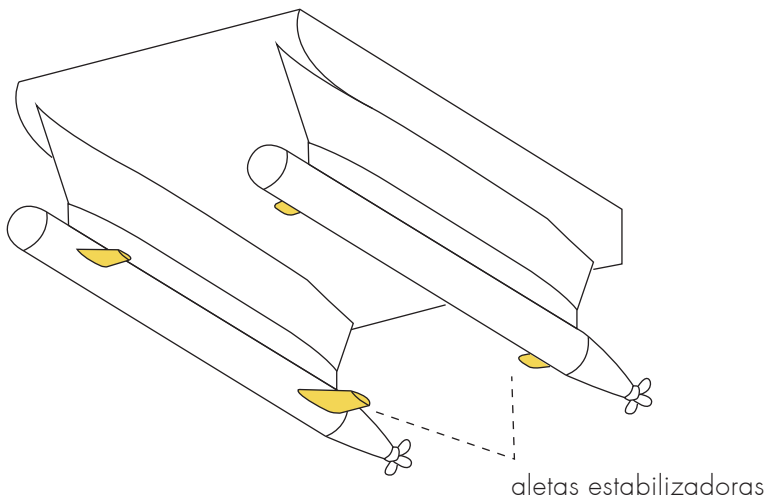


Figura 265. Esquema de aletas estabilizadoras.
Fuente: Elaboración propia

b) Posición de las aletas estabilizadoras para reducir cabeceo

El punto de diseño de estas aletas, debe ser el de la frecuencia de resonancia del cabeceo en donde se darán las mayores amplitudes, debido a las bajas TPC y MT1 del buque para oponerse a los movimientos. Anticipar que los movimientos en la zona de resonancia son superiores a los de un buque convencional debido a lo pequeño de las toneladas por cm de inmersión y el momento para trimar un cm, aunque se necesitan olas muy largas para conseguir excitar a estos Swath con dicha frecuencia.

c) Aletas estabilizadoras para reducir Efecto Munk (cabeceo)

A partir de cierta velocidad, las aletas serán necesarias para minimizar un fenómeno dinámico: Efecto Munk, el que hace cabecear a estos buques, aumentando por tanto su resistencia al avance. Este efecto se produce debido a una distribución longitudinal de presiones asimétrica originadas por sustentación en los cascos sumergidos, parece una cierta tendencia del buque a cabecear una vez superado un cierto límite de velocidad. Las de popa, sirven para controlar el trimado producido por el mencionado efecto.

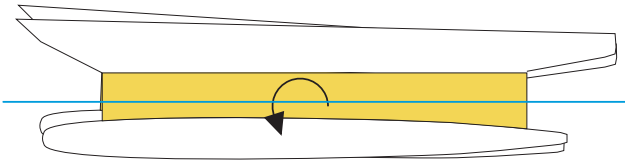


Figura 266. Cabeceo producido por Efecto Munk.
Fuente: Elaboración propia

d) ¿Cuándo son necesarias las aletas?

No todos los Swath van a necesitar aletas estabilizadoras para remediar este efecto, con lo que se ahorra potencia al disminuir la superficie mojada, y se ahorra la complejidad de montar unas aletas estabilizadoras activas. Normalmente en un monocasco las aletas sólo son efectivas para disminuir la amplitud de balance. En los Swath se mejoran arfada, cabeceo y en menor grado balance, pudiéndose disminuir bastante las amplitudes, si se montan las aletas estabilizadoras adecuadas.

e) Aletas inclinadas

Las últimas tendencias consisten en usar arbotantes cortos, para minimizar las fuerzas de excitación y para ello usan aletas timón, inclinadas entre 20° y 30° respecto a la horizontal y que además de actuar de timón, lo hacen de estabilizadores ante los movimientos verticales. Esta configuración presenta mejor maniobrabilidad a alta velocidad, pues la superficie activa de las aletas no disminuye por acción de los movimientos ni del flujo de la hélice. No obstante, a baja velocidad no resultan tan efectivas.

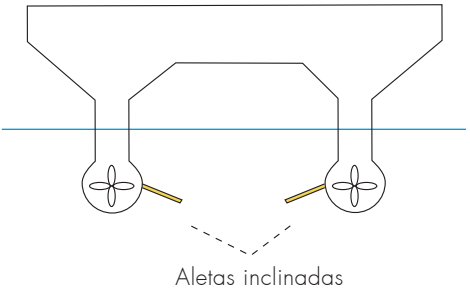


Figura 267. Aletas inclinadas.
Fuente: Elaboración propia

Con esta configuración se puede eliminar los timones y permite acortar los arbotantes, con la consiguiente reducción de la superficie mojada. Elimina muchos requisitos de maquinaria de accionamiento, simplificando la instalación. Se pueden alargar los cascos sumergidos, buscando el desplazamiento perdido. Esto hará que el propulsor trabaje en un mejor campo de estelas. Otra consecuencia secundaria será la disminución de ruidos y vibraciones al no incidir directamente el flujo de la hélice sobre el timón.

Como desventaja de estas aletas-timón es que la eficacia de estas aletas es inferior a la de un timón convencional en el que el flujo de la hélice incide directamente sobre él. En este último caso se logra un mayor efecto de sustentación del timón y por tanto una mayor capacidad de gobierno. No obstante, esto sólo afecta durante la realización de maniobras pues durante la navegación normal se requiere poco el efecto del timón dada la gran estabilidad de ruta que presentan los Swath.

Un proyecto de embarcación que posee aletas inclinadas es el "SUPER-FAST HYBRID HYDROFOIL-SWATH" (Fig. 271).

f) Perfiles Alares en los Swath

Anteriormente se explican las función estabilizadora de las alas. Estas alas, que geométricamemte son perfiles alares, tienen por principal función dar sustentación a la nave. Esta función se da sobre todo en las embarcaciones Hyswas, que funcionan en gran parte gracias a esto.

Tal como se explicó antes, el funcionamiento de los Hyswas se basa en las hidroalas.

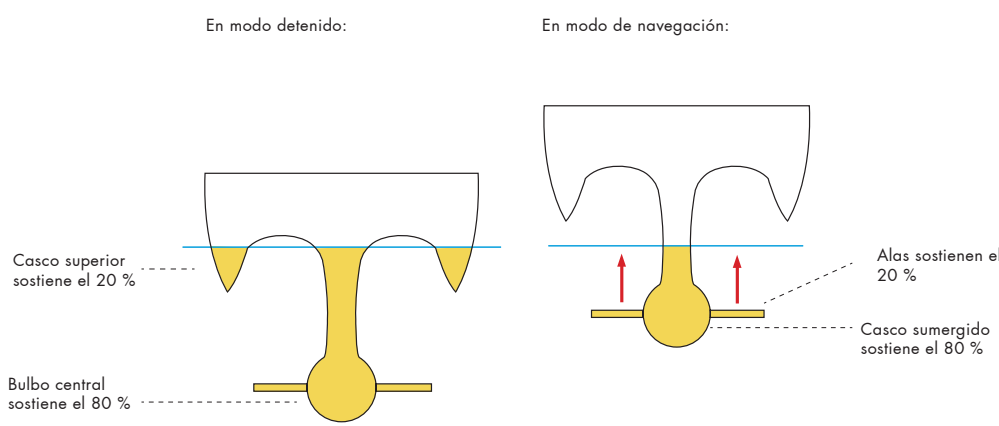


Figura 268. Sustentación de un Hyswas.
Fuente: Elaboración propia

Perfiles Alares en el Aliswath

Por ejemplo la embarcación "Aliswath", que posee perfiles alares movidas por un sistema de control electrónico que regula las superficies de las alas, que incorporan un equipo de control direccional y de estabilización. Este sistema proporciona tanto apoyo dinámico como estabilización.



Figura 269. Imagen isométrica inferior del Aliswath.
Fuente: Kai Levander, 2012.

Los ASV-Swath como ejemplo de utilización de hidroalas

Igualmente, unos proyectos de embarcaciones llamadas ASV-Swath, lideradas por el Ingeniero Naval italiano Stefano Brizzolara, poseen una relación con las hidroalas que las hacen ser casos muy interesantes.

Se tratan de naves que combinan la modalidad swath e hidroala. Llamadas “Vehículos de Superficie Autónomas”(ASV, en inglés), es decir no tripulados y gobernados a través de señales inalámbricas satelitales.

Estos diseños son resultado de simulaciones numéricas hidrodinámicas para disminuir su resistencia al avance, aumentar la velocidad de la nave y mejoramiento del comportamiento en el mar. Reduciendo al 30% los requerimientos de propulsión y superior comportamiento en el mar: se reduce a la mitad los movimientos de arfada y a un tercio los movimientos de cabeceo con respecto a un catamarán equivalente para una amplia gama de longitudes de ola.

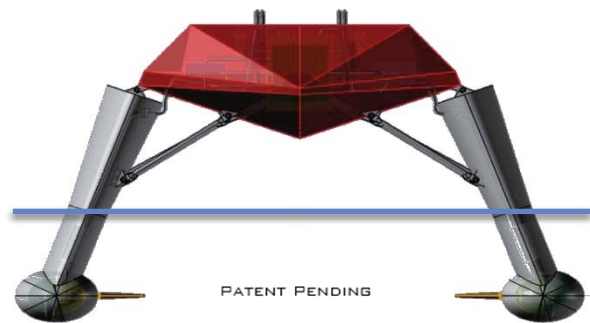


Figura 270. Uno de los ASV de la segunda generación usando la misma tecnología de cascos sumergidos. Este diseño es de 6 m, alcanza 12 nudos. Fuente: Brizzolara y Chrysostomidis, 2013. The Second Generation of Unmanned Surface Vehicles: Design Features and Performance Predictions by Numerical Simulations. Virginia, EE.UU.

Se proyectan dos modelos:

El primero es relativamente pequeño, es de 6 m de eslora.

El segundo es un híbrido entre hidrofoil y swath, capaz de alcanzar 120 nudos de velocidad en modo sustentado. Posee 4 hidroalas.

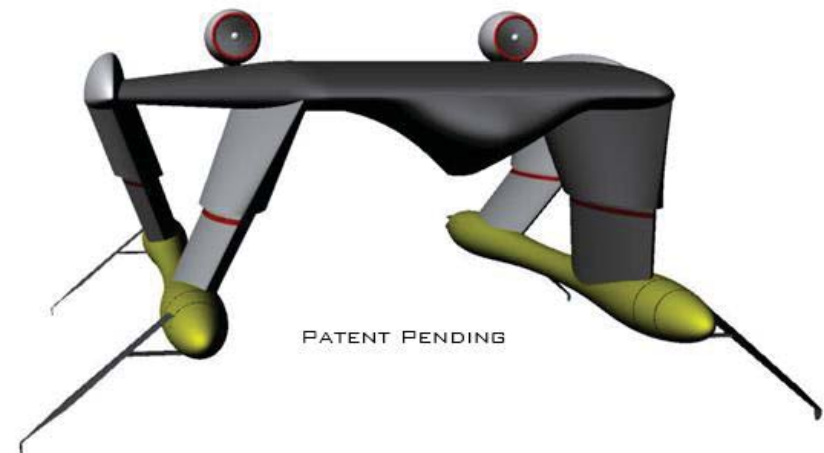


Figura 271. Uno de los ASV de la segunda generación usando la misma tecnología de cascos sumergidos. Este diseño es de 20 m de eslora, alcanza 120 nudos. Fuente: Brizzolara y Chrysostomidis, 2013. The Second Generation of Unmanned Surface Vehicles: Design Features and Performance Predictions by Numerical Simulations. Virginia, EE.UU.

Uso de las ASV Swath

Como su nombre lo indican, estas embarcaciones son vehículos de superficie autónomos, es decir no tripulados y gobernados a través de señales inalámbricas satelitales. Estas embarcaciones están proyectadas para facilitar estudios submarinos en alta mar. Se hacen seguimientos a áreas marinas a través de vehículos más pequeños submarinos autónomos (AUV, en inglés) . Las naves ASV-Swath se diseñaron para contener, transportar estas AUV y expulsarlas al agua cuando sean necesarias, además de captar las señales inalámbricas que emiten estas unidades móviles. Es por esto que se hacen necesarias estas embarcaciones, ideales para alta mar y con un casco sumergido capaz de detectar las señales submarinas.

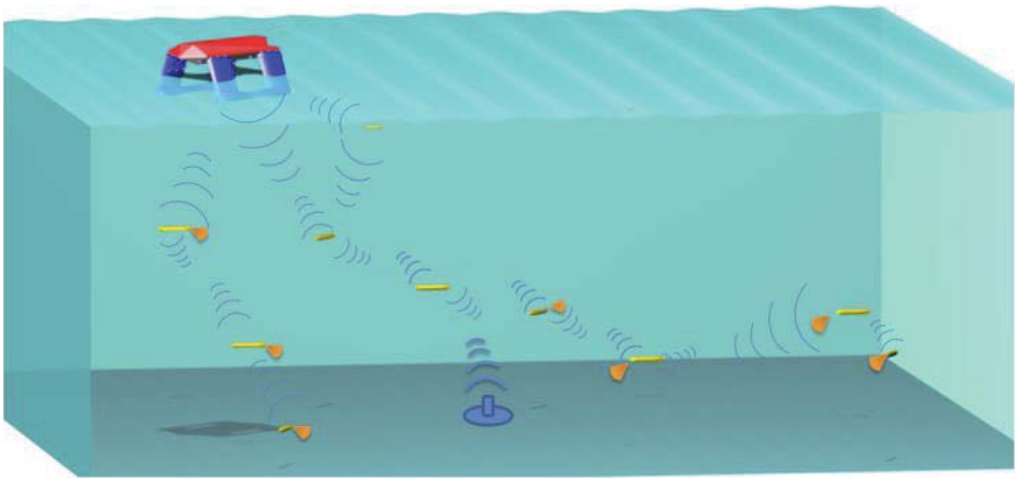


Figura 272. El USV-SWATH pequeño como el elemento clave de una red integrada AUV. Fuente: Brizzolara y Chrysostomidis, 2013. The Second Generation of Unmanned Surface Vehicles: Design Features and Performance Predictions by Numerical Simulations. Virginia, EE.UU.

Embarcación SUPER-FAST HYBRID HYDROFOIL-SWATH

Este diseño es de un vehículo marino capaz de alcanzar una velocidad máxima de 120 nudos, con un alcance total de 804 km. Además, la nave debe ser capaz de navegar a baja velocidad durante varias horas, manteniendo su operatividad hasta estados de mar dos.

La nave es de aproximadamente 20 m de eslora, 16 m de manga y 5,5 m de calado para un peso de carga total de alrededor de 42 toneladas.

En el modo de desplazamiento, las hidroalas se giran en contra de los arbotantes y el funcionamiento de la nave es como el descrito para el ASV anterior, osea como un swath tradicional.

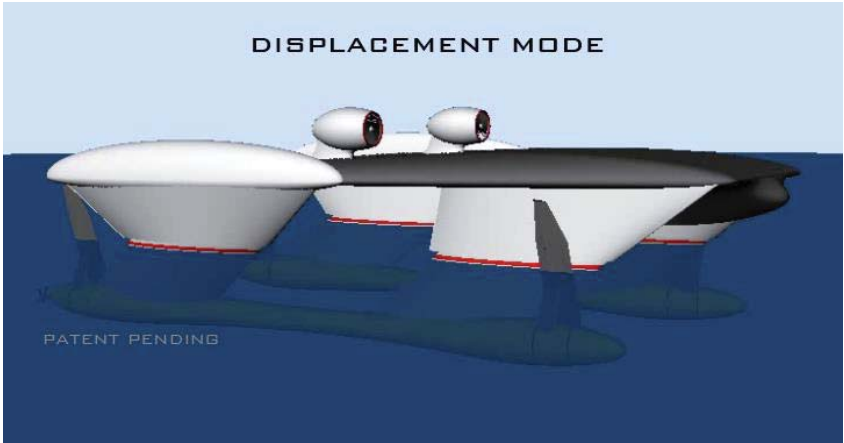


Figura 273. Modo de operación de desplazamiento del Superhigh speed ASV. Fuente: Brizzolara y Chrysostomidis, 2013. The Second Generation of Unmanned Surface Vehicles: Design Features and Performance Predictions by Numerical Simulations. Virginia, EE.UU.

Para llegar a la velocidad máxima de 120 nudos, los dos motores turbo-jet se activan y dos pares de hidroalas de penetración de superficie se giran hacia abajo alrededor de 40 grados con el plano horizontal y la nave se transforma en un hidroala que corta la superficie del agua.

A diferencia de los Swath tradicionales, éste se eleva hasta llegar un momento en que sus cascos inferiores emergen del agua, disminuyendo radicalmente su resistencia.

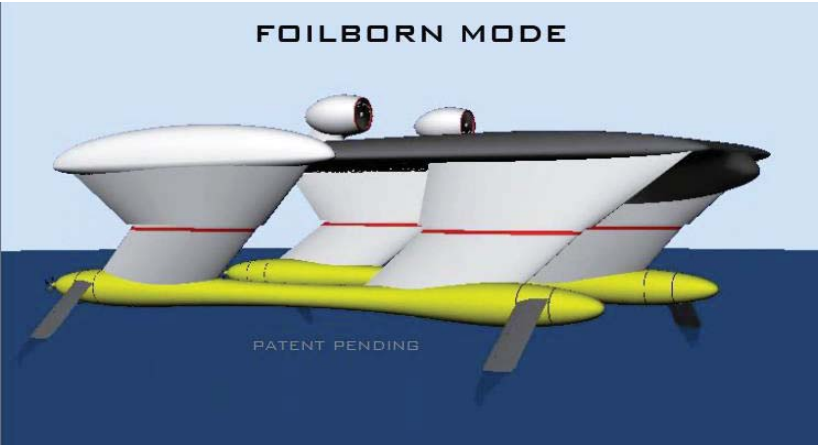


Figura 274. Modo de operación de sustentación del Superhigh speed ASV. Fuente: Brizzolara y Chrysostomidis, 2013. The Second Generation of Unmanned Surface Vehicles: Design Features and Performance Predictions by Numerical Simulations. Virginia, EE.UU.

Las hidroalas del “Superhigh Speed ASV”

En este modo de operar, llamado foilborn mode, o modo de sustentación hidrodinámica el peso es sustentado en gran parte por las cuatro hidroalas, mientras que el resto de la fuerza de elevación requerida la aporta la superestructura.

Las hidroalas actúan para sostener la embarcación a alta velocidad, con el fin de dar una estabilidad sin la necesidad de accionamiento sofisticado ni sistemas para regular la elevación de las láminas.

Las hidroalas forman un ángulo de diedro negativo. Esta elección tiende a aumentar la estabilidad de la embarcación en el modo con foilborn, comparándolo con el ángulo de diedro positivo más habitual. Debido a la extremadamente baja cavitación alcanzada en su máxima velocidad.

No hay mucha investigación en este campo después de los pioneros trabajos teóricos-experimentales que se hicieron en EE.UU. alrededor de '50-'70. Métodos potenciales del túnel de flujo han sido adaptados para estudiar estos perfiles, eventualmente se han aplicado con buenos resultados únicamente en hélice cuchillas que normalmente utilizan secciones más delgadas (Young y Liu, 2008; Gaggero y Brizzolara, 2009). “Sin embargo, en esta investigación se estudia a través de programas CFD con resultados satisfactorios” (Brizzolara y Federici, 2011).

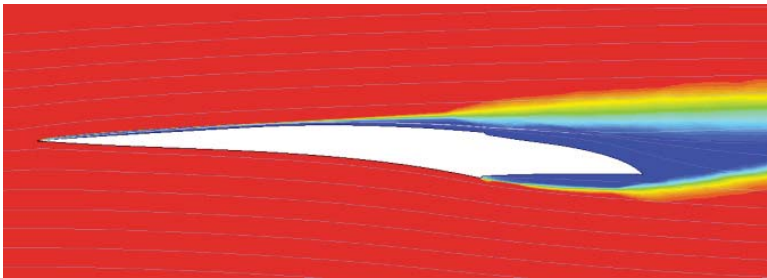


Figura 275. Perfil híbrido de mínima cavitación utilizado en SUPER-FAST HYBRID HYDROFOIL-SWATH. Fuente: Brizzolara y Chrysostomidis, 2013. The Second Generation of Unmanned Surface Vehicles: Design Features and Performance Predictions by Numerical Simulations. Virginia, EE.UU.

La fuerza es un problema en el diseño de estos aerodeslizadores. La primera versión de la hidroala, de hecho, está compuesta por una lámina principal, un corto puntal para reforzar la conexión estructural, y una estructura unida a la cara de la hidroala por encima de la línea de flotación para descargar parte de la fuerza de sustentación que causaría un gran momento de flexión. Como se ve en la siguiente figura:

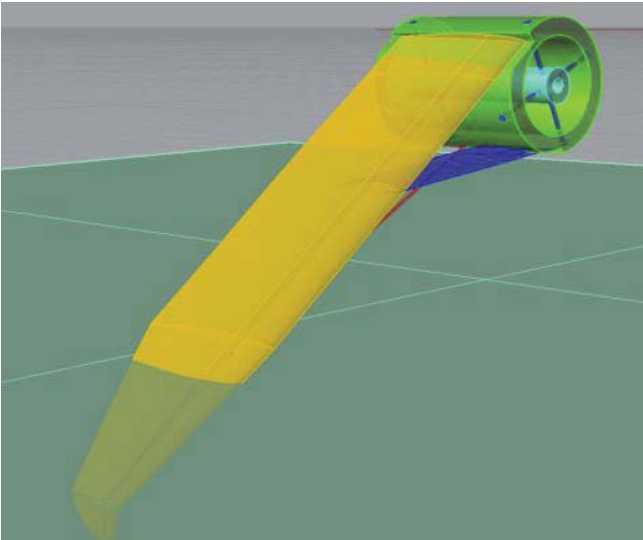


Figura 276. La primera versión del hidroala a toda velocidad. Fuente: Brizzolara y Chrysostomidis, 2013. The Second Generation of Unmanned Surface Vehicles: Design Features and Performance Predictions by Numerical Simulations. Virginia, EE.UU.

Esta solución es capaz de lograr una eficiencia en términos de relación de sustentación y resistencia al arrastre. Teniendo en cuenta la relación más bien baja de la parte de la hidroala sumergido.

Los resultados de los ensayos con modelos que están actualmente en fase de realización en el túnel de superficie libre de cavitación de la Universidad Técnica de Berlín (TUB) confirman la excelente eficiencia del hidroplano, tanto en condiciones de diseño (velocidad máxima) y en el despegue.

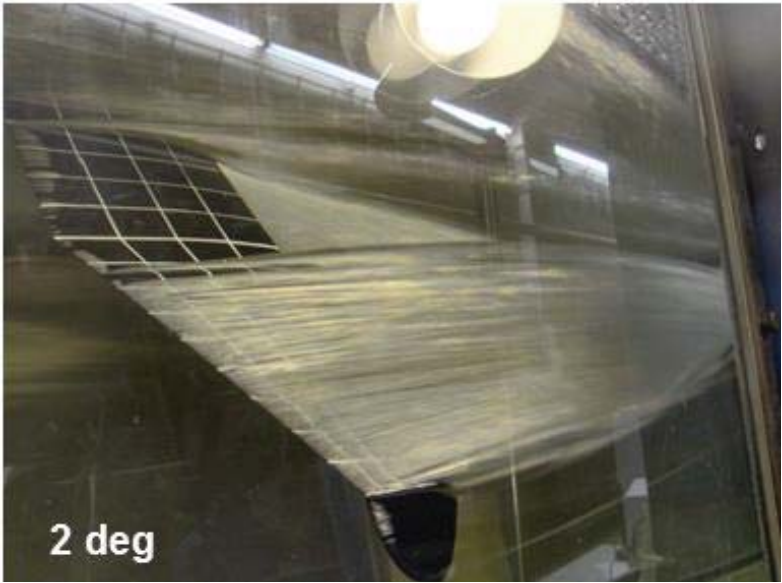


Figura 277. Hidroala en el túnel de cavitación. Fuente: Brizzolara y Chrysostomidis, 2013. The Second Generation of Unmanned Surface Vehicles: Design Features and Performance Predictions by Numerical Simulations. Virginia, EE.UU.



Figura 278. Ventilation on the back of the hydrofoil in model tests with free surface, same cavitation index of top speed. Fuente: Brizzolara, Bovio, Federici y Vernengo, 2011. Hydrodynamic Design of a Family of Hybrid SWATH Unmanned Surface Vehicles. 11th International Conference on Fast Sea Transportation, FAST 2011, Honolulu, Hawaii, USA.

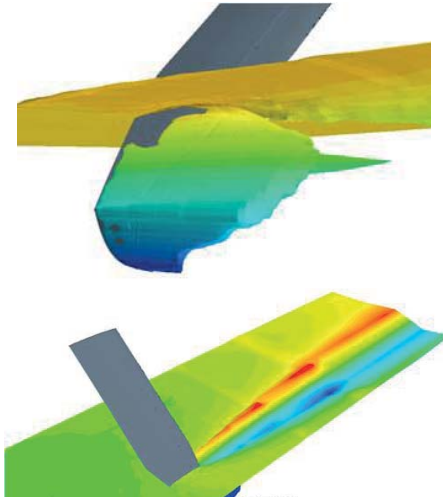


Figura 279. Simulación “RANSE” de la cavitación de la hidroala a 120 nudos. Fuente: Brizzolara, Bovio, Federici y Vernengo, 2011. Hydrodynamic Design of a Family of Hybrid SWATH Unmanned Surface Vehicles. 11th International Conference on Fast Sea Transportation, FAST 2011, Honolulu, Hawaii, USA.

F. Formas hidrodinámicas en los Swath

1. Cantidad de arbotantes

En cuanto a cantidad de arbotantes, hay dos tipos de configuraciones:

- 1 arbotante por casco, para unir la caja con los cascos sumergidos (Fig. 280).
- 2 arbotantes por casco (Fig. 281).

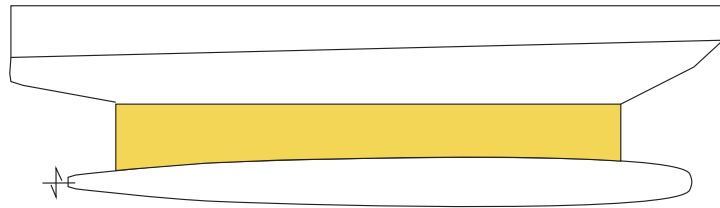


Figura 280. Vista longitudinal Swath con un arbotantes. Fuente: Elaboración propia

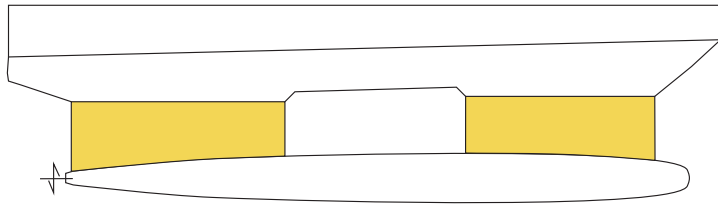


Figura 281. Vista Longitudinal Swath con dos arbotantes. Fuente: Elaboración propia

Características del buque con 1 arbotante por casco:

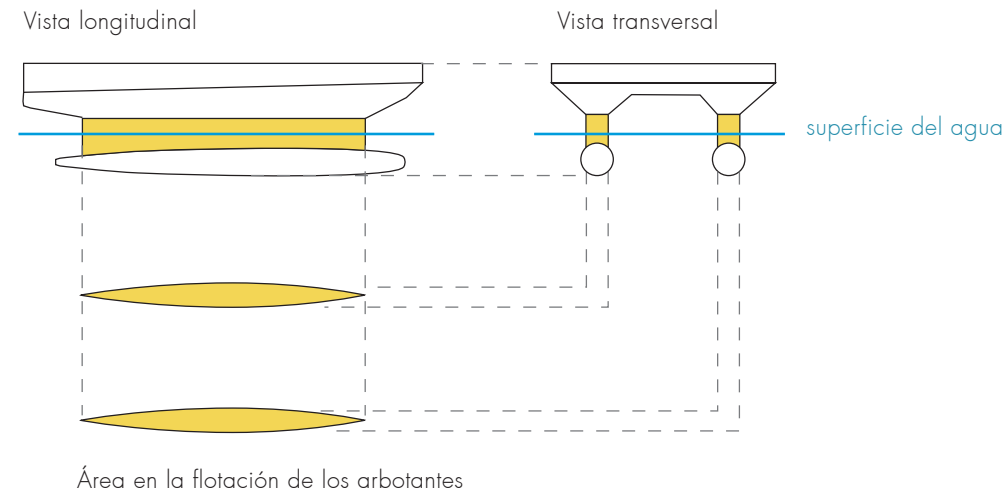


Figura 282. Vista Longitudinal Swath con un arbotante por casco.
Fuente: Elaboración propia

- a. Menos resistencia por formación de olas a altas velocidades
- b. Mayor resistencia friccional a bajas velocidades
- c. Mayor espacio interior en un arbotante más grande

Características del buque con 2 arbotantes por casco:

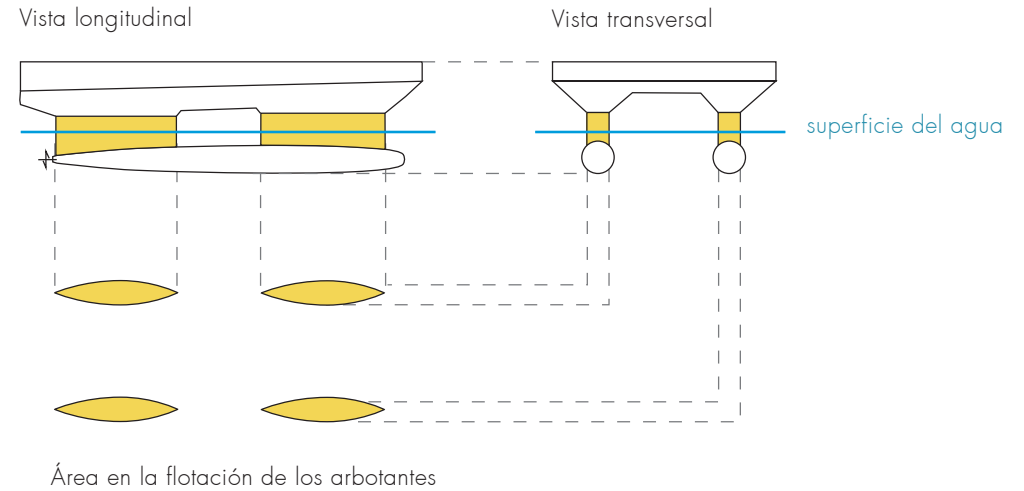


Figura 283. Vista Longitudinal Swath con dos arbotantes por casco. Fuente: Elaboración propia

- a. Mayor resistencia por formación de olas a altas velocidades
- b. Menor resistencia friccional a bajas velocidades, ya que posee menor superficie mojada
- c. Mayor MT1 (menos sensible al trimado) separando los cascos y manteniendo el área en la flotación
- d. Ideal para buques de mayor desplazamiento
- e. Menor excitación en mares de trevés
- f. Al separar arbotantes, más rápido será el período de cabeceo
- g. Al separar arbotantes, es menos sensible al trimado

Características del buque con 1 arbotante por casco:

- a. Menos resistencia por formación de olas a altas velocidades, porque no hay interferencia de flujos por dos cuerpos, sino que sólo hay un cuerpo que no genera interferencia.
- b. Mayor resistencia friccional a bajas velocidades, porque posee mayor superficie mojada.
- c. Mayor espacio interior en un arbotante más grande, ya que la disposición simple, permite tener mayor espacio útil en los arbotantes, y una mejor accesibilidad a estos.

Características del buque con 2 arbotantes por casco:

- a. Mayor resistencia por formación de olas a altas velocidades debido a que esta configuración presenta interferencias entre los dos arbotantes debido a las olas generadas por el arbotante de proa que inciden en el de popa.
- b. Menor resistencia friccional a bajas velocidades, ya que posee menor superficie mojada. Los Swath de doble arbotante por casco presentarán menor superficie mojada y por tanto menor resistencia friccional que uno de simple arbotante a pesar del mayor valor del coeficiente de resistencia friccional.
- c. Mayor MT1 (menos sensible al trimado) separando los cascos y manteniendo el área en la flotación. Para la misma área en la flotación que una simple, proporciona unas superiores toneladas por centímetro de trimado al alejar la flotación de la abscisa del centro de gravedad, con lo que el Swath de doble arbotante por casco es menos sensible en cuanto a trimado a los cambios de peso.

d. Ideal para buques de mayor desplazamiento. Esta configuración sólo puede ser soportada por buques de gran desplazamiento, pues al tener menor área en la flotación respecto a la de un solo arbotante, es mucho más sensible a los cambios de peso, al ser las toneladas por centímetro de inmersión menores. Esta configuración será soportada cuando las toneladas por cm de inmersión obtenidas sean adecuadas para el buque.

e. Menor excitación en mares de través. La disposición doble presenta menor excitación ante mares de través, al oponer menor superficie ante el empuje de la ola, con lo que las aceleraciones laterales, a las que los pasajeros suelen ser muy sensibles, disminuyen.

f. Al separar arbotantes, más rápido será el período de cabeceo. Esto empeora la respuesta ante el cabeceo, pues disminuye el periodo propio al aumentar la altura metacéntrica longitudinal, y se alcanzará antes la zona de resonancia que se dará con olas más cortas, empeorando relativamente su comportamiento en la mar. Este puede mejorarse con unas aletas adecuadas, o bien disminuyendo la distancia longitudinal entre los dos arbotantes con la consiguiente disminución de la altura metacéntrica longitudinal.

g. Al separar arbotantes, es menos sensible al trimado. La distribución doble posee la ventaja de que para la misma área en la flotación que una simple, proporciona unas toneladas por centímetro de trimado superiores, al alejar la flotación de la abscisa del centro de gravedad, con lo que el Swath de doble arbotante por casco es menos sensible en cuanto a trimado a los cambios de peso.

Conclusión sobre la cantidad de arbotantes

Si se busca un Swath de baja velocidad y buen comportamiento en la mar, parece mejor optar por uno de doble arbotante. Si se busca un Swath de alta velocidad, pero no con muy buen comportamiento en el mar, es mejor optar por uno de un arbotante.

Por ejemplo, un Swath de doble arbotante para paseo, puede ser un buque para realizar excursiones, que ha de ser atractivo, en el que la gente disfrute y no se maree, que soporte bien los cambios de posición de la gente, en los que el pasaje se limita para así no tener problemas de aumento de calado debido a las bajas toneladas por centímetro de inmersión que poseen los Swath y que vaya a baja velocidad para poder observar el paisaje o animales marinos, y así se rentabilice la propulsión instalada.

2. Forma y disposición de los arbotantes

Como ya se ha visto, los Swath poseen una menor eficiencia en términos de resistencia al avance en aguas tranquilas, debido a la mayor superficie mojada que presentan respecto a los monocascos de similar desplazamiento.

Sin embargo, jugando con la geometría de la parte sumergida del casco, es posible reducir la resistencia de onda, buscando un efecto de interferencia positiva entre los trenes de olas generadas, para reducir, la propulsión de potencia solicitada y alcanzar la velocidad de diseño (Papanikolaou y Androulakis 1991; Salvesen et al. 1985; Schellin y Papanikolaou 1991).

En un estudio, llamado “Concept design and hydrodynamic optimization of an innovative SWATH ASV by CFD methods”, se crean distintos diseños para el casco sumergido y para los arbotantes.

En general la geometría utilizada para la creación de los dos arbotantes se basa en la forma de un perfil alar, por lo que la curva básica es un perfil de ala que, tal como se ve en la siguiente figura, está definido por una longitud, un valor del espesor máximo, su posición longitudinal a lo largo de la cuerda, el ingreso medio y los ángulos de arrastre (a bordes delantero y trasero).

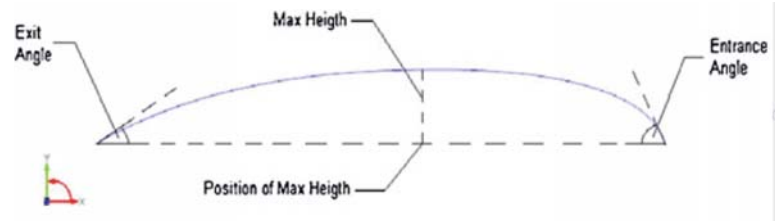


Figura 284. Geometría final del arbotante. Corresponde a la mitad de la geometría, ya que la sección es simétrica. Fuente: Brizzolara & Curtin & Bovio & Vernengo, 2011. Concept design and hydrodynamic optimization of an innovative SWATH USV by CFD methods, Este artículo es parte de “the Topical Collection on Maritime Rapid Environmental Assessment”

Arbotantes “curvados o retorcidos”

Los arbotantes normalmente mantienen una sección constante desde los cascos sumergidos hasta la unión con la caja, salvo en algunos diseños innovadores en los que los arbotantes se retuercen. Estos diseños especiales optimizan la resistencia estructural e hidrodinámica, además de aumentar el GM, pues aumenta el radio metacéntrico transversal, sin necesidad de aumentar la manga de la caja del buque.

Así se ahorra peso, que como se ha ido mencionando es una variable fundamental y limitativa. Sin embargo no hay que olvidar que aunque se mejore con estos arbotantes la resistencia y la estabilidad, deberán permitir el acceso a los cascos sumergidos, y esta forma curvada lo dificultará, a no ser que tenga un tamaño suficientemente grande como para permitir el paso.



Figura 285. Bentley Marine’s Tourist boats and Casino ships. Fuente: www.bentley-marine.com. Este diseño de Swath tiene unos arbotantes muy curvados. Disponible en: www.bentleymarine.com

Arbotantes desplazados transversalmente

Otra forma de variar los arbotantes, y en consecuencia sus cascos sumergidos, es desplazándolos transversalmente, para evitar interferencia entre ellos. Tal como el Swath Sea Slice, que cuenta con cuatro cascos sumergidos y cada uno con un arbotante.



Figura 286. The Sea-Slice developed by Lockheed Martin. Fuente: Brizzolara y Villa, 2009. Hydrodynamic Assessment and Optimization of Slice Hull Forms. Italia, University of Genova – Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, DINAV.

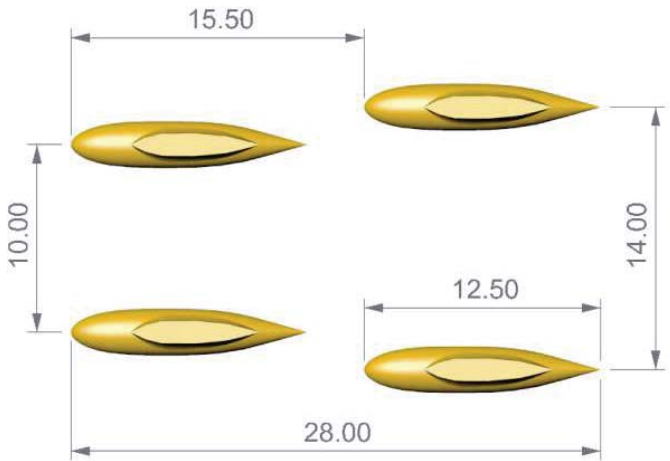


Figura 287. Ejemplo de la disposición de los cascos sumergidos DINAV. Fuente: Brizzolara y Villa, 2009. Hydrodynamic Assessment and Optimization of Slice Hull Forms. Italia, University of Genova – Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, DINAV.

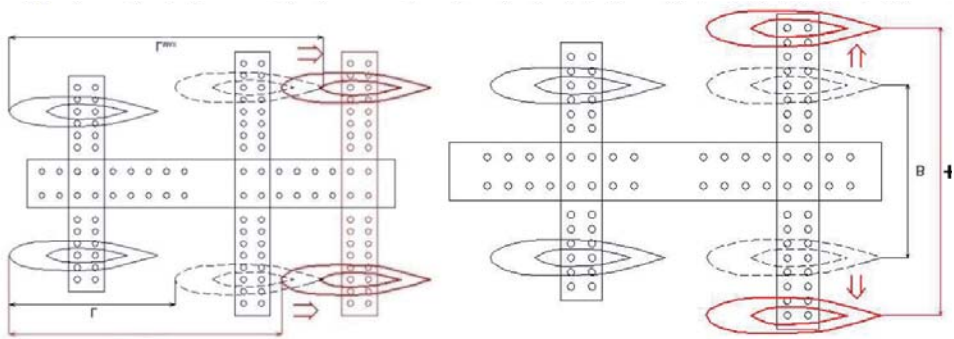


Figura 288. Disposición de los cascos sumergidos DINAV. Fuente: Brizzolara y Villa, 2009. Hydrodynamic Assessment and Optimization of Slice Hull Forms. Italia, University of Genova – Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, DINAV.

Aquí se puede apreciar un esquema del Sea-Slice, de la tesis de Stevens, 1995.

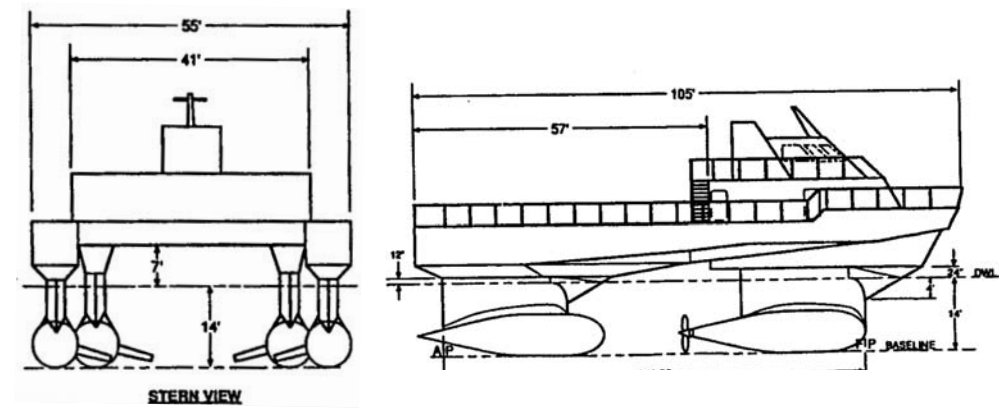


Figura 289. The SLICE configuration. Fuente: Lockheed, 1994. Lockheed Missile and Space Company, Inc., "SLICE Lines and Offsets," Drawing No. PI-100-01, Sheets 1 and 2, Dec. 1994.

Arbotantes inclinados transversal y longitudinalmente

Del estudio "The Second Generation of Unmanned Surface Vehicles", de Brizzolara y Chrysostomidis, 2013, se rescata la particularidad de los arbotantes que se diseñan para este proyecto.

Los estudios de optimización hidrodinámica, en este caso, han considerado la mejor disposición de los arbotantes, por lo menos en términos de su ángulo de inclinación. Con un modelo numérico validado con éxito ya probado en el caso de SWATH no convencional (Brizzolara y Villa, 2009), se encontró que la mayor parte de la resistencia a una velocidad para $F_n = 0,66$ se concentra en los arbotantes de popa.

Esto es debido a la gran efecto de interferencia entre las olas generadas por el arbotante de proa sobre el de popa. Con el fin de reducir la resistencia en el arbotante de popa, se modificó el ángulo de inclinación manteniendo la misma sección transversal del arbotante.

Un buen resultado de reducción de la resistencia se logró en la versión final del buque, en el que los arbotantes delanteros se inclinaron en un ángulo de 20° hacia el interior y los arbotantes de popa a una ángulo igual pero de sentido opuesto, hacia el exterior.

Esta embarcación es la misma que se muestra anteriormente en las páginas 224 a la 226 de esta tesis, donde se puede ver claramente la inclinación de sus arbotantes.

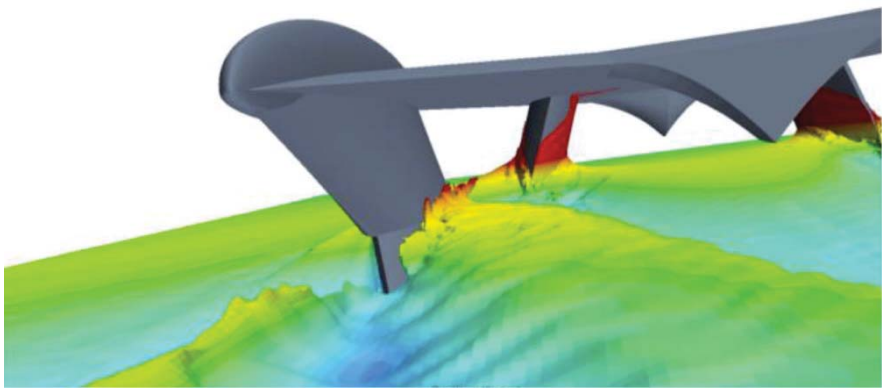


Figura 290. Patrón de onda simulado por el sistema de CFD para el HY-SWATH en $F_n = 0,66$. Es una vista desde popa de la nave, a nivel de la superficie del agua. Fuente: Brizzolara y Chrysostomidis, 2013. The Second Generation of Unmanned Surface Vehicles: Design Features and Performance Predictions by Numerical Simulations. Virginia, EE.UU.

3. Forma del o los casco/s sumergido/s

En el estudio del artículo llamado “Concept design and hydrodynamic optimization” se proponen los siguientes cascos, los cuales fueron puestos a prueba en programas CDF, para evaluar la formación de olas entorno a ellos.

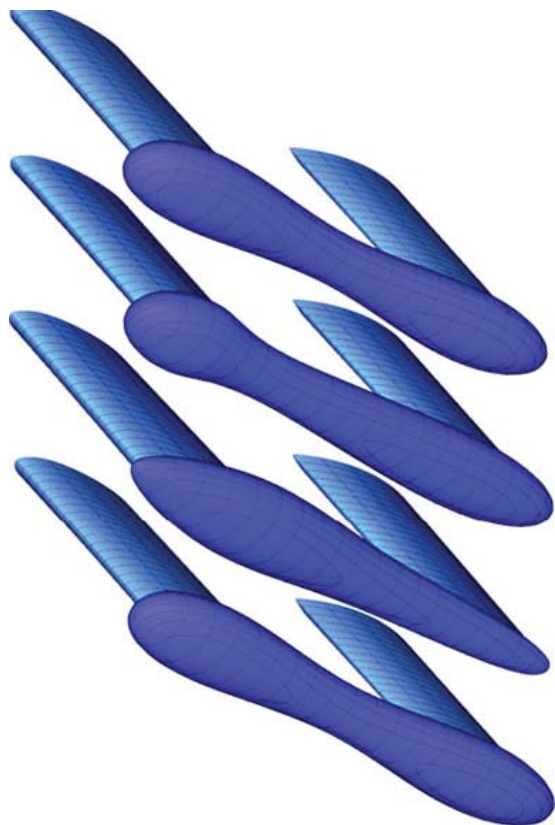


Figura 291. Modelado paramétrico de Swath de dos cascos sumergidos y sus arbotantes. Fuente: Brizzolara & Curtin & Bovio & Vernengo, 2011. Concept design and hydrodynamic optimization of an innovative SWATH USV by CFD methods, Este artículo es parte de “the Topical Collection on Maritime Rapid Environmental Assessment”

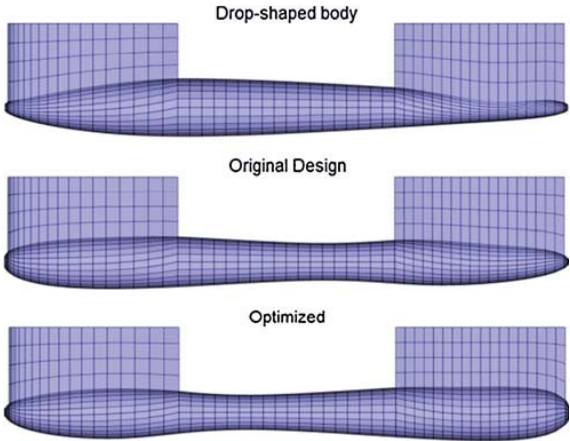


Figura 292. Modelos de cascos que se estudiaron. Fuente: Brizzolara & Curtin & Bovio & Vernengo, 2011. Concept design and hydrodynamic optimization of an innovative SWATH USV by CFD methods, Este artículo es parte de “the Topical Collection on Maritime Rapid Environmental Assessment”

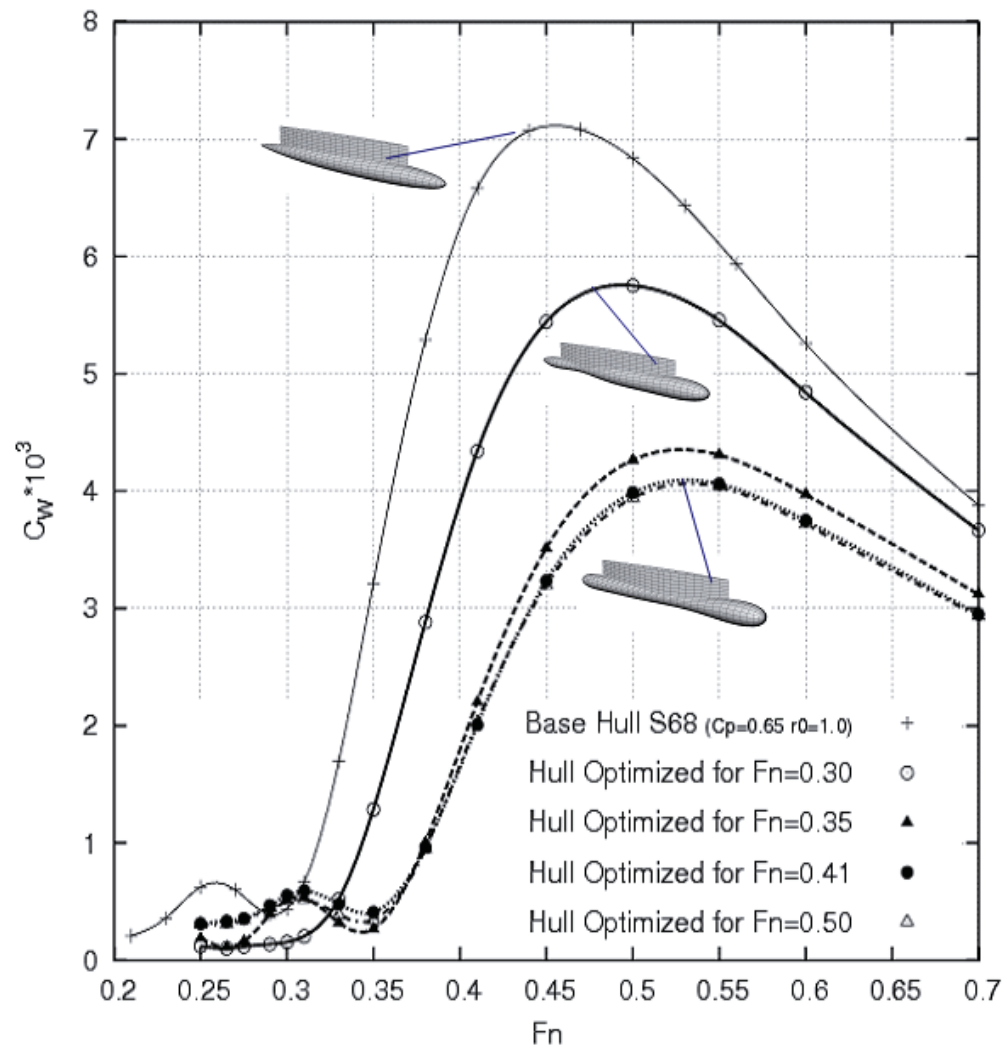


Figura 293. Gráfico de resistencia de distintos cascos. Reducida resistencia por formación de olas del casco optimizado de un Swath no convencional. Fuente: Brizzolara, Bovio, Federici y Vernengo, 2011. Hydrodynamic Design of a Family of Hybrid SWATH Unmanned Surface Vehicles. 11th International Conference on Fast Sea Transportation, FAST 2011, Honolulu, Hawaii, USA.

Los resultados del estudio llamado "Concept design and hydrodynamic optimization" concluyeron que el casco "Optimized" logra reducir la resistencia por formación de olas, ya que se logra una positiva interferencia entre los trenes de olas generadas por los componentes de cada casco, y también incluso cada casco aislado. En este diseño de caso, la adecuada posición longitudinal de la sección contraída (cerca del centro del casco) y de la otras dos secciones de diámetro mayor, juega un papel importante en la cancelación de la ola.

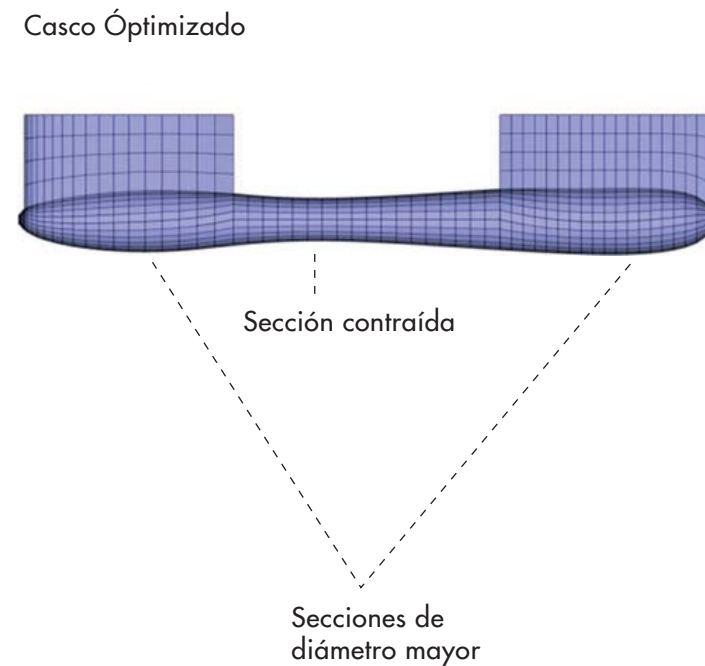


Figura 294. Forma optimizada del casco sumergido de ASV-Swath. Fuente: Brizzolara, Bovio, Federici y Vernengo, 2011. Hydrodynamic Design of a Family of Hybrid SWATH Unmanned Surface Vehicles. 11th International Conference on Fast Sea Transportation, FAST 2011, Honolulu, Hawaii, USA.

Otros estudios del mismo autor, proponen otras formas para cascos sumergidos para Swath o Swath híbridos (tipo hyswas), que se comparan con las formas tradicionales.

Se muestra el gráfico comparativo de las resistencias de cada tipo de casco y luego se muestran las formas que se compararon:

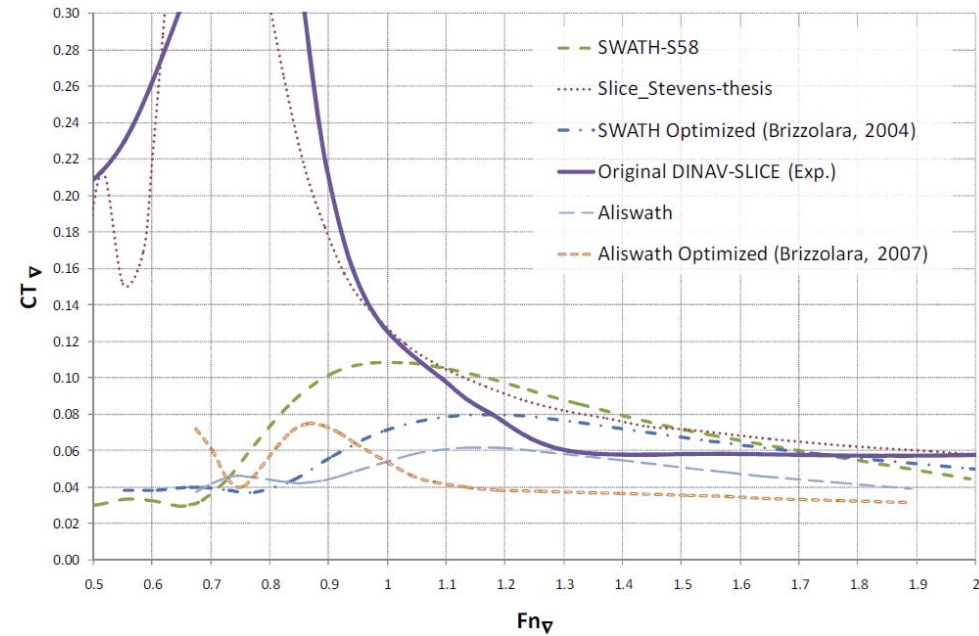


Figura 295. Comparison of total resistance of the DINAV-SLICE with the equivalent hulls of Table 2. Fuente: Brizzolara y Villa, 2009. Hydrodynamic Assessment and Optimization of Slice Hull Forms. Italia, University of Genova – Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, DINAV.

SWATH S58

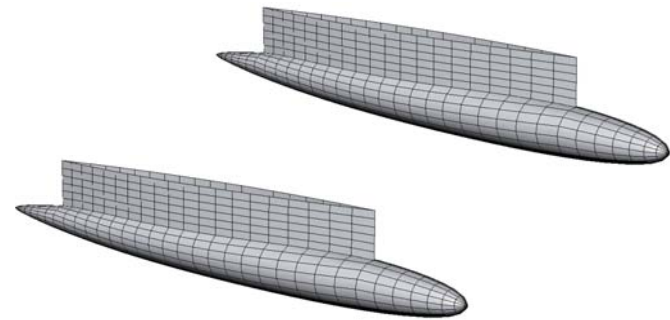


Figura 296. Formas del Swath S58. Fuente: Brizzolara y Villa, 2009. Hydrodynamic Assessment and Optimization of Slice Hull Forms. Italia, University of Genova – Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, DINAV.

Slice, de la tesis de Stevens, 1995

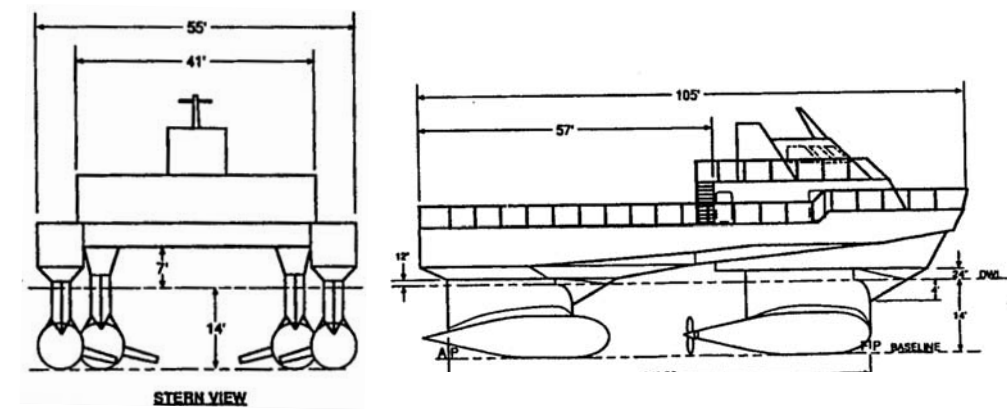


Figura 297. The SLICE configuration. Fuente: Lockheed, 1994. Lockheed Missile and Space Company, Inc., "SLICE Lines and Offsets," Drawing No. PL-100-01, Sheets 1 and 2, Dec. 1994.

Swath Optimized (Brizzolara, 2004)

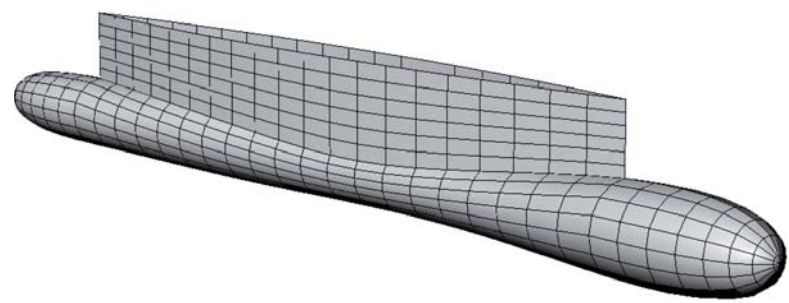


Figura 298. Casco optimizado para Swath (Brizzolara, 2004)

Orifinal DINAV Slice

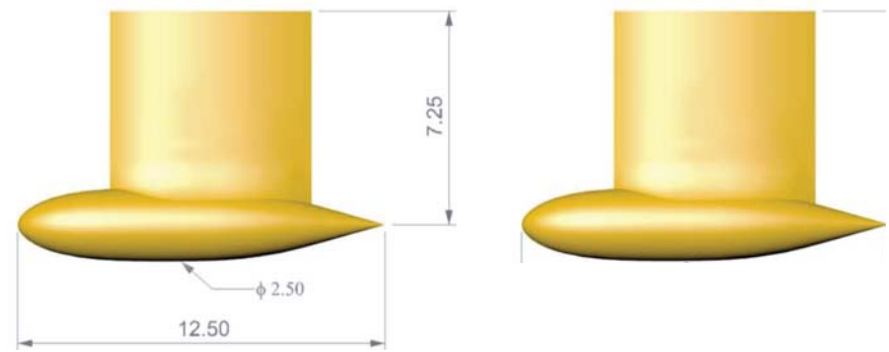


Figura 299. Geometría de los cascos sumergidos DINAV. Fuente: Brizzolara y Villa, 2009. Hydrodynamic Assessment and Optimization of Slice Hull Forms. Italia, University of Genova – Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, DINAV.

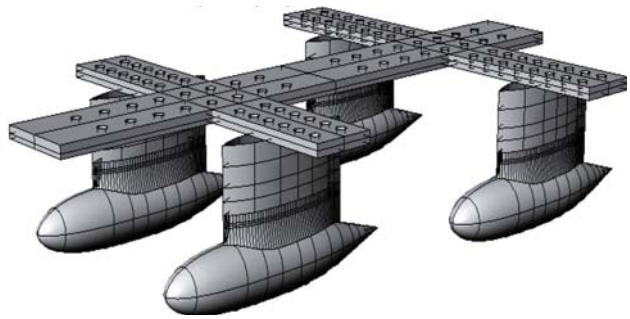


Figura 300. Vista 3D de la disposición de los cascos para probarlos en un canal de pruebas. Fuente: Brizzolara y Villa, 2009. Hydrodynamic Assessment and Optimization of Slice Hull Forms. Italia, University of Genova – Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, DINAV.



Figura 301. Fotografía del casco construido listo para ser probado en el canal hidrodinámico. Fuente: Brizzolara y Villa, 2009. Hydrodynamic Assessment and Optimization of Slice Hull Forms. Italia, University of Genova – Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, DINAV.

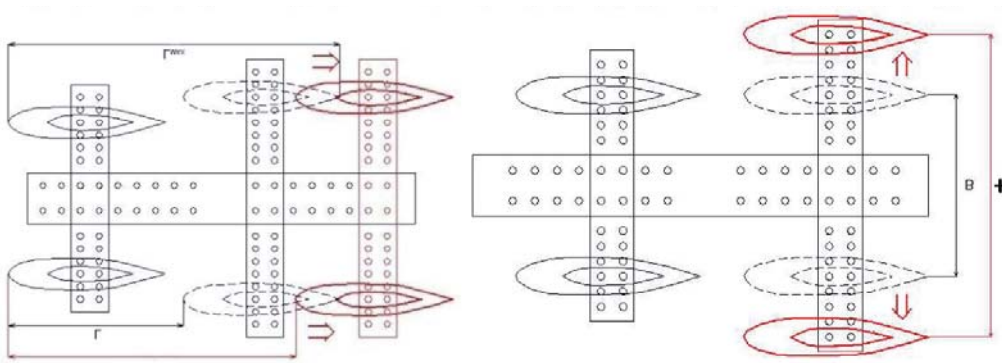


Figura 302. Disposición de los cascos sumergidos DINAV. Fuente: Brizzolara y Villa, 2009. Hydrodynamic Assessment and Optimization of Slice Hull Forms. Italia, University of Genova – Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, DINAV.

Aliswath



Figura 303. "Aliswath" buque desarrollado en un Proyecto construido por los astilleros Rodriguez.
Fuente: Marine Log, 2006. Innovative ferry concept. Disponible en: <http://www.marinelog.com/>

Analizando el gráfico de la Figura 295, se pudo ver que los cascos que oponen menos resistencia son: el casco optimizado de Brizzolara y los cascos del Aliswath.

Esto es lógico considerando que el Aliswath posee sólo un casco, mientras que los demás poseen dos cascos.

G. Maniobrabilidad en los Swath

Se ha mencionado ya la excelente capacidad para maniobrar de los Swath a bajas velocidades, debido al uso conjunto de los dos propulsores empujando en sentido contrario. Sin embargo el poder usar esta técnica no es factible a velocidades medias debido a la inercia que tendrá el buque, reservándose esta técnica para maniobras en puerto o de posicionamiento en alta mar.

Los Hyswas no poseen la ventaja de tener dos propulsores, por lo que su maniobrabilidad depende de la movilidad de las hidroalas y del timón.

1. Ubicación del timón

Timón formando parte del arbotante

Los primeros Swath llevaban el timón como si formara parte del arbotante, a proa del propulsor (Fig. 304). La maniobrabilidad de este sistema a bajas velocidades era muy buena pero para altas velocidades, la ola generada por el arbotante, quitaba superficie efectiva al timón, haciéndole perder eficacia.

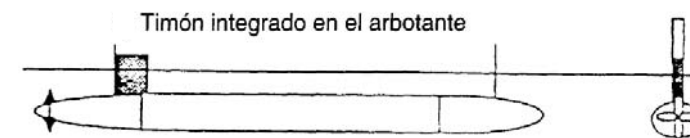


Figura 304. Timón integrado en el arbotante, distintos sistemas de gobierno en un Swath. Fuente: Pérez, 2000. Estudio Hidrodinámico de un Catamarán Tipo Swath, Departamento de Arquitectura y Construcción Navales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. Disponible en: <http://oa.upm.es/888/1/08200101.pdf>

Timón más cerca del propulsor

El siguiente paso fue sumergir más el timón, acercándolo al propulsor. El timón ahora se apoyaba en los cascos sumergidos y tenía el eje apoyado en ellos (Fig. 305). Se vio que cuanto más se acercaba el timón a popa, mejoraba la maniobrabilidad, pues la superficie útil aumenta. El aumentar la longitud de los arbotantes no mejoraba la maniobrabilidad.

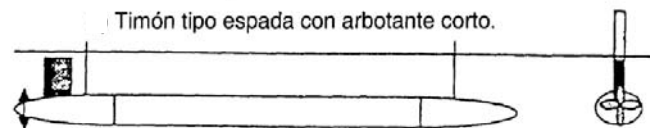


Figura 305. Timón tipo espada con arbotante corto, distintos sistemas de gobierno en un Swath. Fuente: Pérez, 2000. Estudio Hidrodinámico de un Catamarán Tipo Swath, Departamento de Arquitectura y Construcción Navales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. Disponible en: <http://oa.upm.es/888/1/08200101.pdf>

Timón detrás del propulsor

El último paso fue sumergir más los timones situándolos a popa del propulsor (Fig. 306). La efectividad aumenta a altas velocidades, al perderse muy poca superficie útil y recibir el flujo directo de la hélice.

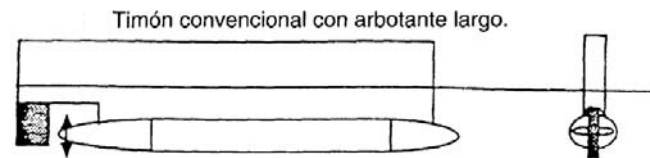


Figura 306. Timón tipo espada con arbotante largo, distintos sistemas de gobierno en un Swath. Fuente: Pérez, 2000. Estudio Hidrodinámico de un Catamarán Tipo Swath, Departamento de Arquitectura y Construcción Navales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. Disponible en: <http://oa.upm.es/888/1/08200101.pdf>

Aletas- timones

En el caso de disponer de aletas estabilizadoras activas en popa, se pueden maniobrar conjuntamente con los timones para reducir el diámetro de giro. Unas aletas adecuadas podrían llegar a sustituir a los timones.

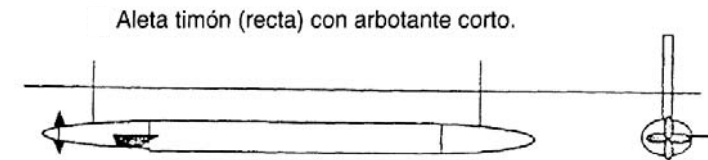


Figura 307. Aleta timón recta con arbotante corto, distintos sistemas de gobierno en un Swath. Fuente: Pérez, 2000. Estudio Hidrodinámico de un Catamarán Tipo Swath, Departamento de Arquitectura y Construcción Navales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. Disponible en: <http://oa.upm.es/888/1/08200101.pdf>

Aletas-timones inclinadas

Las últimas tendencias consisten en usar arbotantes cortos, para minimizar las fuerzas de excitación y para ello usan aletas timón, inclinadas entre 20° y 30° respecto a la horizontal y que además de actuar de timón, lo hacen de estabilizadores ante los movimientos verticales.

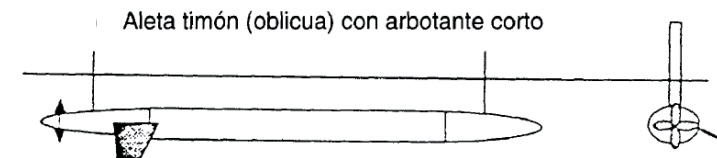


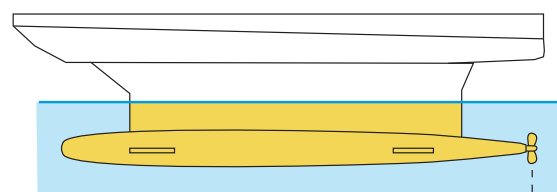
Figura 308. Aleta timón inclinadas con arbotante corto, distintos sistemas de gobierno en un Swath. Fuente: Pérez, 2000. Estudio Hidrodinámico de un Catamarán Tipo Swath, Departamento de Arquitectura y Construcción Navales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. Disponible en: <http://oa.upm.es/888/1/08200101.pdf>

H. Propulsión en los Swath

La geometría tanto de la obra viva como de la obra muerta de estos buques, permite pensar en muchas variantes en cuanto a la propulsión.

La disposición de los cascos sumergidos no sólo proporciona un campo de estelas muy uniforme en el disco del propulsor, sino que además no restringe su tamaño, con lo que el diseño de las hélices carece de restricciones pudiéndose obtener rendimientos propulsivos mayores y mejores márgenes frente a la cavitación y por lo tanto frente a la generación de ruidos y vibraciones.

El mayor calado del Swath respecto a un monocasco le da ventaja, ya que evita la cavitación de la hélice, con lo que se logra mantener un alto rendimiento propulsivo para altos estados de mar, así como un mejor mantenimiento de las palas del propulsor.



hélice se mantiene a mayor profundidad, por lo que se evita la cavitación

Figura 309. Esquema de la hélice sumergida en un Swath.
Fuente: Elaboración propia

1. Propulsión Diesel - Eléctrica

Consiste en un sistema compuesto por dos tipos de motores. Uno diesel y otro eléctrico. El primero entrega su potencia al eje del generador eléctrico y éste último alimenta al motor eléctrico, que es el motor propulsor, que conecta con el eje de la hélice en el caso de una embarcación.

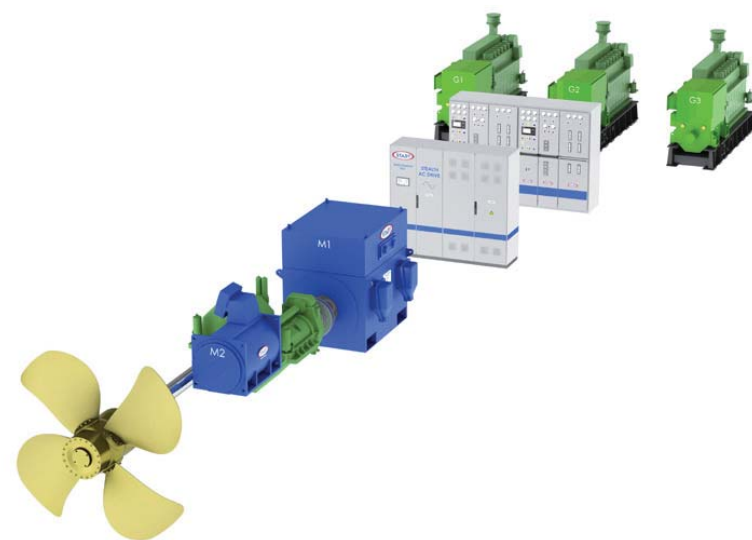


Figura 310. Esquema de un sistema diesel eléctrico de un eje. Fuente: Stadt, 2013. Stadt Electric Propulsion. Noruega. Disponible en: www.stadt.no

En el esquema anterior se muestra una disposición básica de un sistema diesel eléctrico que consta de: 3 generadores, 1 motor eléctrico, 1 switchboard y la hélice.

Concepto de central eléctrica

La propulsión DE (Diesel- Eléctrica) provee ventajas como la flexibilidad de operación, distribución de las cargas de propulsión y hotel (es la demanda de los consumidores eléctricos abordo, necesarios para mantener el confort, tales como la climatización y la iluminación), concepto de “central eléctrica” y flexibilidad en la disposición de los generadores, convertidores y cuadros de control.

Mayor costo de inversión

La transmisión eléctrica tiene el inconveniente de mayores costos de equipamiento e inversión y mayores pérdidas que la transmisión mecánica.

Ahorro de espacio

Ahorro de espacio, gracias a la posibilidad de distribución de los motores. En una embarcación de tamaño moderado, el aumento de espacio debería ser tenido en consideración. Además, algo muy útil de la propulsión eléctrica, es que se transmite todo a través de cables, los que ocupan muy poco espacio.

Tamaño

El motor de combustión interna tiene además de sus partes principales, sistemas anexos como el de alimentación, lubricación y enfriamiento, mientras el motor eléctrico carece de estos sistemas, lo que permite que sus dimensiones sean notoriamente menores. Dependiendo de los modelos que se comparen pueden existir diferencias de rangos del 200% en algunas de las dimensiones de los motores, además de una gran diferencia en el peso de motor, lo cual cobra vital importancia para las embarcaciones menores, donde se debe optimizar al máximo el peso, para obtener el menor desplazamiento posible.

Ecológicos

Los navíos con propulsión DE tienen el atributo de ser “barcos verdes”. Al funcionar los motores a velocidad constante, pueden ser ajustados para que los gases de escape contengan el mínimo porcentaje de contaminantes. Además, los motores de velocidad constante producen menos CO₂ y NO_x que los motores que operan a velocidad variable.

Confort

El confort es un criterio esencial en el diseño de naves, y la propulsión eléctrica con altos requisitos de bajas vibraciones y ruido y alta eficiencia es hoy cada vez más común.

Casi nula mantención

Sin duda uno de los aspectos que comparativamente ofrece mayor ventaja a los motores eléctricos en relación a los motores de combustión interna es la prácticamente nula mantención preventiva a la que deben ser sometidos a lo largo de su vida útil. Estos motores son de muy alta fiabilidad. Sólo se recomienda revisar los descansos del eje y los rodamientos, se les saca la tapa para revisarlo, pero esto se revisa a una vez al año.

Motores Eléctricos

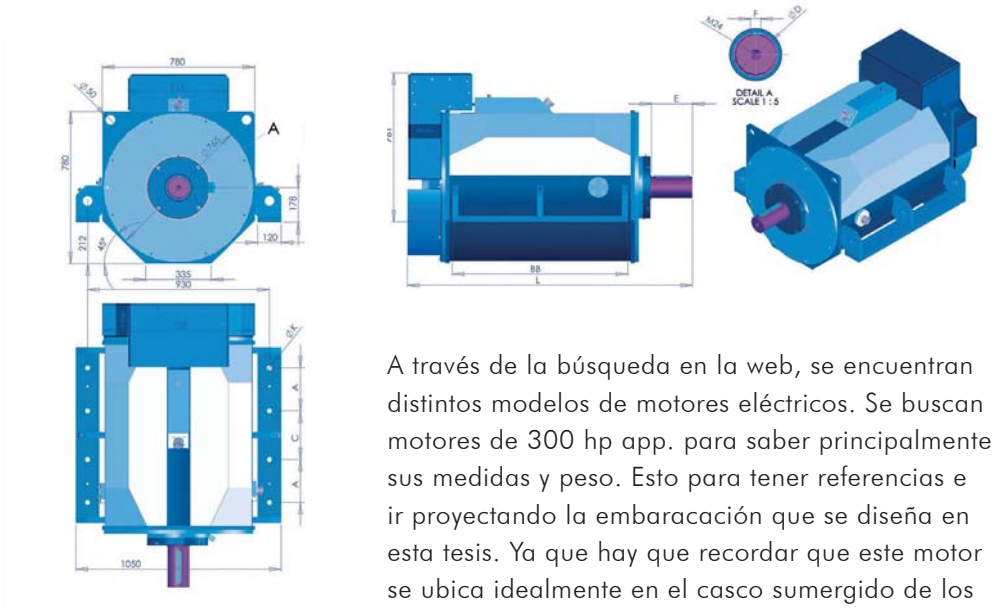


Figura 311. Planos de un motor eléctrico. Fuente: TEMA LPMR, 2013. Your permanent power. Disponible en: <http://www.tema.hr/lpmr/>

A través de la búsqueda en la web, se encuentran distintos modelos de motores eléctricos. Se buscan motores de 300 hp app. para saber principalmente sus medidas y peso. Esto para tener referencias e ir proyectando la embarcación que se diseña en esta tesis. Ya que hay que recordar que este motor se ubica idealmente en el casco sumergido de los Swath.

Como referencia, algunos datos de motores de 300 hp. son los siguientes:

Modelo	Marca	Peso (kg)	Medidas (mm)
450C3M	Marelli Motores	1260	2350 x 1150 x 900
50.6.09AW	LPMR	931	1236 x 810 x 810
5008TS	Weg	1430	1470 x 600 x 810
586/7TS	Weg	1350	1370 x 730 x 730

Propulsión Diesel-Eléctrica en los Swath

Para los Swath de mayor desplazamiento se puede optar por la propulsión Diesel-Eléctrica. Si los cascos sumergidos permiten la acomodación de los motores principales en ellos, se llega incluso a ahorrar peso respecto a los monocasco pues la longitud de los ejes es menor.

Si se opta por la propulsión Diesel - Eléctrica, situando los motores eléctricos en los cascos sumergidos, y los generadores Diesel en la caja, se pueden disponer estos de la forma más segura situándolos uno a cada banda, o bien situarlos en crujía, para aprovechar mejor el espacio. Se gana además rendimiento propulsivo, no solo por tener los propulsores en un campo de estelas más uniforme que en un monocasco debido a la geometría de los arbotantes, sino porque se ha disminuido la longitud de la línea de ejes, aumentando el rendimiento mecánico.

Además se han alejado los Diesel del agua, pues están aislados en la caja, disminuyendo por tanto la “firma acústica” del buque, clave en buques militares, buques oceanográficos y de investigación pesquera. No obstante se debe comprobar que la geometría soporta el peso superior de la propulsión Diesel-Eléctrica frente a la convencional.

Propulsión Diesel Eléctrica en el ASV Swath

Por ejemplo, la siguiente embarcación, que mide 6 m de eslora, posee una propulsión diesel-eléctrica con dos generadores de 25 Kw en el casco superior, dos motores eléctricos de 20 kw en cada casco sumergido conectados a través de engranajes epicicloidales para el giro de la hélice.

Por lo tanto la potencia total es de 40 Kw, la cual se transmite a dos hélices de 70 cm de diámetro. Además posee cuatro packs de batería en la parte sumergida de los arbotantes. Los tanques de lastre y combustible simétricos se montan en una parte de cada casco inferior para otorgar un rango de autonomía de unos 193 kilómetros.

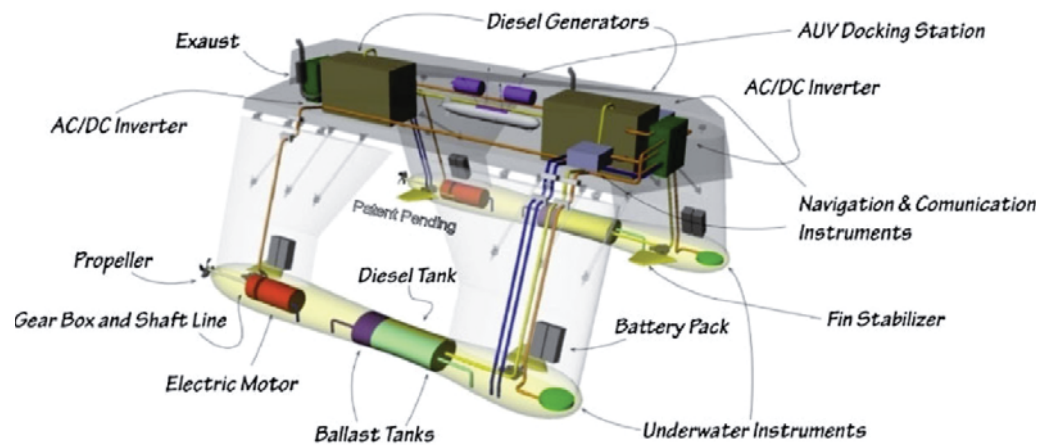


Figura 312. Disposición general de los elementos principales de la nave, como maquinaria, sistemas, etc.
Fuente: Brizzolara & Curtin & Bovio & Vernengo, 2011. Concept design and hydrodynamic optimization of an innovative SWATH USV by CFD methods, Este artículo es parte de "the Topical Collection on Maritime Rapid Environmental Assessment"

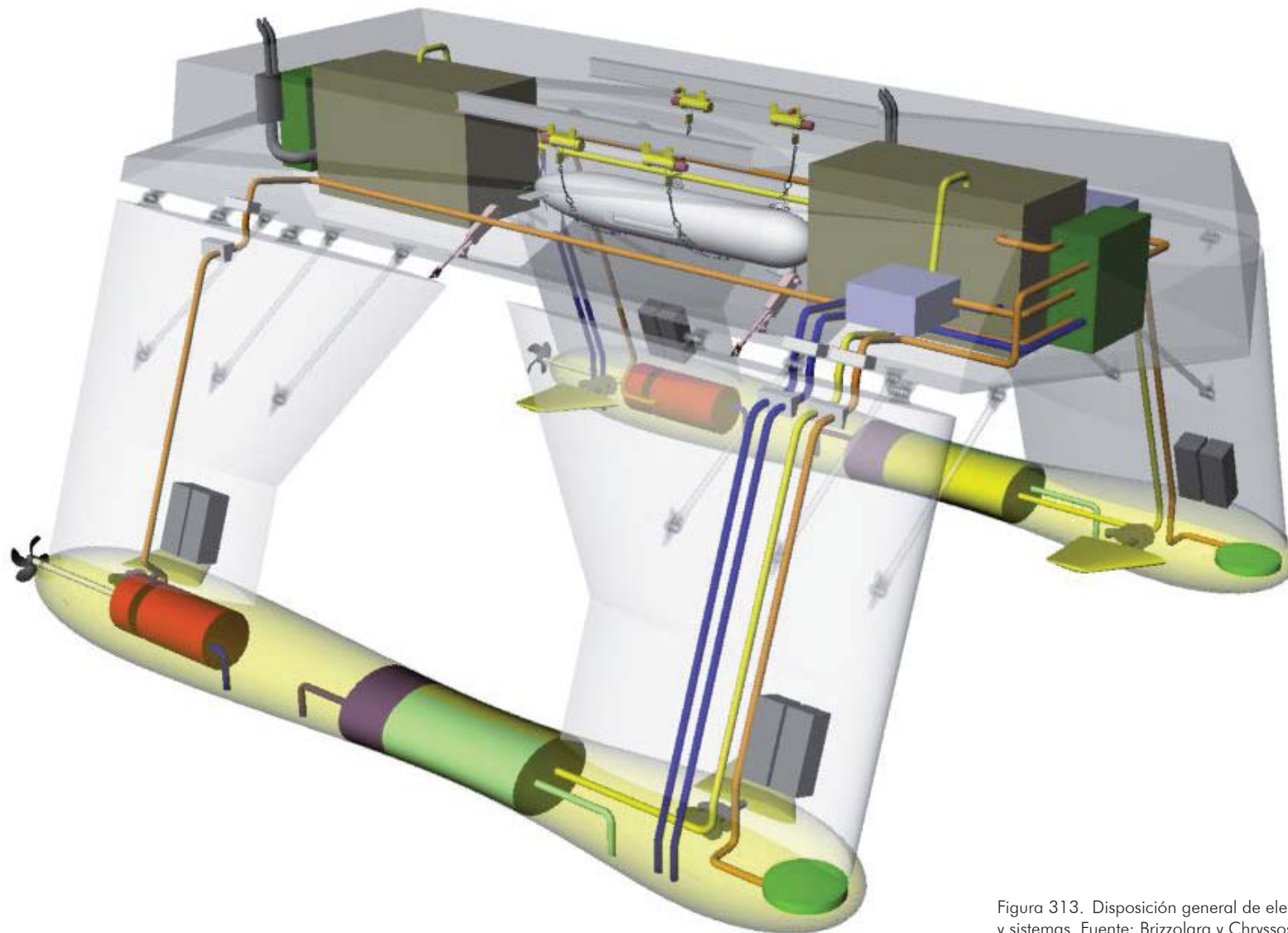


Figura 313. Disposición general de elementos principales del buque, maquinarias y sistemas. Fuente: Brizzolara y Chrysostomidis, 2013. The Second Generation of Unmanned Surface Vehicles: Design Features and Performance Predictions by Numerical Simulations. Virginia, EE.UU.

Propulsión Diesel en la embarcación “Aliswath”

La embarcación “Aliswath” se caracteriza por tener un único sistema de propulsión de dos motores diesel MTU 16 V 4000 M70 situados en el cuerpo Swath que dirigen una única hélice de cinco palas, de 2,2 metros de diámetro, y un motor diesel MTU 12V 183 TE73 a popa en cada lado del casco propulsando una hélice tractora.

El casco de aluminio tiene una potencia instalada de 6.080 kW, presente en los dos pods, más dos motores principales diesel montados en el casco torpedo unidos a una hélice de alta eficiencia. Esto comparado con 9.300 kW necesarios para los buques Rodriquez existentes, de la misma capacidad y velocidad, la serie TMV70, que ya están en servicio.

Los sistemas de Pod, desarrollados por Rodriquez Marine Systems, están equipadas con tracción hélices que proporcionan energía extra, alta maniobrabilidad y permiten 11 nudos de velocidad en caso de fallo del motor principal.

La embarcación se eleva cuando alcanza los 19 nudos.

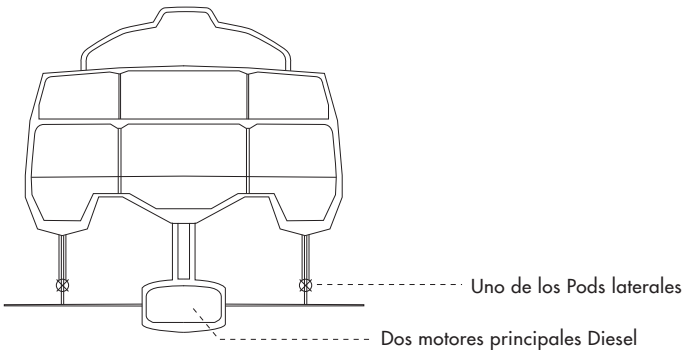


Figura 314. Esquema de la ubicación de los motores en la embarcación llamada “Aliswath”. Fuente: Elaboración propia.

I. Estructura y construcción en los Swath

1. Cargas Estructurales

Los primeros Swath se construyeron siguiendo procedimientos empleados en la construcción de monocascos. Sin embargo esto fue un error que hizo que los primeros diseños pesaran en exceso. Hay zonas en las que se pueden reducir escantillones, debido a que las fuerzas de excitación producidas por las olas son inferiores que en los monocascos.

La principal acción de las olas sobre la estructura de un Swath se muestra en el momento torsor ejercido sobre el eje longitudinal del barco, y es mayor a menor velocidad. De ensayos se ha obtenido que, para una altura de ola dada, los mayores momentos son producidos por olas de longitud de onda de 3 a 4 veces la manga sumergida del buque.

El espaciado entre refuerzos afecta poco a la resistencia estructural del buque ante el momento torsor provocado por las olas. Sin embargo, pequeños cambios en el calado, que ya se ha visto que son probables, tienen un gran efecto en la fuerza y en el momento originados por las olas, pues un aumento del calado hace aumentar la fuerza y el momento causado por la misma.

Para reducir el calado se puede o bien reducir la zona sumergida de los arbotantes, con lo que podría empeorar el rendimiento propulsivo, por estar la hélice más cerca de la superficie o bien dar a los cascos sumergidos forma ovalada o de elipse frente a la circular, para así, con el mismo desplazamiento de los cascos sumergidos, reducir el calado.

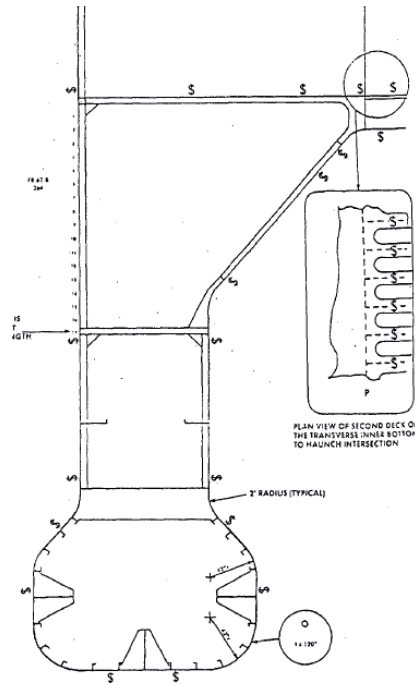


Figura 315. Sección constructiva típica de un Swath. Fuente: Pérez, 2000. Estudio Hidrodinámico de un Catamarán Tipo Swath, Departamento de Arquitectura y Construcción Navales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. Disponible en: <http://oa.upm.es/888/1/08200101.pdf>

Mediante programas de elementos finitos, se facilita el estudio de la estructura, y en especial de las zonas de unión entre los arbotantes y la caja, llamada “haunch” y que tiene forma de cuña, con los bordes redondeados para minimizar las tensiones. Interiormente presenta una serie de refuerzos transversales para distribuir las tensiones a la parte central de la caja, que se haya poco cargada.

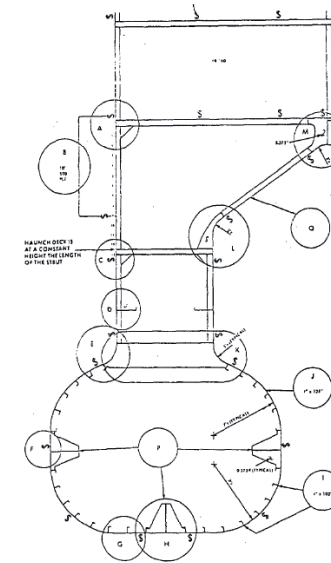


Figura 316. Cuaderna maestra típica de un Swath. Fuente: Pérez, 2000. Estudio Hidrodinámico de un Catamarán Tipo Swath, Departamento de Arquitectura y Construcción Navales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. Disponible en: <http://oa.upm.es/888/1/08200101.pdf>

Estructura en la separación de los cascos

Un estudio detallado de fatiga debería hacerse para esta zona, pues es la más crítica y puede llegar a darse el caso de que el Swath tienda a separar sus cascos con el tiempo, que nos llevará a tener que situar vigas entre los dos cascos. En el Swath de Tanaval, la Sociedad de Clasificación fijó un calado máximo de navegación para cubrirse frente a los efectos de las tensiones antes mencionados.

2. Casos Estructurales

a) Estructura del Swath ASV

Un caso estructural es este proyecto de embarcación, llamado Swath ASV, que es de aluminio y está estructurada transversalmente por cuadernas que van unidas a través de dos vigas principales. Conformándose el espacio donde van los generadores diesel (Diesel Generators). Desde estas vigas se comienzan a estructurar los arbotantes con cuadernas horizontales y verticales. Concluyendo después con los cascos sumergidos, que están estructurados a base de anillos transversales y barras longitudinales. Otro detalle es que para esta embarcación se diseñaron espacios estancos desmontables para garantizar el acceso a los motores eléctricos (que están en el casco bajo el agua) y a otros componentes en los arbotantes.

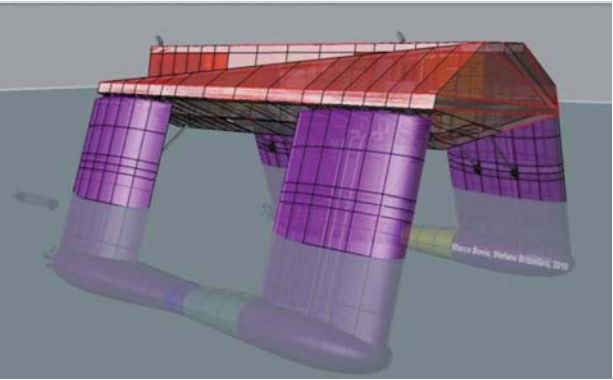


Figura 320. Render del Swath USV. Fuente: Brizzolara, Bovio, Federici y Vernengo, 2011. Hydrodynamic Design of a Family of Hybrid SWATH Unmanned Surface Vehicles. 11th International Conference on Fast Sea Transportation, FAST 2011, Honolulu, Hawaii, USA.

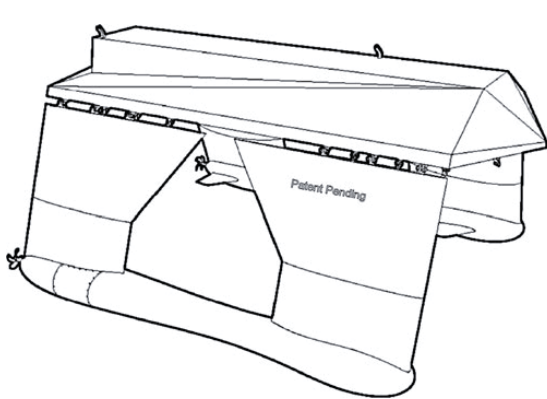


Figura 317. Vista externa del Swath ASV. Fuente: Concept design and hydrodynamic optimization, 2011, disponible en Science Direct.

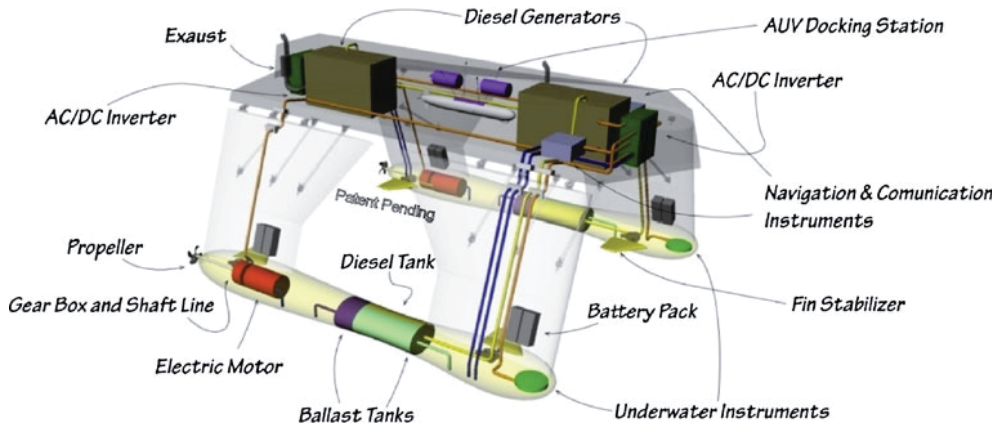


Figura 318. Disposición general de elementos principales del buque, maquinarias y sistemas. Fuente: Brizzolara & Curtin & Bovio & Vernengo, 2011. Concept design and hydrodynamic optimization of an innovative SWATH USV by CFD methods, Este artículo es parte de "the Topical Collection on Maritime Rapid Environmental Assessment"

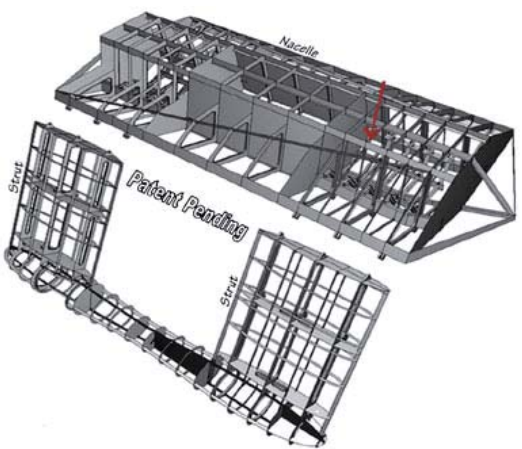


Figura 319. Diseño de estructura principal. Fuente: Brizzolara & Curtin & Bovio & Vernengo, 2011. Concept design and hydrodynamic optimization of an innovative SWATH USV by CFD methods, Este artículo es parte de "the Topical Collection on Maritime Rapid Environmental Assessment"

b) Estructura del Swath@A&R

En las siguientes imágenes se puede observar la estructura de esta embarcación. En la imagen de la izquierda una fotografía de la embarcación, y a la derecha un render que muestra toda la disposición de los componentes de la nave.



Figura 321. Swath A&R. Fuente: Fuente: Abeking & Rasmussen. Revista "MCMV & Patrol Craft"

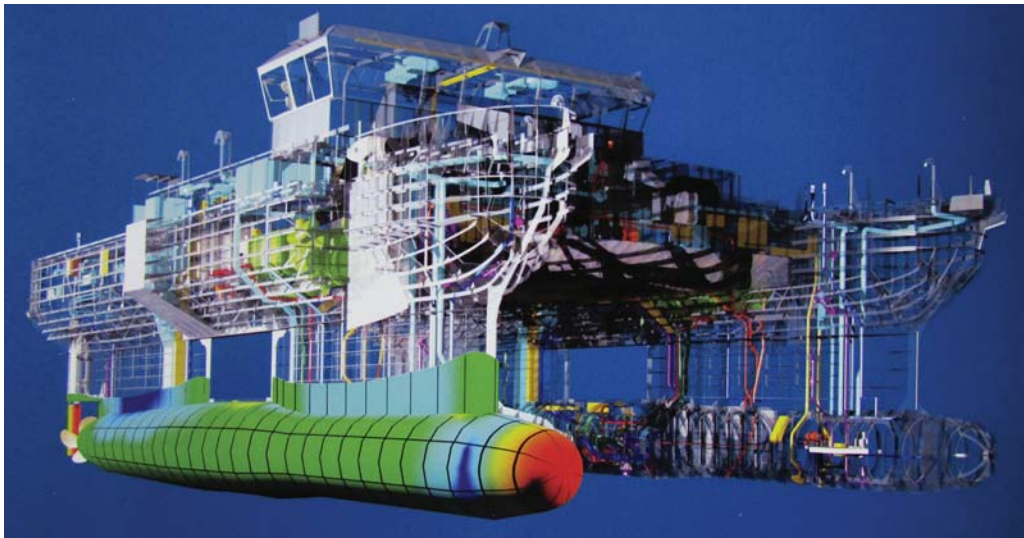


Figura 322. Render del Swath A&R, hecho con herramientas computacionales 3d para estudiar la presión en la estructura y la disposición de los componentes de todos sus sistemas. Fuente: Abeking & Rasmussen. Revista "MCMV & Patrol Craft"

c) Estructura del Aliswath

La disposición de la estructura longitudinal consiste en cuadernas espaciadas cada 1250 mm y en las zonas de refuerzo, el espaciado entre ellas son de 300 mm. Las planchas que cubren la estructura interna son de un espesor constante, excepto en la zona de conexión entre el casco superior y el arbotante, donde se incrementa. Las dos cubiertas están equipados con dos vigas, una a cada lado del plano de simetría, soportados por pilares de acero de sección circular.

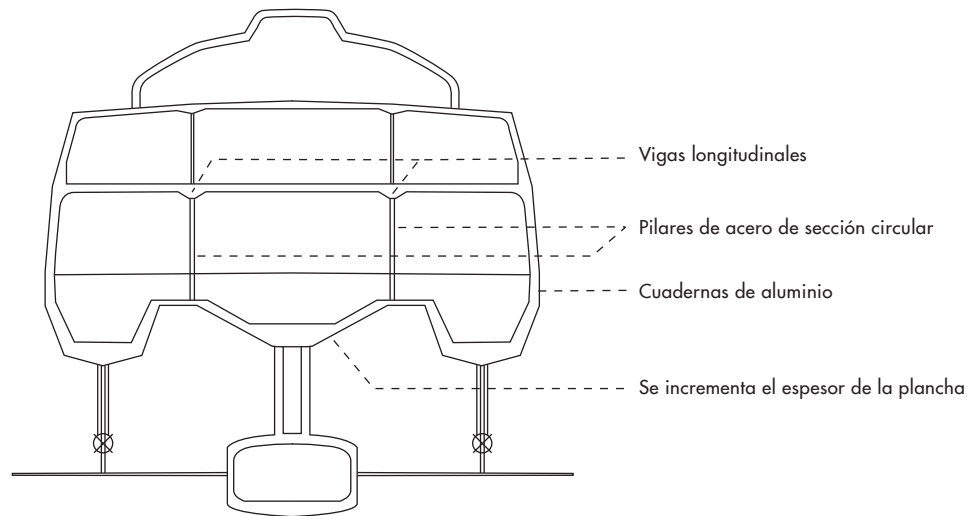


Figura 323. Esquema estructura transversal básica del Aliswath.
Fuente: Elaboración propia

El casco superior y el sumergido están hechos de una aleación muy liviana de aluminio llamada A1Mg 5083. Los soportes de las hidroalas y los pilares están hechos de acero Fe510.

El casco sumergido mantiene la disposición de la estructura longitudinal, con las cuadernas alineadas a las del casco superior. Como se puede ver en la siguiente imagen.

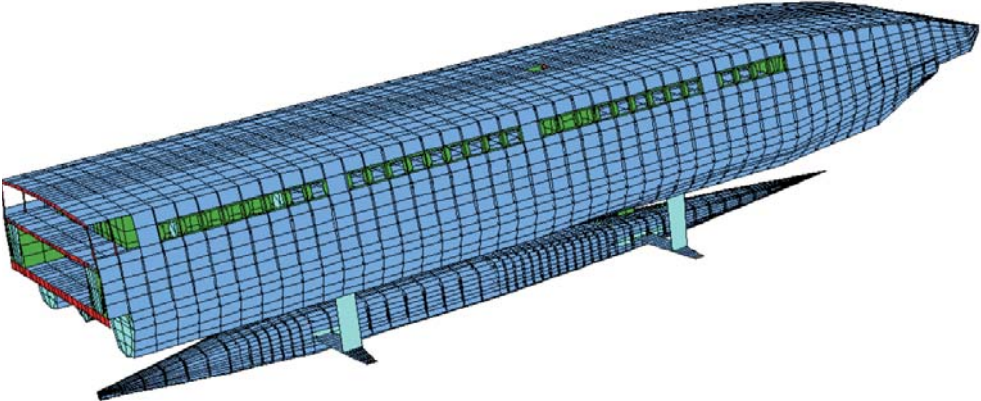


Figura 324. Modelo digital del Aliswath. Fuente: Boote y Mascia. Structural Design of Innovative Passenger Vessel. Departamento de Ingeniería Naval y Tecnología Marina de la Universidad de Génova, Italia. Disponible en: <http://www.icmr07.unina.it/Proceedings/Papers/B/04.pdf>

Lastres y estructura

Funcionamiento de lastres en estado de reposo

Cuando la embarcación está en reposo, es sostenida por la boyantez hidrostática que aportan los cascos laterales y el bulbo sumergido, experimentando el mayor calado (5,5 m). En esta situación, el máximo estrés estructural ocurre en el torpedo o bulbo, cuando el tanque de lastre de proa y popa del torpedo están cargados. El máximo desplazamiento vertical toma lugar en la parte de popa del torpedo.



Figura 325. Condición de Hull Borne: Los lastres del casco sumergido están cargados. Fuente: Boote y Mascia. Structural Design of Innovative Passenger Vessel. Departamento de Ingeniería Naval y Tecnología Marina de la Universidad de Génova, Italia. Disponible en: <http://www.icmr07.unina.it/Proceedings/Papers/B/04.pdf>

Funcionamiento de lastres en estado de sustentación

Cuando la embarcación está sustentada, se encuentra con el casco superior completamente fuera del agua y el calado es de 4,3 m en el caso del Aliswath. El barco es sostenido hidroestáticamente por la boyantez que aporta el bulbo sumergido y también por fuerzas hidrodinámicas aportadas por las hidroalas. Ahora los tanques de lastres del torpedo se vacían, mientras que los tanques del casco superior están cargados.

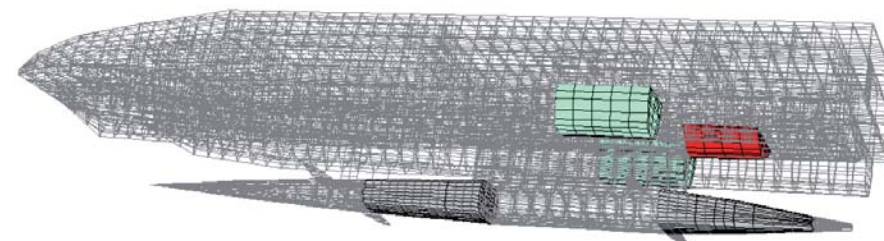


Figura 326. Condición de Foil Borne: Embarcación con la carga completa, los tanques de lastre del bulbo están vacíos, mientras que los que se encuentran en el casco superior, están cargados. Fuente: Boote y Mascia. Structural Design of Innovative Passenger Vessel. Departamento de Ingeniería Naval y Tecnología Marina de la Universidad de Génova, Italia. Disponible en: <http://www.icmr07.unina.it/Proceedings/Papers/B/04.pdf>

3. Construcción del “Aliswath”

La construcción de esta embarcación se llevó a cabo en el astillero Rodriguez. Este astillero tiene una larga experiencia en la construcción en aluminio desde la década de los 60, comenzando también con la construcción de hydrofoils.



Figura 327. Imagen de las cuadernas del casco lateral en construcción. Fuente: Boote y Mascia. Structural Design of Innovative Passenger Vessel. Italia. Departamento de Ingeniería Naval y Tecnología Marina de la Universidad de Génova. Disponible en: <http://www.icmrt07.unina.it/Proceedings/Papers/B/04.pdf>

La embarcación se hace por separado, por un lado el casco superior y por otro lado el torpedo.



Figura 328. Construcción de cuadernas y refuerzos longitudinales del casco superior. Fuente: Boote y Mascia. Structural Design of Innovative Passenger Vessel. Italia. Departamento de Ingeniería Naval y Tecnología Marina de la Universidad de Génova. Disponible en: <http://www.icmrt07.unina.it/Proceedings/Papers/B/04.pdf>



Figura 329. Construcción de la columna de popa que conecta con el casco. Fuente: Boote y Mascia. Structural Design of Innovative Passenger Vessel. Italia. Departamento de Ingeniería Naval y Tecnología Marina de la Universidad de Génova. Disponible en: <http://www.icmrt07.unina.it/Proceedings/Papers/B/04.pdf>

El casco superior está dividido en seis bloques que van ensamblados. En la siguiente imagen se ve uno de esos bloques del casco superior.



Figura 330. Módulo del casco superior. Fuente:Boote y Mascia. Structural Design of Innovative Passenger Vessel. Departamento de Ingeniería Naval y Tecnología Marina de la Universidad de Génova, Italia. Disponible en: <http://www.icmrt07.unina.it/Proceedings/Papers/B/04.pdf>



Figura 331. Ensamble de los bloques del casco superior del Aliswath. Fuente: Dagradi, 2006. L'ali-traghetto. Revista Focus. Disponible en: <http://www.focus.it/Allega>

El torpedo está construido en base a 5 bloques. En la siguiente imagen se ven las cuadernas que componen el torpedo



Figura 332. Vista interior de la estructura del torpedo. Fuente: Boote y Mascia. Structural Design of Innovative Passenger Vessel. Departamento de Ingeniería Naval y Tecnología Marina de la Universidad de Génova, Italia. Disponible en: <http://www.icmrt07.unina.it/Proceedings/Papers/B/04.pdf>



Figura 333. Vista exterior del torpedo y su arbotante. Fuente: Boote y Mascia. Structural Design of Innovative Passenger Vessel. Departamento de Ingeniería Naval y Tecnología Marina de la Universidad de Génova, Italia. Disponible en: <http://www.icmrt07.unina.it/Proceedings/Papers/B/04.pdf>



Figura 334. Vista del agujero de salida de la línea de eje de la propulsión en la popa del torpedero. Fuente: Boote y Mascia. Structural Design of Innovative Passenger Vessel. Departamento de Ingeniería Naval y Tecnología Marina de la Universidad de Génova, Italia. Disponible en: <http://www.icmrt07.unina.it/Proceedings/Papers/B/04.pdf>

Una vez hecho el casco superior y el torpedero, se unen ambas partes en el astillero Messina de la misma compañía, sobre un dique seco.

En la siguiente imagen se ve el exterior del Aliswath mientras se construye en astillero.



Figura 335. Vista del Aliswath mientras se construye.

J. Datos comparativos de embarcaciones Swath y Hyswas

Nombre	Año	Diseñador	Eslora (m)	Manga (m)	Puntal (m)	Calado (m)	Desplazamiento (tons)	Material	Velocidad (nudos)	Propulsión (HP)	Pasajeros
SSP Kaimalino	1973	US Navy, USA	26,8				224		19,53	2 x 2250	
Bay Queen	1977	Japón	18	6,8	2,8	1,6		Al/FRP		FPP 2 x 470 (diesel)	40
Marine Ace	1977	Japón	12,35	6,5	2,7	1,55	18,37	Aluminio	17	FPP 2 x 200 (gasolina)	20
Seagull (Ferry)	1979	Mitsui, Japón	35,9	17,1	5,85	3,15	343	Aluminio	24	2 x 4050 (diesel)	102-145
Kotozaki	1980	Mitsui, Japón	27	12,5	4,6	3,2	236	Acero/Al	20	GPP 2 x 1900 (diesel)	
Ohtori	1980	Mitsui, Japón	27				239			2 x 1900	
Kaiyo	1984	Mitsui, Japón	60				3500			4 x 1135	
Marine Wave	1985	Japón	15,1	6,2	2,75	1,6		FRP	18,2	2 x 275 (diesel)	17
Sun Marine	1987	Japón	15,05	6,4	2,75	1,6		FRP	20,5	FPP 2 x 300 (diesel)	33
USN-T-AGOS-19	1989	US Navy, USA	71,3				3380			2 x 800	
R/V Western Flyer			35,6	16,1			419			2 x 1501	
Sisumaran		Noruega	23,4	10,5			80		30		
Seagull II (Ferry)	1989	Japón	39,3	15,8	6,8	3,5		Aluminio	30,6	4 x 263 (diesel)¿?	410
Diana	1990	Japón	20,7	6,8	2,8	1,6		Aluminio	19,2	FPP 2 x 370 (diesel)	40
Bay Star	1991	Japón	19,45	8,8	2,8	1,6		Aluminio	20	FPP 2 x 470 (diesel)	40
Suave Lino		San Diego	19,8	9,1		1,6	45,8	Aluminio	17	700	
Frederick G.Creed	1988	Swath Ocean Systems Incorporated, California	20,4	9,75	2,6		152	Aluminio	14	2 x Detroit V12 TA (diesel)	
Quest Hyswas	1995	Maritime Applied Physics, Laurel, Md. para US Navy	8,2	3,7	4	3 o 4	12	Aluminio	37	2 motores diesel (cummins); 1 eje	
Tecno super liner TSL-F Hyswas	1994	Mitsui Engineering & Shipbuilding	17,1	6,2	4 o 5	3,1 / 1,6	38	Aluminio	41	water jet y una turbina a gas de 3800 hp	
Aliswath		Mr.Sculati, Italia	64	15,5	12,9	5,5/4,3	451	casco: aluminio foil y arbotantes: acero	25-28	dos motores diesel de 9115 hp y un motor diesel MTU 12V 183	450

Figura 336. Tabla de datos comparativos de Swath y Hyswas. Fuente: Elaboración propia, en base a información recopilada en la bibliografía.

K. Teoría de Modelos

Principios Básicos de la similitud hidráulica

Los procedimientos analíticos basados en las ecuaciones generales de la mecánica de los fluidos, no permiten resolver adecuadamente todos los problemas que se presentan a la hora de estudiar fenómenos en modelos de pruebas. Por ello, se deben utilizar procedimientos experimentales, que combinados con las ecuaciones analíticas den una respuesta real a la situación estudiada. Por otra parte, frecuentemente no es posible técnica y económicamente realizar ensayos con el objeto que se planifica a escala 1 a 1, es decir, el prototipo. La parte experimental se realiza en modelos que son una copia lo más fiel posible al prototipo y normalmente a un tamaño reducido respecto al original. En una embarcación es de suma importancia conocer el comportamiento de ésta frente a distintas condiciones hidráulicas o la resistencia que se opone a su movimiento. Conociendo ciertos valores, se puede determinar la potencia necesaria para que la embarcación navegue correctamente, a qué velocidad alcanza menor resistencia, etc.

Para determinar estos valores es necesario realizar ensayos con modelos, cuyos resultados deben ser extrapolados al prototipo. Son estos ensayos los que permiten efectuar correcciones al modelo para mejorar su movimiento en diferentes fluidos.

Para determinar las relaciones existentes entre el prototipo y el modelo a escala, este último debe ser una copia lo más fiel posible al prototipo, debe haber semejanza geométrica, cinemática y dinámica

1. Semejanza Geométrica

Para que exista semejanza geométrica, todas las longitudes se deben reducir o ampliar en la misma proporción, es decir, si λ es la escala y L las longitudes (x,y,z), la relación entre el modelo (m) y prototipo (p) sería:

$$\lambda = \frac{L_m}{L_p}$$

Si $\lambda = 1/100$, significa que en las dimensiones correspondientes, el modelo es 100 veces más pequeño que el prototipo.

Cuando se trata de escalar el área, volumen y peso, se aplican las siguientes fórmulas:

$$(\lambda_L)^2 = \frac{A_p}{A_m}$$

$$(\lambda_L)^3 = \frac{V_p}{V_m}$$

$$(\lambda_L)^3 = \frac{P_p}{P_m}$$

2. Semejanza Cinemática

No basta que entre modelo y prototipo exista una similitud geométrica para que haya una correspondencia en su comportamiento, se requiere una similitud cinemática, que se refiere a la correspondencia que debe existir del movimiento del fluido en el modelo y en el prototipo.

En este sentido se evalúan las escalas de velocidad, la aceleración y caudal.

$$\lambda_V = \frac{V_m}{V_p} \qquad \lambda_a = \frac{a_m}{a_p} \qquad \lambda_Q = \frac{Q_m}{Q_p}$$

3. Semejanza Dinámica

Está en relación con las fuerzas desarrolladas por el fluido en contacto con la estructura. Existirá similitud dinámica si las fuerzas que actúan en el prototipo se reproducen exactamente en puntos homólogos en el modelo. Las fuerzas que se manifiesten en los fenómenos hidráulicos del flujo en superficie libre son las fuerzas de inercia, gravedad, viscosidad y presión y se tiene cuidado de reducir el efecto de las fuerzas de tensión superficial.

Fuerza de Inercia:

Es producto de la fuerza y la aceleración.

$$F_i = masa * aceleración$$

Fuerza de Gravedad:

Es producto de la masa y la aceleración de gravedad.

$$F_g = masa * aceleración de gravedad$$

Fuerza de Viscosidad:

Es producto de la fuerza tangencial por el área.

$$F_v = \mu \frac{V}{y} * A$$

Fuerza de Presión:

Es producto del esfuerzo de presión por el área.

$$F_p = P * A$$

4. Números adimensionales

Cuando se divide la fuerza que actúa en un fenómeno hidráulico por la fuerza de inercia (siempre está presente), se obtiene un número adimensional, el cual debe ser el mismo en el modelo y en el prototipo en puntos homólogos, cuando se cumpla la similitud dinámica. Las expresiones adimensionales, en el lenguaje hidráulico se les designa como leyes de similitud.

a) Número de Froude:

Es la relación entre la fuerza de inercia y la fuerza de gravedad

$$F_r = \frac{F_i}{F_g} = \frac{V}{\sqrt{L \cdot G}}$$

Esta ley de similitud se manifiesta en flujos de alta velocidad que ocurren por efecto de la gravedad. Cuando el Número de Froude crece, la fuerza de inercia es superior a la fuerza de gravedad, al contrario cuando el Número de Froude disminuye, la fuerza de gravedad es superior a la fuerza de inercia. La similitud de Froude es predominante en el flujo del agua en canales a superficie libre.

Cuando

$Fr = 1$, el flujo es crítico

$Fr < 1$, el flujo es subcrítico o río

$Fr > 1$, el flujo es supercrítico o torrente

b) Número de Reynolds

Se obtiene al dividir la fuerza de inercia entre la fuerza de viscosidad.

$$Re = \frac{F_i}{F_v} = \frac{V \cdot D}{\mu / \rho} = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Donde:

V: Velocidad

D: Diámetro

μ : Viscosidad dinámica

ρ : Densidad

ν : Viscosidad Cinemática

La Ley de Similitud de Reynolds es importante en los flujos a baja velocidad donde se manifiesta la fuerza de viscosidad. Cuando el número de Reynolds es grande, la fuerza de inercia es superior a la fuerza de viscosidad, y cuando el número de Reynolds es pequeño, la fuerza de viscosidad es superior a la fuerza de inercia.

La Similitud de Reynolds es predominante en flujo en tuberías y en transiciones en conductos donde los efectos viscosos son importantes. Si:

$Re \leq 2000$, el flujo es laminar

$2300 \leq Re < 4000$, el flujo es transicional

$Re \geq 4000$, el flujo es turbulento

Ejemplo de la aplicación de la Ley de Similitud de Froude

$$\frac{F_m}{F_p} = 1 ; \quad F_m = F_p ; \quad \frac{V_m}{\sqrt{g_m * L_m}} = \frac{V_p}{\sqrt{g_p * L_p}}$$

Si los ensayos en el modelo se ejecutan a la misma altura en que estará el prototipo, se tiene que:

$$g_m = g_p \quad y \quad \frac{V_m}{V_p} = \sqrt{\frac{L_m}{L_p}}$$

$$\lambda_v = \sqrt{\lambda_L}$$

Es decir, que en un fenómeno hidráulico donde debe satisfacerse la ley de similitud de Froude, la escala de velocidades es igual a la raíz cuadrada de la escala de longitudes o escala geométrica.

VIII. Hipótesis

Hipótesis

Embarcación de 20 m de eslora, con capacidad para 50 personas, que posee tres cascos: dos laterales y uno central. Con la singularidad de que el casco central, permanece siempre sumergido. Éste posee perfiles alares, y en su interior debe contener el motor y el eje de la hélice. La parte superior de la embarcación se conecta con el bulbo a través de dos arbotantes, por las cuales pueden circular personas y acceder al sistema de propulsión.

Cuando aumenta su velocidad, los perfiles alares provocan que la embarcación se eleve y la línea de flotación se ubicará a la altura de los arbotantes, que, al poseer una menor área de flotación, cortarán la ola, evitando que la embarcación se mueva.

Se piensa que una forma hidrodinámica óptima para el bulbo es una geometría cilíndrica con una estrechez en su parte central. Esta estrechez permitiría reorientar una ola que se produce en la proa del bulbo cuando éste avanza. La idea es que dicha ola vuelva a encausarse hacia el cuerpo del bulbo y no produzca que la popa del bulbo quede fuera del agua, ya que la hélice perdería eficiencia.

Los modelos se diseñan para que puedan ofrecer la mayor libertad de cambiar sus formas. Se diseña un modelo para variar la altura del arbotante, reemplazar los cascos laterales y también para reemplazar el bulbo.

IX. Metodología

- A. Espiral de Diseño
- B. Dibujos bidimensionales y tridimensionales digitales
- C. Modelos tridimensionales para pruebas
- D. Análisis hidrodinámico con “Canal de arrastre”
- E. Utilización del “Canal de ensayo de cascos”

Metodología

A. Espiral de Diseño

B. Dibujos bidimensionales y tridimensionales digitales

C. Modelos tridimensionales para pruebas

D. Análisis hidrodinámico con “Canal de arrastre”

E. Utilización del “Canal de ensayo de cascos”

1. Diseño del Canal de ensayo de cascos
2. Primeras pruebas del Canal de ensayos de cascos
3. Los Resaltos Hidráulicos
4. Hipótesis de Compuerta y Resalto Hidráulico para el Canal
5. Desarrollo, resultados y conclusiones del programa de análisis

Metodología:

Corresponde a las herramientas, procesos y/o modos para llegar a comprobar la hipótesis. Las principales metodologías usadas son:

Espiral de Diseño y requerimientos de alto nivel

Dibujos bidimensionales y tridimensionales digitales

Modelos tridimensionales para pruebas

Utilización de Programa Computacional “TARVAL” y modelos de prueba para análisis de estabilidad estática.

Utilización de “canal de arrastre” y modelos de prueba para análisis de comportamiento hidrodinámico.

Utilización de “canal de flujo”, diseñado y construido especialmente para los ensayos de este proyecto, y modelos de prueba para análisis de comportamiento hidrodinámico

A. Espiral de Diseño y requerimientos de alto nivel

El Espiral de Diseño es un método gráfico donde se aúnan las distintas coordenadas a la hora de comenzar un proyecto. Este método proyectual es el primer paso a la hora de desarrollar un proyecto. Normalmente se invertirán recursos (la mayoría de las veces escasos), es por esto que es necesario recopilar antecedentes y definir parámetros significativos, configurándose así lo que llamamos Requerimientos de Alto Nivel (RAN). Para así ver las distintas opciones de solución o cursos de acción.

Los RAN corresponden a los factores que inciden en el diseño de un elemento, en este caso, una embarcación. Estos factores abarcan de manera amplia el problema. Normalmente estos requerimientos son planteados por el mandante del proyecto ayudado por el diseñador, o los plantea el mismo diseñador poniéndose en el lugar de un posible mandante o futuro usuario del proyecto. Y es muy natural que sean muchos los requerimientos, pero de éstos sólo los más importantes serán analizadas, siempre se sacrifican algunos. En la metodología del Espiral, el concilio de todos los requerimientos se encuentra en el centro del mismo.

Para plantear y dar respuesta a los requerimientos es necesario el estudio y la investigación, para eso se recurre a tesis anteriores relacionadas, investigación en la web, entrevistas a los involucrados y solicitud de datos a instituciones gubernamentales.

Dentro de todo proyecto existen las llamadas “Partes Interesadas”, que corresponden a personas o sectores que rodean el contexto del proyecto, que de alguna manera están interesadas o relacionadas en él. Por ejemplo, las comunidades, las autoridades, el constructor, la industria, etc. Este aspecto también se debe evaluar como requerimiento.

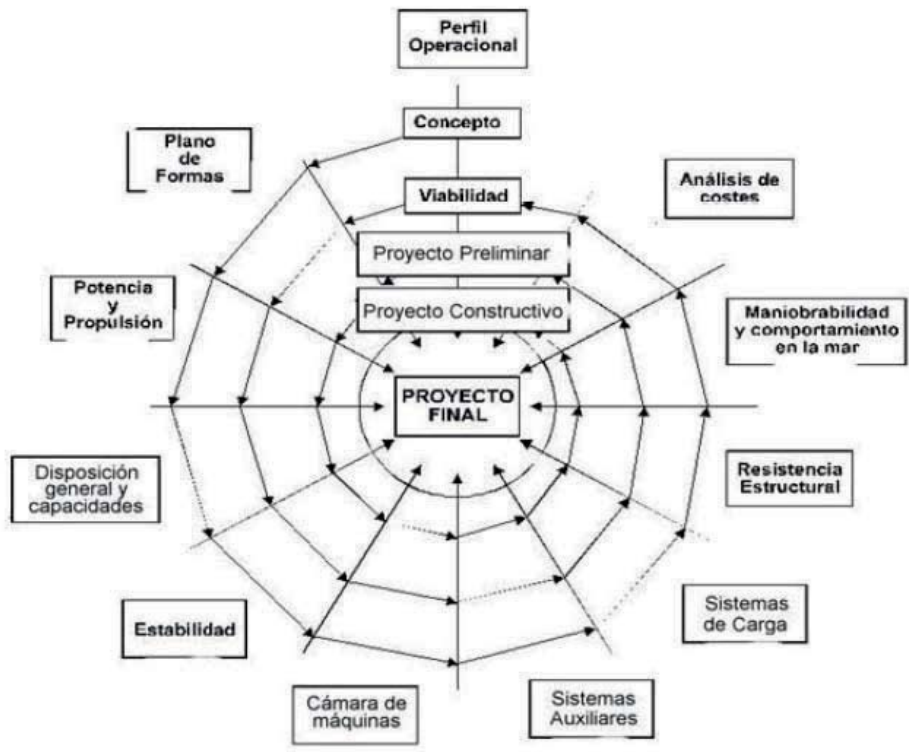


Figura 337. Ejemplo de espiral de diseño para el caso de proyecto del buque.
Fuente: Ostornol, 2012. Material bibliográfico de clases.

B. Dibujos bidimensionales y tridimensionales digitales

Para proyectar el casco de la embarcación, se necesita la demostración geométrica para acotar el calce y funcionamiento de las partes. Se recurre al método de representación en base a proyecciones (sistema cartesiano) de dibujo técnico y esquemático, específicamente en el software Autodesk Autocad y a mano alzada.

También se recurre al modelado de dibujos tridimensionales, a través del software Autodesk Inventor Professional. Con el cual se puede modelar la embarcación que se proyecta y además se pueden saber propiedades físicas del objeto.

C. Modelos tridimensionales para pruebas

Para estudiar el comportamiento de la embarcación que se proyecta, se utilizan modelos tridimensionales no digitales, que se construyen a una escala geométrica y a una escala dinámica.

Estos se construyen en parte a mano y también través de dos máquinas de corte CNC (Control Numérico Computacional): una "Router CNC" y una "Láser CNC".

D. Análisis hidrodinámico con “Canal de Arrastre”

Son ensayos digitalizados en base a un modelo a escala, que se remolca en un canal de pruebas. Se van incrementando distintas velocidades y se va determinando los respectivos roces o resistencia que opone la embarcación. La medición de la resistencia la da un dinamómetro y la velocidad la da un sistema telemétrico, ambos dan señales de radio inalámbricamente a un computador, a un software el cual interpreta los datos y da gráficos cuyas coordenadas son el roce en función de la velocidad (10 datos por segundo).

Sabiendo la fuerza (roce) y la velocidad del modelo, podemos extrapolar la información y obtenemos la potencia requerida para el correcto funcionamiento del prototipo. En otras palabras, saber la potencia que debe tener la embarcación para las distintas velocidades a las que se desee navegar.

El canal de arrastre consta de un sistema de medición en base a poleas y contrapeso de caída libre. Consta de una plataforma de aluminio, sustentada por pontones plásticos inflados. En ésta se monta una escala de aluminio de tijera, conteniendo en su parte superior el sistema de poleas y contrapesos. La regulación de la velocidad de arrastre del modelo se obtiene calibrando la cantidad de peso.

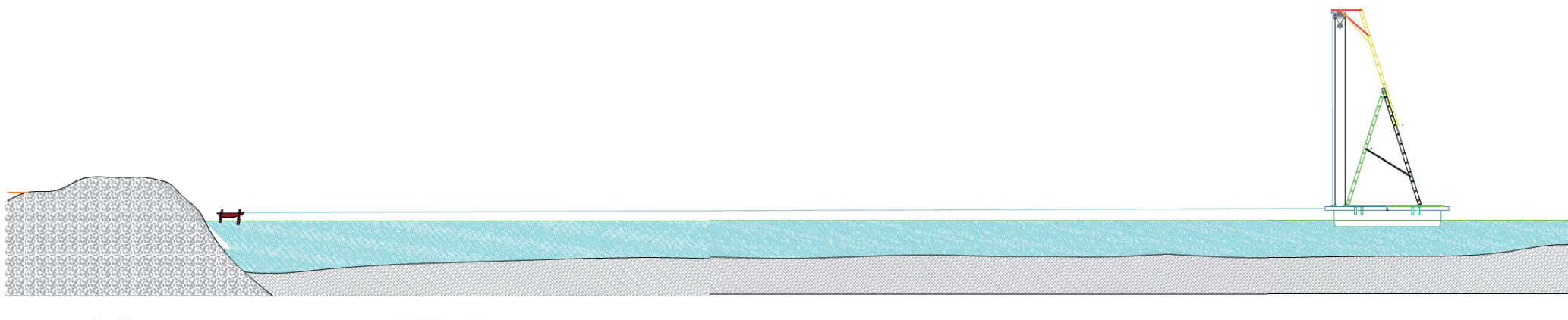


Figura 338. Esquema del canal de arrastre. Fuente: Escuela de Arquitectura y Diseño PUCV. Artículo “Infraestructura de laboratorios de modelos”, <http://www.ead.pucv.cl/postgrado/magister-nautico-y-maritimo/infraestructura/>

E. Utilización del “Canal de ensayo de cascos”

El objetivo del “Canal de ensayo de cascos” es ensayar modelos de cascos. Al revés del canal de pruebas, es el flujo de agua el que se mueve, en un circuito cerrado, permaneciendo estático el modelo. Esto permite observar con detenimiento el casco en sus distintos comportamientos:

- su estabilidad dinámica;
- la resistencia que opone al flujo del agua, medido con un dinamómetro
- el comportamiento ante distintas velocidades de flujo.

Corresponde una velocidad para cada modelo, según sea la escala aplicada. Esto se calcula mediante las ecuaciones de “Análisis dimensional y semejanza dinámica”

Se trata de una primera aproximación a la forma, para ajustar y afinar por sucesivos ensayos, el adecuado comportamiento del casco. Posteriormente las experiencias se complementan en el canal de pruebas, con la realización del cálculo de aproximación a la potencia que requerirá el prototipo.

Es un canal de 40 x 40 cm. y 200 cm. de largo, construido en acrílico, para la transparencia necesaria de observación y registro de los ensayos. El flujo es alimentado por tres bombas, con un caudal de 90 lts./seg.

Para estudiar el comportamiento dinámico del modelo, se utiliza un canal de flujo hidráulico.



Figura 339. Fotografía canal de flujo hidráulico. Fuente: Propia

Canal de ensayo de cascos

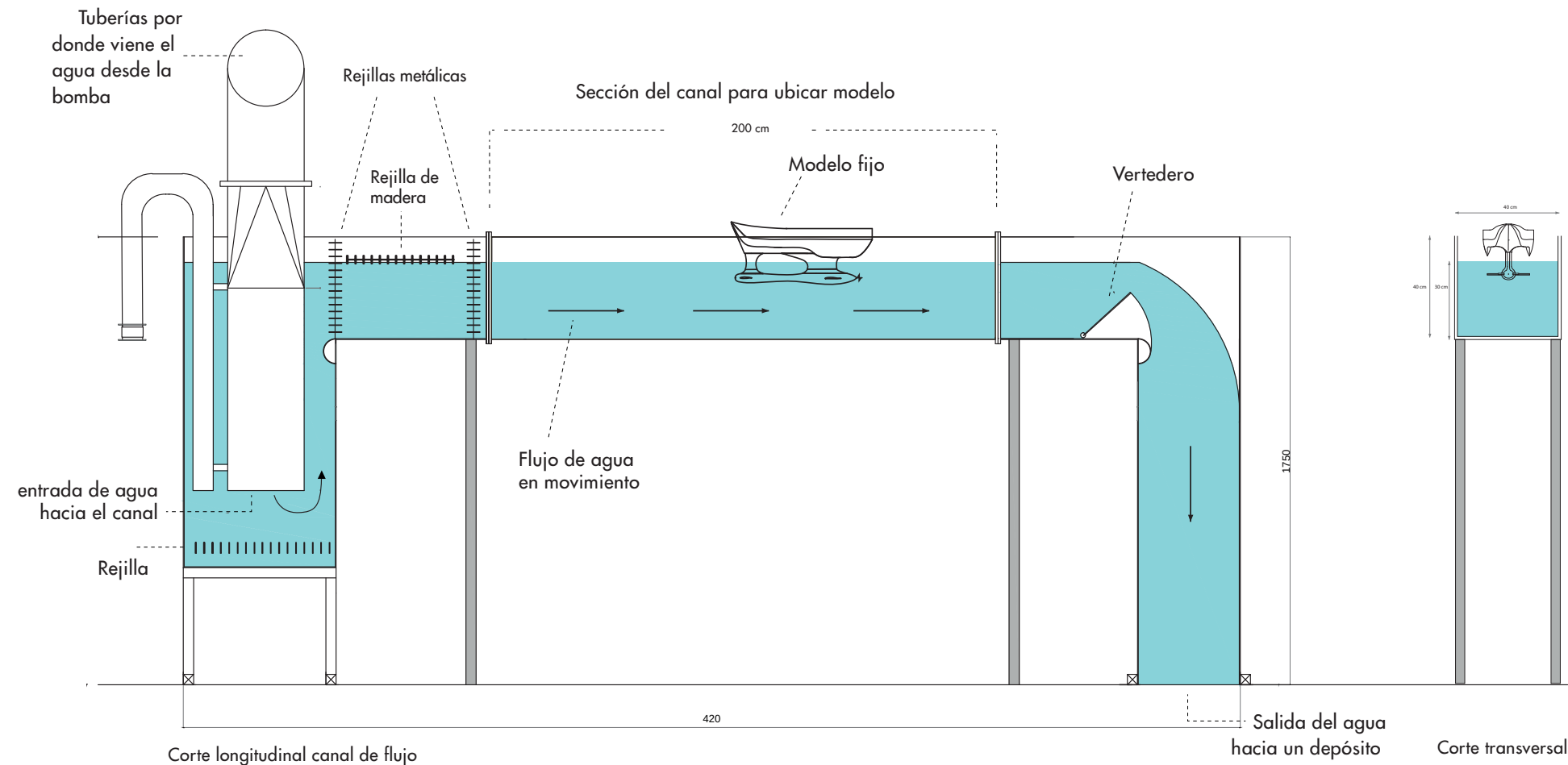


Figura 340. Esquema canal de ensayo de cascos.
Fuente: Elaboración propia

1. Diseño del Canal de ensayo de cascos

El proceso de diseño del Canal de ensayo de cascos se realizó como parte del estudio de esta tesis. En esta sección se mostrará el proceso de diseño a partir de los dibujos y maquetas previas al resultado final.

Este canal se diseñó y construyó junto con otro canal para pruebas similar, pero más largo y de sección menor. Siempre se proyectaron ambos canales al mismo tiempo. Originalmente ambos medían alrededor de 700 cm de largo.

Primeramente se piensa hacer los dos canales separados, como se muestra en las siguientes imágenes de las primeras maquetas que se realizaron.



Figura 341. Maqueta inicial del Canal de ensayos para cascos. Fuente: Propia



Figura 342. Maqueta inicial del Canal de Flujo pequeño. Fuente: Propia

Luego se pensó hacer ambos canales contenidos en una misma estructura que permita que se monte uno arriba del otro. Plegándose y desplegándose a través de un sistema de bielas.

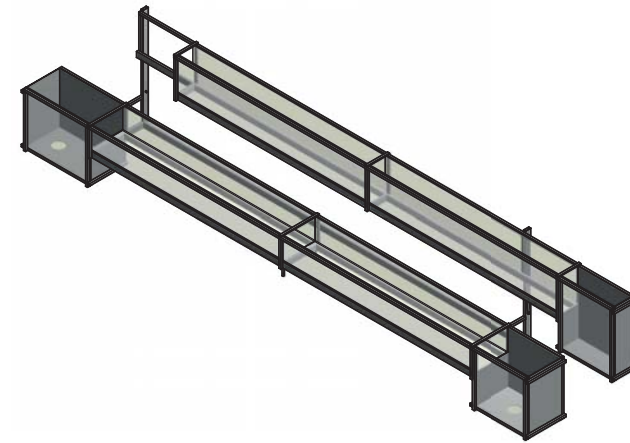


Figura 343. Modelo digital inicial de la estructura desplegada. Fuente: Elaboración propia

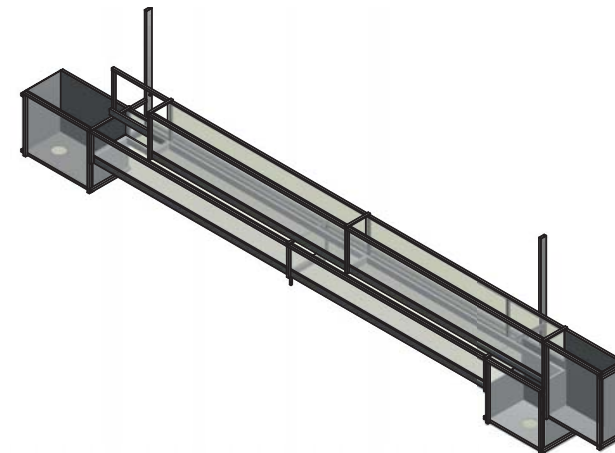


Figura 344. Modelo digital de la estructura con un canal montado sobre el otro. Fuente: Elaboración Propia

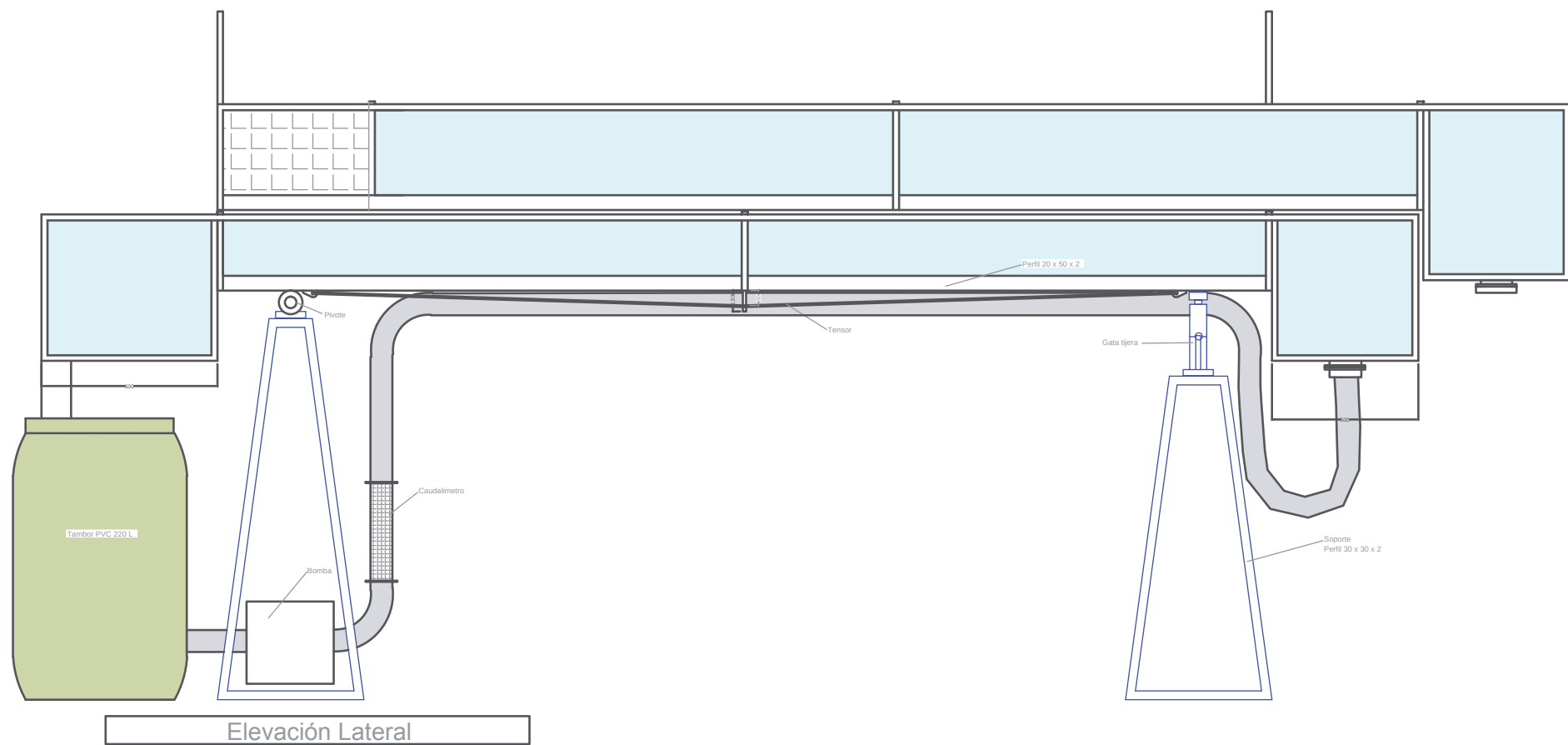


Figura 345. Primeras propuestas de Canal de ensayos de cascos. Uno de los canales va sobre el otro.
Fuente: Edison Segura.

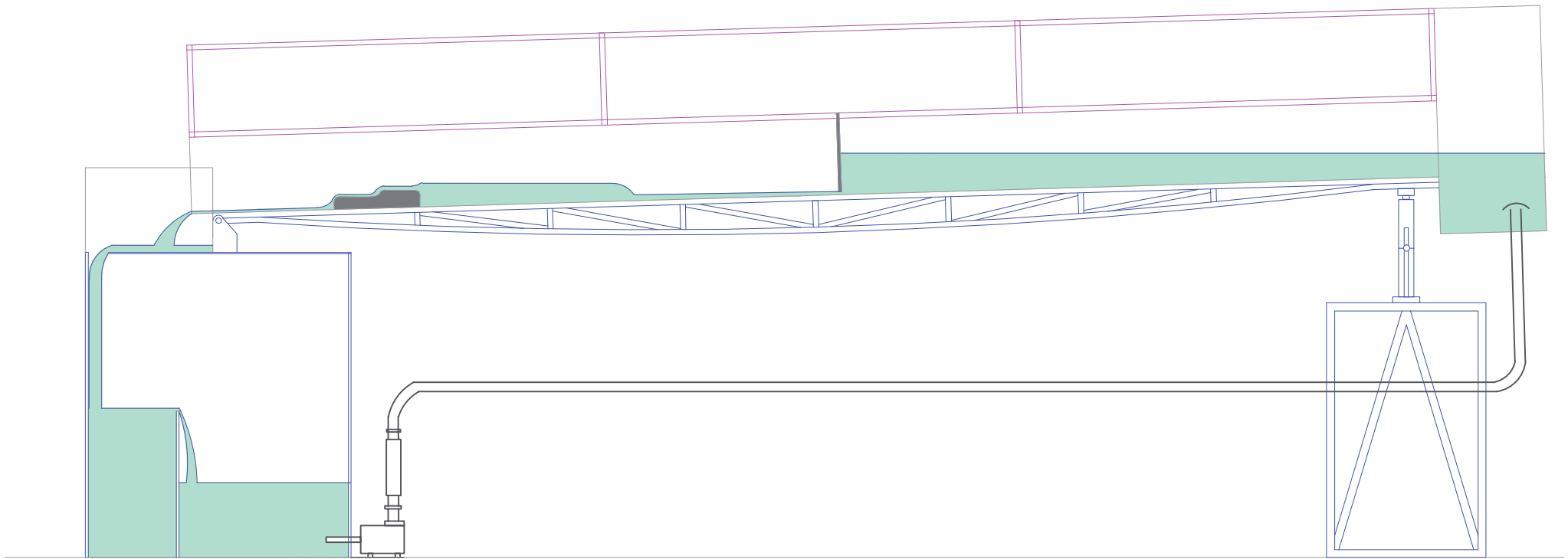


Figura 346. Primeras propuestas de Canal de ensayos de cascos. Se observa el canal inclinado y con líquido en su interior fluyendo. Fuente: Edison Segura.

También se pensó aunar ambos canales en una sección que se particiona longitudinalmente a través de una pared deacrílico.

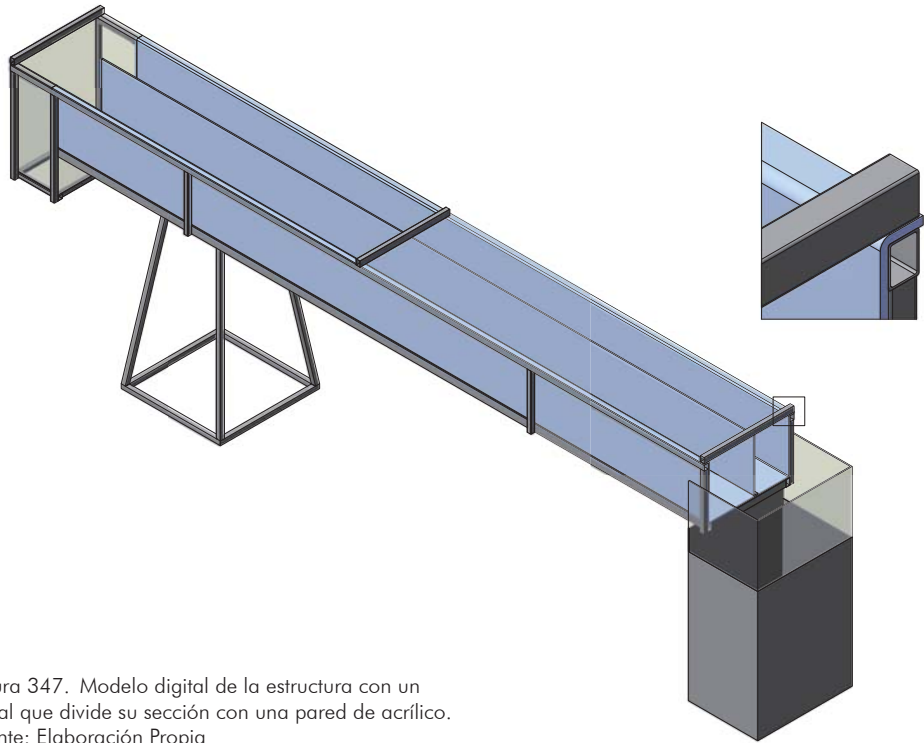


Figura 347. Modelo digital de la estructura con un canal que divide su sección con una pared deacrílico.
Fuente: Elaboración Propia

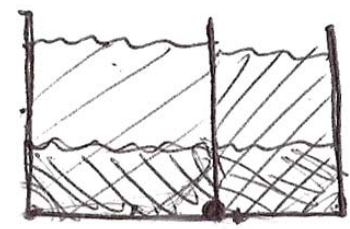


Figura 348. Esquema de la sección del canal.
Fuente: Elaboración propia.

Otra opción que se pensó fue la de contener ambos canales en una misma sección, y que el canal entero se girara, como se ve en los siguientes esquemas.

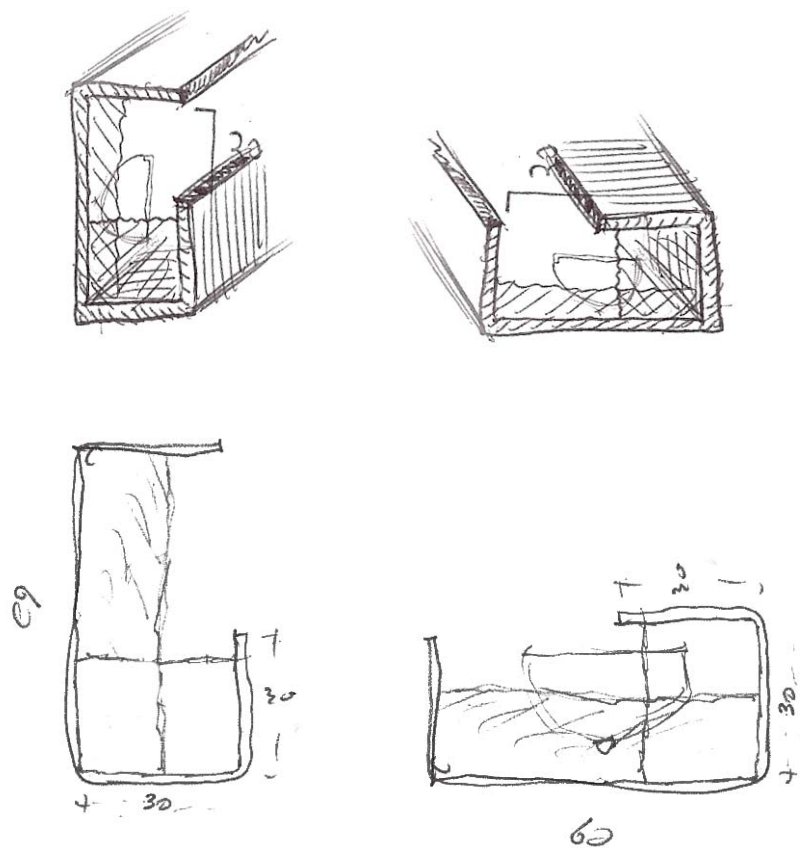


Figura 349. Esquema del canal y su giro.
Fuente: Elaboración propia.

Luego, al calcular el caudal que se necesitaría para hacer las pruebas en el Canal de ensayos de cascos, se hizo necesario pensar otra solución, ya que se necesitaba un caudal aproximado de 60 lt/s., y para lograrlo es necesario una bomba muy potente.

Al analizar este requerimiento, se opta por utilizar una bomba perteneciente a la Escuela de Mecánica de la PUCV, y por lo tanto también el espacio y la infraestructura existente en el laboratorio de ésta misma.

El espacio con que se cuenta es reducido, por lo que el canal debió disminuir drásticamente su largo, contando ahora con 200 cm de largo para la visualización del flujo.

Para el Canal de flujo de sección menor, no se hizo necesario una gran bomba, por lo que éste mantuvo su largo de 700 cm.

El plano del diseño final del Canal de ensayos de cascos se expone en la página 268.

2. Primeras pruebas del Canal de ensayos de cascos

a) Primeras pruebas del canal y sus resultados

Las pruebas preliminares del canal son hechas sin mediciones. Por lo que no se sabe aún cuales son los caudales que se probaron, lo que sí se sabe es que se fueron probando distintos caudales obteniendo diferentes resultados cualitativos. Y se tiene como referencia el caudal mínimo de la bomba, que es de 60 lt/s. Según el Profesor Ramiro Mege, de la Escuela de Mecánica, en base a observación cualitativa, el caudal de estas pruebas eran muy superior al caudal de referencia antes mencionado.

*El agua que se usó para las pruebas del canal son de color anaranjado turbio debido a impurezas que tenía en el depósito.

Primeras Pruebas con caudal menor al mínimo de referencia y el vertedero no inclinado:

b) Como se puede ver en las imágenes de la derecha el flujo es muy tranquilo y regular. Las estructuras del canal soportaron muy bien y la bomba también.

Imágenes prueba con caudal menor al mínimo de referencia



Figura 350. Imágenes del canal con un flujo tranquilo

c) Segunda Prueba con caudal mayor y el vertedero inclinado:

Se produce inicialmente un resalto que es “ahogado”, porque la altura de río (lado derecho del resalto) es mayor que la del torrente (lado izquierdo del resalto), por lo que se puede ver que avanza el resalto de derecha a izquierda

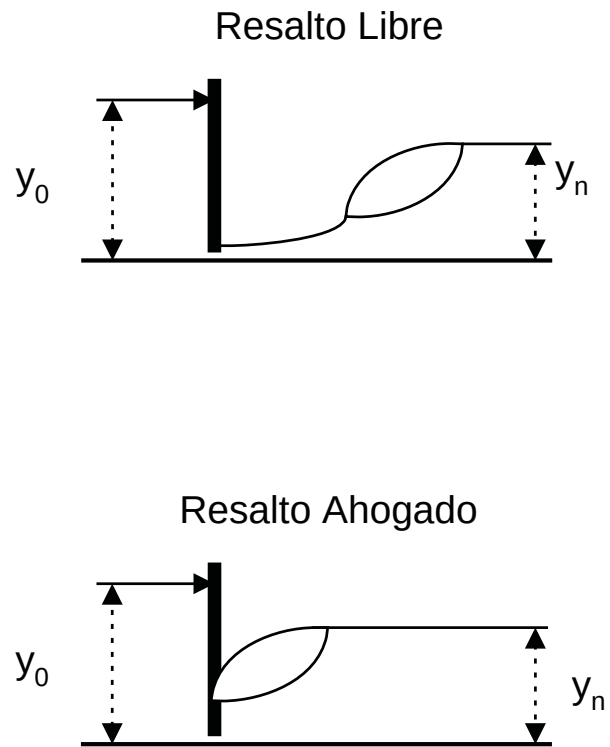


Figura 351. Esquema de resalto libre y ahogado

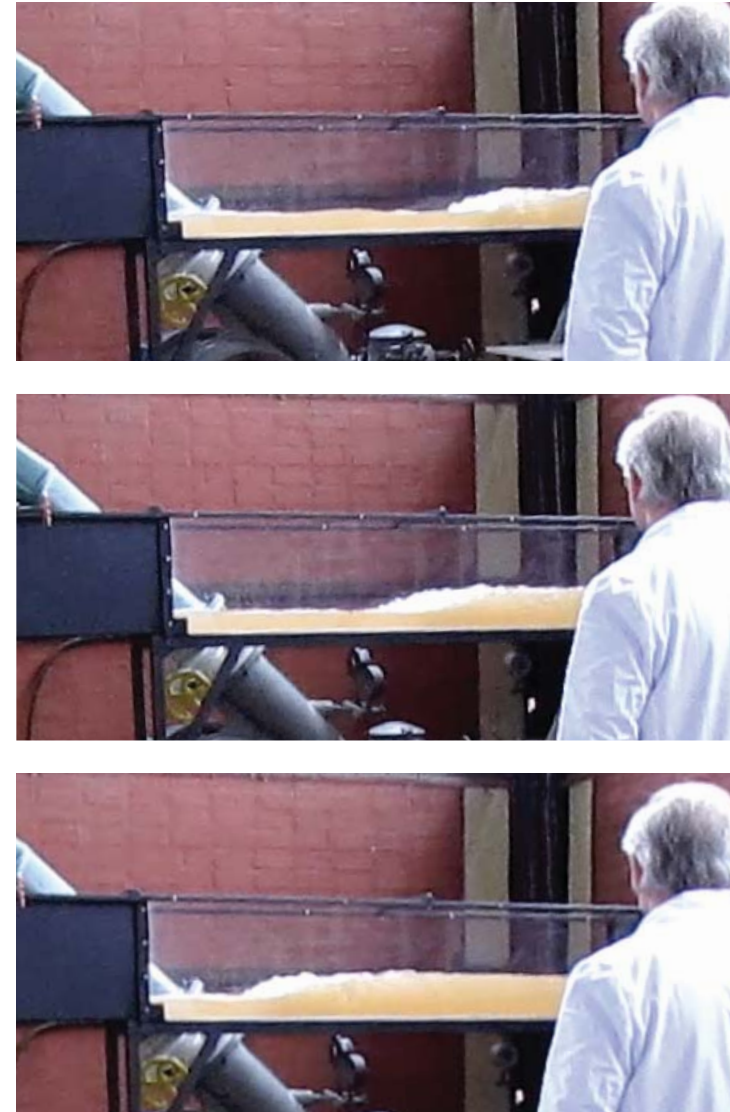


Figura 352. Secuencia de movimiento del resalto que se produce al inicio

Luego el resalto anterior desaparece y se crea un flujo constante pero con olas leves.

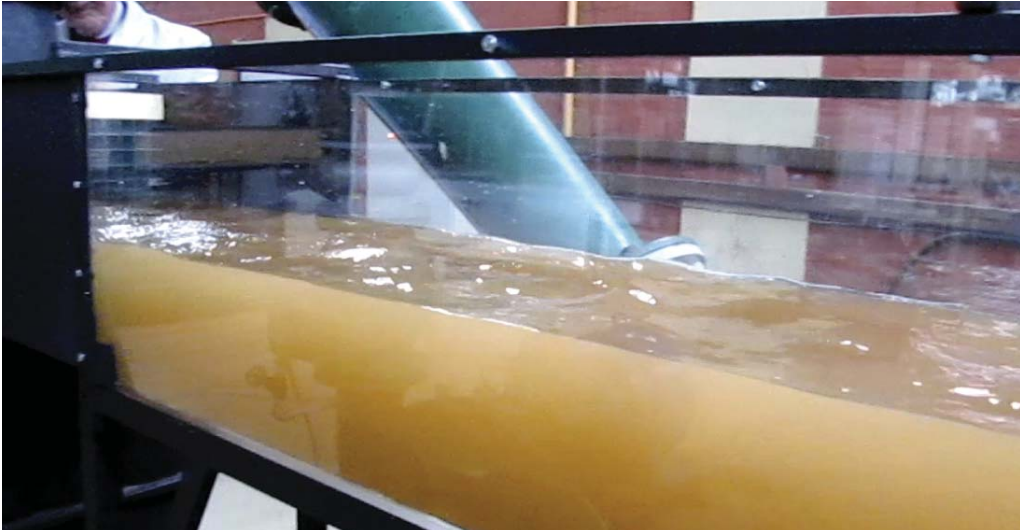


Figura 353. Flujo constante, pero con olas débiles.

d) Tercera Prueba con caudal aún mayor y el vertedero inclinado:

Se genera un flujo muy desordenado con unos resaltos a la entrada del canal que generan una secuencia de “olas”. Producido por el “rebalse” que se genera en la intersección de la parte vertical del canal con la parte horizontal. Después se le agregó la rejilla original que se ubica justo después de esa intersección.



Figura 354. Imágenes del flujo más desordenado

e) Cuarta Prueba con el mismo caudal anterior, el vertedero inclinado y agregándole una “compuerta”:

Al tener grandes movimientos del flujo en la prueba anterior, se prueba agregándole elementos en el inicio del canal, para tratar de ordenar y tranquilizar el flujo. Se prueba combinando la rejilla y un listón de madera que hace de compuerta o vertedero.

Se pudo controlar el flujo a través de estas simples medidas. Cuando se introduce el listón de madera ya no se produce tantas turbulencias.



Figura 355. Imágenes de intentos para ordenar el flujo a través de rejilla y un listón de madera

3. Los Resaltos Hidráulicos

Los resaltos hidráulicos se utilizan para convertir el agua en aguas tranquilas. De torrente a río. O sea si se tiene un caudal que viene como torrente puedo generar una represa que me genera así la condición de río. Entonces confino y se produce el resalto.

El resalto hidráulico es muy efectivo en disipar energía mecánica ya que es extremadamente turbulento, lo que es un rasgo característico a tener en cuenta en aplicaciones a presas de tranquilización y vertederos.

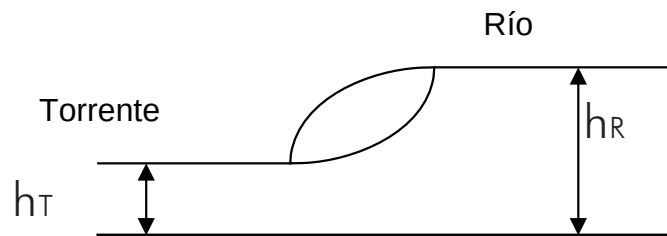


Figura 356. Esquema de resalto hidráulico

Las alturas h_T y h_R se denominan alturas conjugadas. Para determinar las alturas conjugadas, tenemos el resalto en canal rectangular, se aplica la que se llama la ecuación que se llama de Belanger:

$$\frac{h_R}{h_T} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right)$$

Clasificación de los resaltos hidráulicos:

- (a) $Fn = 1$ a $1,7$: resalto ondular;
- (b) $Fn = 1,7$ a $2,5$: resalto débil;
- (c) $Fn = 2,5$ a $4,5$: resalto oscilante;
- (d) $Fn = 4,5$ a 9 : resalto estacionario;
- (e) $Fn > 9$: resalto fuerte

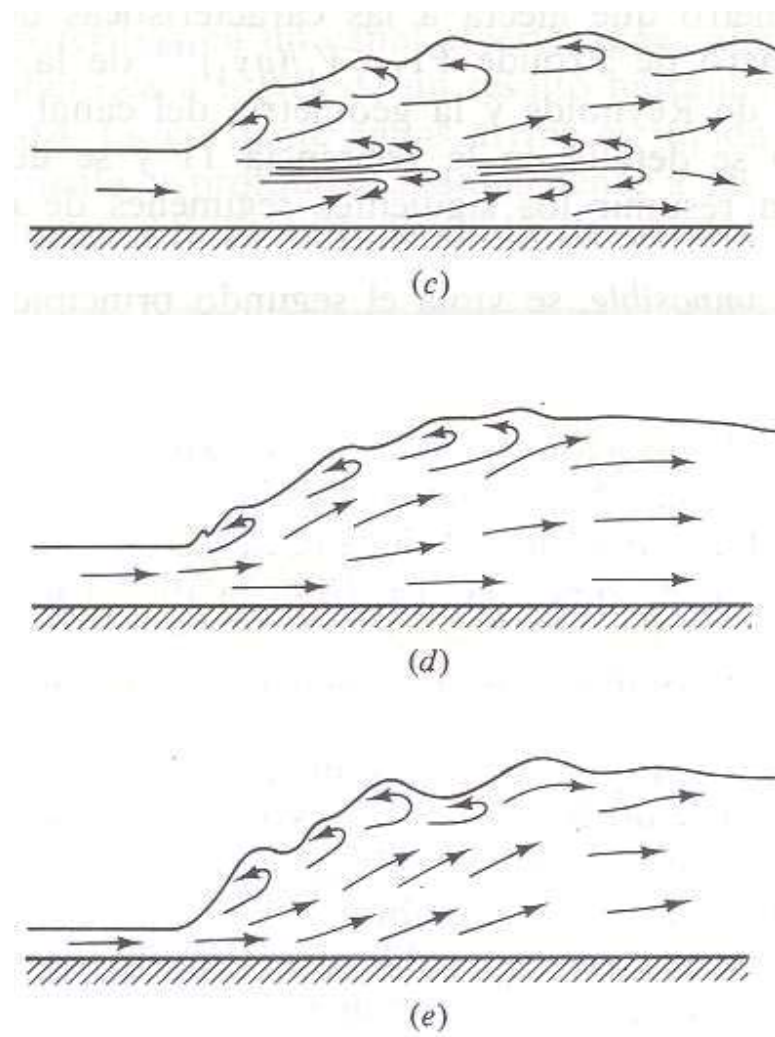
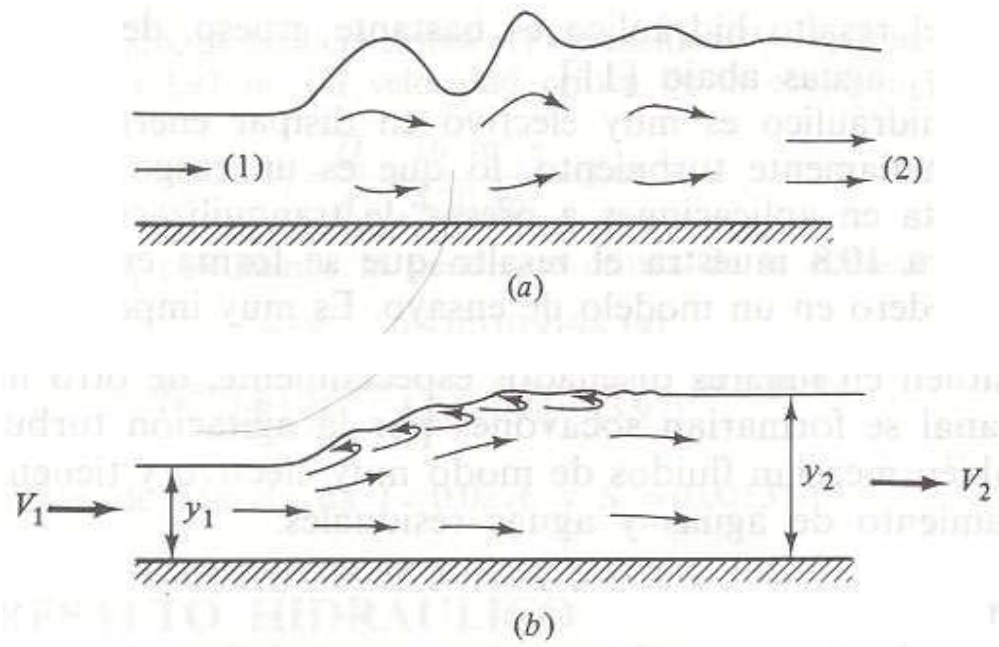


Figura 357. Esquemas de tipos de resaltos

Esto es una breve reseña sobre los resaltos hidráulicos para entender lo que sucedió en las pruebas iniciales del canal. Además se propone crear un resalto hidráulico para ordenar el flujo. Idea que se expone a continuación.

4. Hipótesis de Compuerta y Resalto Hidráulico para el Canal

Se plantea generar un flujo de aguas más tranquilas en el Canal de Fujo a través de una compuerta que regule el paso del agua. Esta estaría ubicada en el inicio del canal, la cual generaría un resalto hidráulico que permitiría un cambio de régimen del flujo, pasando de ser torrente a río.

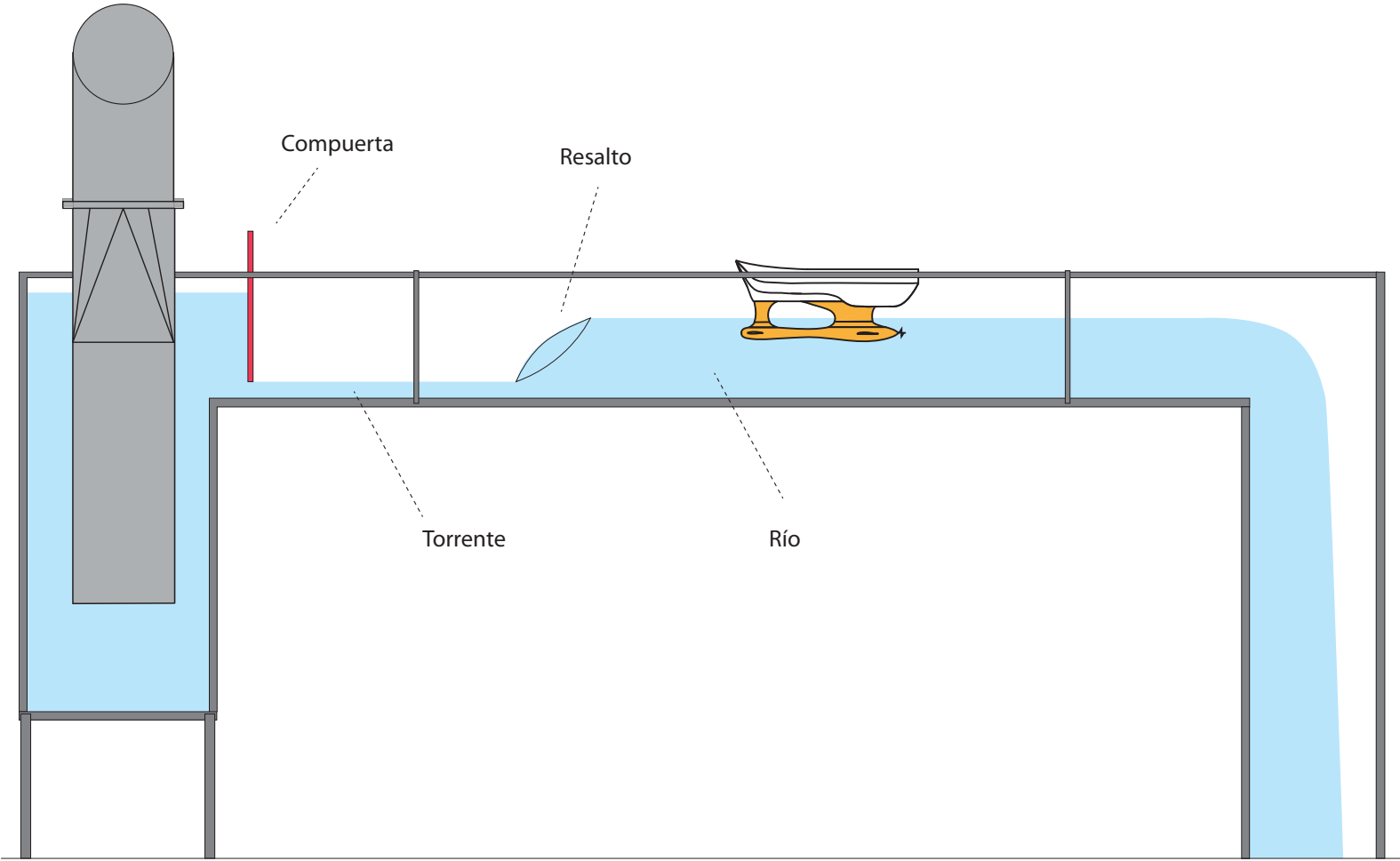


Figura 358. Hipótesis de compuerta y resalto. Fuente: Elaboración propia

Esquema del resalto que se propone

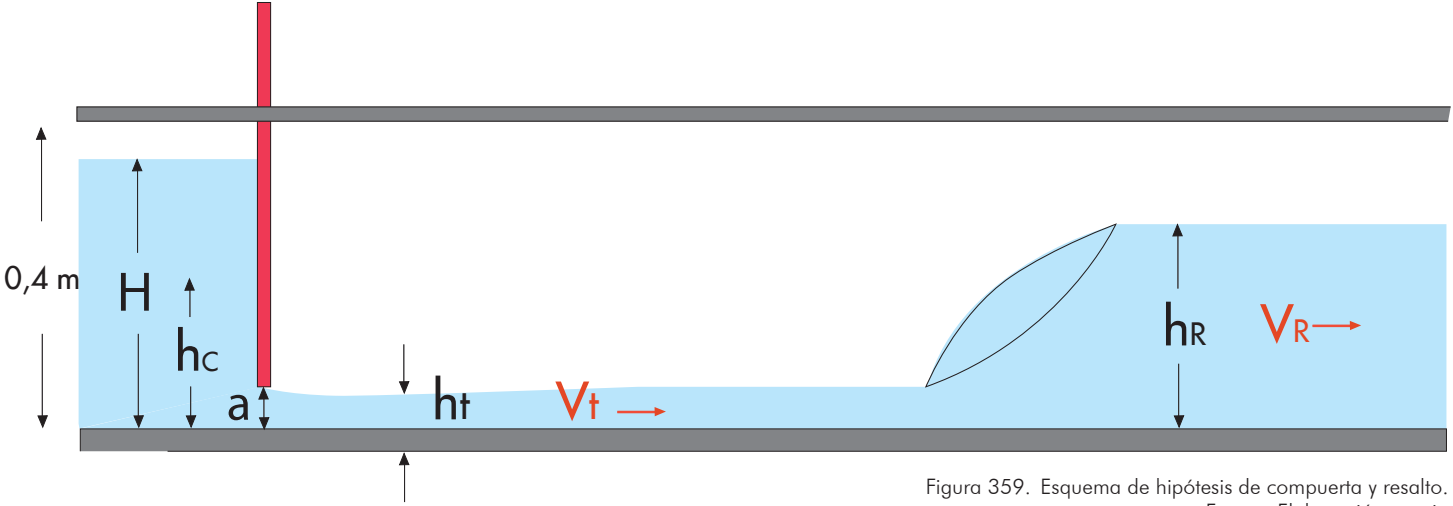


Figura 359. Esquema de hipótesis de compuerta y resalto.
Fuente: Elaboración propia

H: Altura de carga aguas arriba compuerta

a: Abertura de la compuerta

ht: Altura de torrente

hr: Altura conjugada de río

Vt: Velocidad del torrente

Vr: Velocidad de río conjugado

¿Cuales son mis requerimientos?

1. Que la altura H no sobrepase los 0,4 m, porque si no, se rebalsa el agua.
2. Que la altura hr sea mayor a 0,13 m, porque si no, el calado del barco no quedaría sumergido.
3. Que la velocidad en el río sea mayor a 0,09 m/s, que equivale a 0,56 m/s o 1 nudo en el prototipo.
4. Que la velocidad en el río sea menor a 3,24 m/s, que equivale a 20,56 m/s o 39 nudos en el prototipo.
5. Que todo lo anterior se logre con un caudal dado por la bomba de más de 60 l/s

Fórmulas para calcular los parámetros del resalto

Para calcular Número de Froude en el torrente:

$$F_1 = \frac{V_t}{\sqrt{g * h_t}}$$

Para calcular V_t :

$$V_t = \frac{Q}{\text{Área}}$$

$$V_t = \frac{Q}{\text{base} * h_t}$$

Para calcular V_r :

$$V_r = \frac{Q}{\text{Área}}$$

$$V_r = \frac{Q}{\text{base} * h_r}$$

Para calcular h_t :

$$h_t = 0,611 * a$$

Donde a : abertura de la compuerta

Para calcular h_r : Se aplica la fórmula de Belanger.

$$h_r = h_t * \frac{1}{2} \sqrt{((1 + 8 * F_1^2))} - 1$$

Para calcular H :

$$H = \frac{V_t^2}{2 * g} + h_t$$

Para calcular Velocidad del Modelo:

En este caso es la velocidad a la que va a navegar la embarcación. En el canal corresponde a la velocidad del fluido:

*La escala geométrica es 1:40

$$\lambda_V = \lambda_L^{\frac{1}{2}}$$

$$\lambda_V = \left(\frac{1}{40}\right)^{1/2}$$

$$V_m = V_p * \lambda_V$$

5. Desarrollo, resultados y conclusiones del programa de análisis

En base a las fórmulas anteriores, se hizo un programa digital en el Programa Excell para calcular qué pasa con el resalto para cierta abertura de la compuerta y en un cierto caudal dado.

Se analiza desde aberturas de compuerta de 5 cm hasta 30 cm de longitud.

Se analizan caudales desde 0,01 m³/s (10 lt/s) hasta 0,1 m³/s (100 lt/s), este es un gran rango, porque no se tiene claridad sobre cuales son efectivamente los caudales posibles de probar para esa bomba.

Procurando que la columna de agua antes de la compuerta (H) no sobrepase los 0,4 m.

Descartando los datos que no cumplían con los requerimientos antes nombrados en la pág. 278, nos quedamos con los datos que nos sirven. De estos datos, hay velocidades de río entre 0,43 m/s (2,27 nudos en el prototipo) hasta 1,34 m/s (16,33 nudos en el prototipo).

La mínima velocidad recién nombrada de 0,43 m/s se da con un caudal de 0,02 m/s a 0,03 m/s (20 a 30 lt/s) y con una abertura de compuerta de 5 cm.

La máxima velocidad recién nombrada de 1,34 m/s se da con un caudal de 0,09 m/s (90 lt/s) y con una abertura de compuerta de 30 cm. Formándose una columna de agua antes de la compuerta (H) de 28 cm.

Para un caudal de 60 lt/s osea de 0,06 m³/s, se obtienen velocidades que van desde los 0,65 m/s (7,97 nudos en el prototipo) hasta los 1,1 m/s (13,41 nudos en el prototipo)

Los Números de Froude van desde 1 hasta 4,56. Esto significa que en estos rangos hay de los siguientes tipos de resalto: ondular, resalto débil y resalto oscilante (según la clasificación descrita en la pág. 26)

Por lo tanto estas son los rangos que me entregan los cálculos. Queda eso sí medir la velocidad del flujo, para saber el caudal. Y así limitar nuevamente nuestros datos dependiendo de las posibilidades que nos ofrecen los sistemas del canal.

A pesar de la posible reducción de datos, igual se obtiene una amplia gama de posibilidades de velocidad en el régimen de río que nos pueden servir.

A continuación se presenta un fragmento del programa de cálculo que se creó para analizar el resalto. Para estudiarlo es necesario verlo desde el Software Excell.

Fragmento de la tabla del programa de cálculo de resalto.

Conversión de velocidad de prototipo a modelo	
Escala de velocidad	0,158
Velocidad mínima prototipo [m/s]	0,56
Velocidad mínima modelo [m/s]	0,09
Velocidad óptima prototipo [m/s]	12,86
Velocidad óptima modelo [m/s]	2,03
Velocidad máxima prototipo [m/s]	20,50
Velocidad máxima modelo [m/s]	3,24

Abertura de la compuerta (a) [m]					
0,0500	0,075	0,090	0,100	0,110	0,120
Altura del torrente (h _T) [m]					
0,03	0,046	0,055	0,061	0,067	0,073

Altura crítica (h _c) [m]	Caudal (Q) [m3/s]
0,057	0,0170
0,058	0,0175
0,059	0,0180
0,060	0,0185
0,061	0,0190
0,062	0,0195
0,063	0,0200
0,064	0,0205
0,066	0,0210
0,067	0,0215
0,068	0,0220
0,069	0,0225
0,070	0,0230
0,071	0,0235

Velocidad torrente (V _T) [m/s]				
1,39	0,93	0,77		
1,43	0,95	0,80		
1,47	0,98	0,82		
1,51	1,01	0,84		
1,55	1,04	0,86		
1,60	1,06	0,89	0,80	
1,64	1,09	0,91	0,82	
1,68	1,12	0,93	0,84	
1,72	1,15	0,95	0,86	
1,76	1,17	0,98	0,88	
1,80	1,20	1,00	0,90	0,82
1,84	1,23	1,02	0,92	0,84
1,88	1,25	1,05	0,94	0,86
1,92	1,28	1,07	0,96	0,87

Figura 360. Fragmento de la tabla Excell que se desarrolló para analizar los resaltos.
Fuente: Elaboración propia

Pruebas con compuerta para generar resalto



Figura 361. Fotografía 1 secuencia del resalto.



Figura 362. Fotografía 2 secuencia del resalto.



Figura 363. Fotografía 3 secuencia del resalto.

Se genera un resalto, sin embargo se “ahoga” o se genera muy lejano a la compuerta. No se observaron resultados óptimos para hacer las pruebas. Sin embargo, se piensa que se deben hacer más pruebas con el caudal medido, y junto a los expertos que asesoraron este estudio.

Se opta por poner la rejilla metálica y una de madera que va horizontalmente sobre la superficie del agua.

Con esto se estabiliza notablemente el flujo, lo que permite realizar las pruebas de manera óptima.



Figura 364. Rejilla metálica y de madera para estabilizar el flujo.

X. Resultados

- A. Espiral de Diseño y requerimientos de alto nivel
- B. Dibujos y modelos de las primeras propuestas
- C. Dibujos y modelos del Hyswas de la hipótesis final
- D. Pruebas iniciales en el “Canal de arrastre”
- E. Análisis hidrostático del modelo
- F. Pruebas iniciales en el “Canal de ensayos de cascos”
- G. Pruebas posteriores en el “Canal de arrastre”
- H. Pruebas posteriores en el “Canal de ensayos de cascos”

Resultados

A. Espiral de diseño y requerimientos de alto nivel

1. Espiral de Diseño
2. Dimensiones principales
3. Geometría del casco
4. Flotabilidad
5. Estabilidad
6. Pesos-capacidad
7. Habitabilidad/Comportamiento en mar abierto
8. Seguridad
9. Medioambiente
10. Velocidad
11. Condiciones ambientales
12. Propulsión
13. Material-estructura
14. Maniobrabilidad
15. Sistemas auxiliares

B. Dibujos y modelos de las primeras propuestas

1. Formas de cascos que se proponen
2. Catamarán con proa única
3. Trimarán de cascos finos
4. Trimarán de cascos gruesos
5. Trimarán de cascos rectos en su interior
6. Trimarán-swath
7. Hyswas Primero

C. Dibujos y modelos del Hyswas de la hipótesis final

1. Dimensiones principales y geometría del casco
2. Modelos digitales del casco Hyswas de la hipótesis final
3. Planos generales de macrohabitabilidad
4. Diseño desarmable del modelo final
5. Construcción del modelo
6. Cálculo de superficie alar de las hidroalas

D. Pruebas iniciales en el “Canal de arrastre”

1. Pruebas de los primeros modelos en canal de arrastre
2. Pruebas iniciales del modelo de la hipótesis en canal de arrastre

E. Análisis hidrostático del modelo

1. Pruebas de estabilidad

F. Pruebas iniciales en el “Canal de ensayo de cascos”

1. Sesión 1 de pruebas en el canal
2. Sesión 2 de pruebas en el canal
3. Sesión 3 de pruebas en el canal
4. Sesión 4 de pruebas en el canal
5. Sesión 5 de pruebas en el canal
6. Sesión 6 de pruebas en el canal

G. Pruebas posteriores en el “Canal de arrastre”

1. Pruebas de arrastre en el estero con peso adicional

H. Pruebas posteriores en el “Canal de ensayo de cascos”

1. Sesión 7 de pruebas en el canal

A. Espiral de diseño y requerimientos de alto nivel

1. Espiral de Diseño

El proceso de diseño de la embarcación se comienza con el planteamiento del espiral de diseño, el cual nos entrega las directrices para desarrollar el proyecto. En el esquema que se muestra a continuación se muestran estas directrices y luego, más adelante, se especifican las necesidades que conlleva cada uno de estos puntos. Acotando los requerimientos específicos a los cuales debe responder esta embarcación en particular.

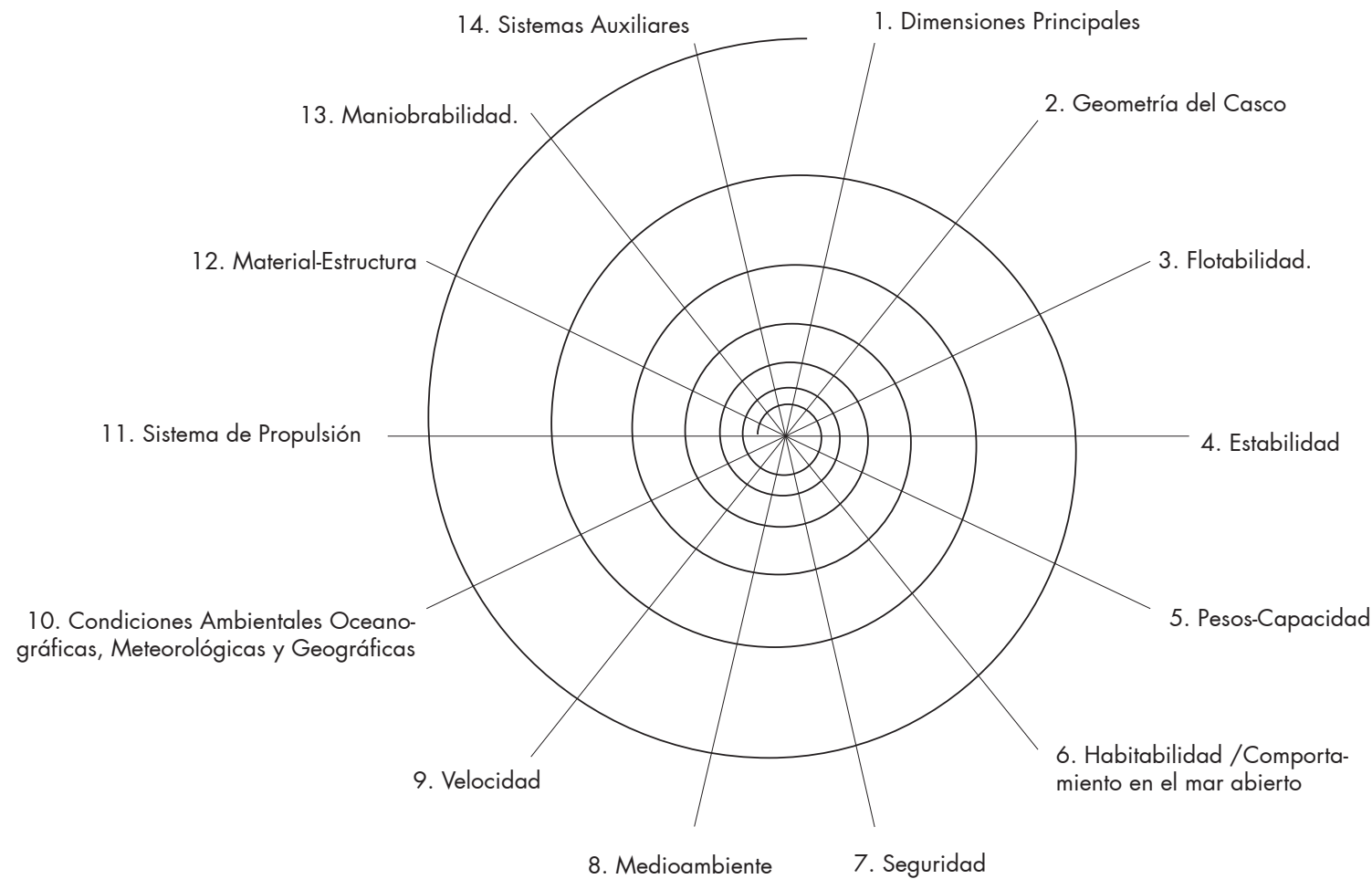


Figura 365. Esquema Espiral de Diseño de la Embarcación del proyecto
Fuente: Elaboración propia

2. Dimensiones principales

Eslora: 20 [m]

Manga: 8 [m]

Puntal: 6 [m]

Calado en estado de desplazamiento: 5 [m]

Calado en estado de sustentación: 2,4 [m]

3. Geometría del casco

La idea es que sea una embarcación muy eficiente y que no produzca mareos en los pasajeros. Se opta por desarrollar un multicasco.

4. Flotabilidad

Debe ofrecer una flotabilidad óptima, para asegurar la seguridad de pasajeros y tripulantes. Esta se debe calcular a través del principio de Arquímedes y seguir con las normativas del SOLAS.

5. Estabilidad

Se debe velar por conseguir una óptima estabilidad estática y dinámica. Los requerimientos de estabilidad deben cumplir con la normativa del SOLAS.

6. Pesos-Capacidad

Peso total de la embarcación: 50 toneladas app. Capacidad para 50 pasajeros.

7. Habitabilidad/ Comportamiento en el mar abierto

Se trata la macrohabitabilidad de la embarcación, desde lo que percibe la persona al navegar, evitando situaciones de mareo.

8. Seguridad

Debe cumplir con normativa de seguridad para el transporte marítimo de pasajeros.

9. Medioambiente

Que sea amigable con el medioambiente, disminuyendo la contaminación.

10. Velocidad

Esta embarcación debe ser rápida para cumplir con las necesidades de traslado de los ciudadanos. Se aproxima una velocidad máxima de 25 nudos.

11. Condiciones Oceanográficas, Meteorológicas y Geográficas

La embarcación debe ser capaz de soportar inclemencias oceanográficas, meteorológicas y geográficas. Tales como, olas, vientos, neblina y profundidades del lecho marino en bahías.

12. Propulsión

Se piensa en dos motores eléctricos conectados a un generador. Se consideran dos de 300 hp ubicados en el interior del bulbo, donde se conecta al eje que mueve la hélice.

13. Material- estructura

Se adopta como material el aluminio y acero. El aluminio por su baja densidad y gran resistencia y el acero por su mayor resistencia para fines estructurales.

14. Maniobrabilidad

Para la maniobrabilidad se considera timón y regulación de los ángulos de las hidroalas.

15. Sistemas Auxiliares

La embarcación debe ser cerrada, para la protección de los pasajeros. Climatización. Servicios Higiénicos, Sistemas mecánicos, hidráulicos, neumáticos, etc.

B. Dibujos y modelos de las primeras propuestas

1. Formas de cascos que se proponen

El proceso de diseño se desarrolla como una búsqueda de formas del casco, desde hipótesis iniciales intuitivas que luego se van acotando a medida que avanza el estudio, hasta la hipótesis final que se declara en esta tesis.

Las hipótesis de formas van evolucionando a medida que avanza el estudio teórico-técnico, y también en función de los resultados y observaciones de las pruebas empíricas que se van realizando.

Se realizaron fundamentalmente cuatro tipos de cascos, en el orden en que se realizaron, se nombran los siguientes:

-Catamarán con proa única

-Trimarán

-Trimarán-swath

-Hyswas

En la figura 366 se esquematizan los anteriores.

Se proyectaron y construyeron: un catamarán con proa única, tres tipos de trimaranes, un trimarán-swath y dos tipos de hyswas.

Siendo el “Hyswas” el que se define como la hipótesis definitiva de esta tesis. De ahí hacia adelante se desarrollan las pruebas que demostrarán o no la hipótesis.

En este capítulo se exponen todos los dibujos a mano alzada, dibujos técnicos y digitales tridimensionales. Además se explica cómo se llega a cada una de las formas aunando todos los requerimientos que el espiral de diseño nos indica.

Cuatro tipos de modelos de cascos que se formulan como hipótesis:

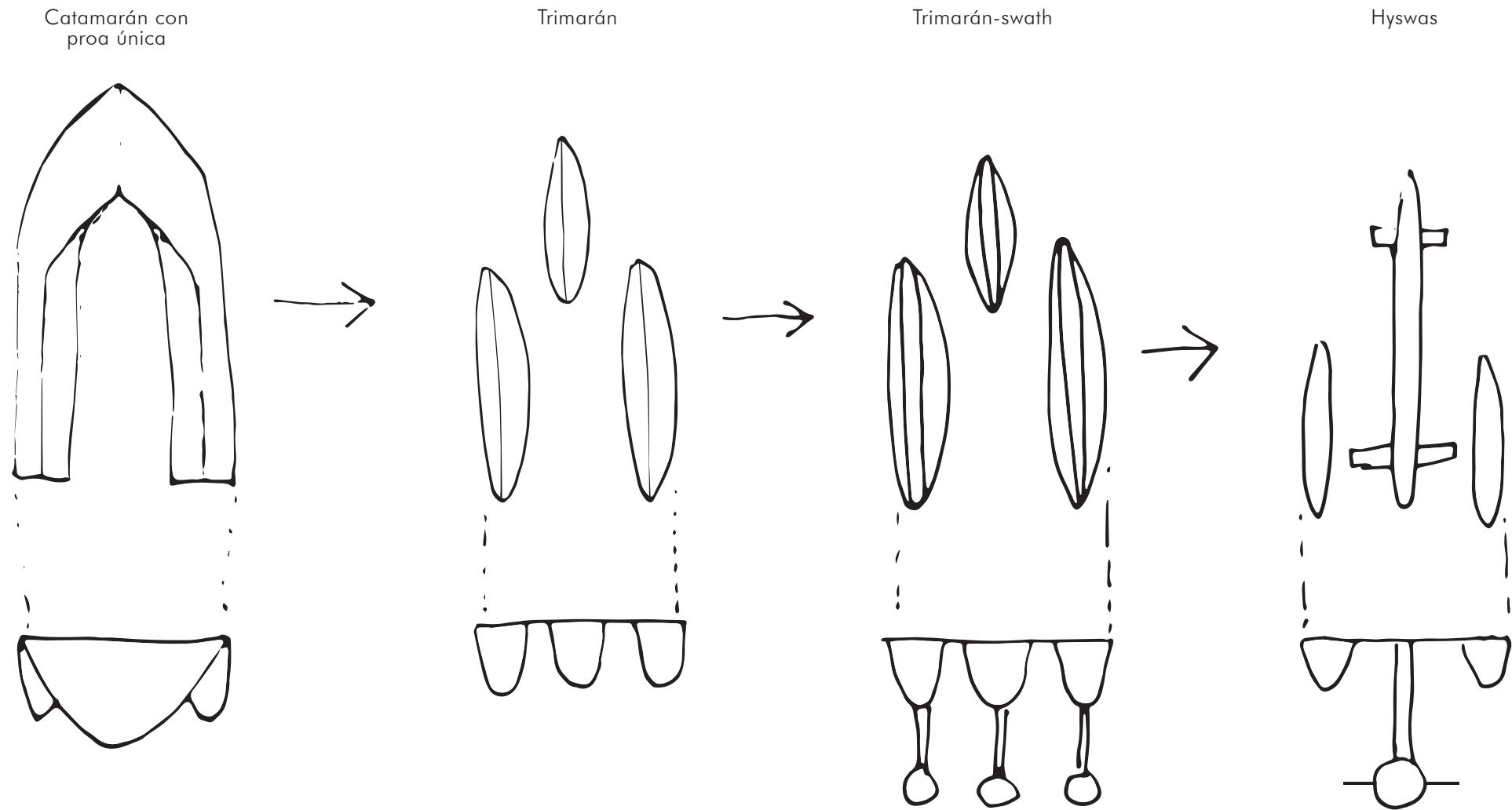


Figura 366. Esquema de los cuatro tipos de modelos de cascos que se formularon como hipótesis, en orden evolutivo. Fuente: Elaboración propia.

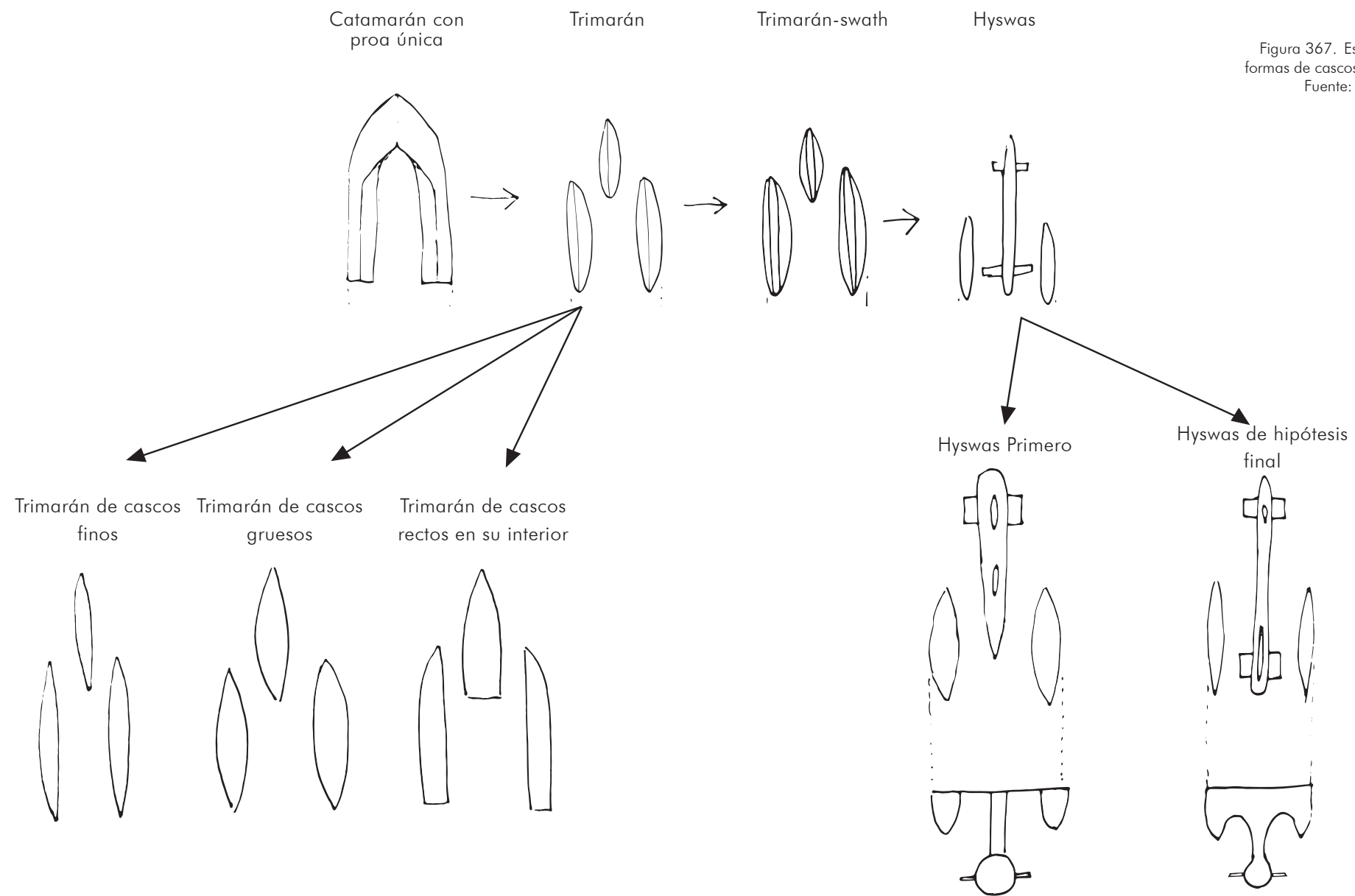


Figura 367. Esquema de todos las formas de cascos que se formularon.
Fuente: Elaboración propia.

2. Catamarán con proa única

Se piensa inicialmente en desarrollar una embarcación que sea muy maniobrable, que oponga mínima resistencia al avance y que entregue gran estabilidad y seguridad, ya que se trata de una embarcación para pasajeros. Se propone un casco tipo catamarán, pero con la variante que en la proa ambos cascos se unen para poseer una superficie que corte el agua, tal como lo hace un monocasco. A continuación se presentan los croquis previos, los dibujos de planimetría y fotografías del modelo construido.

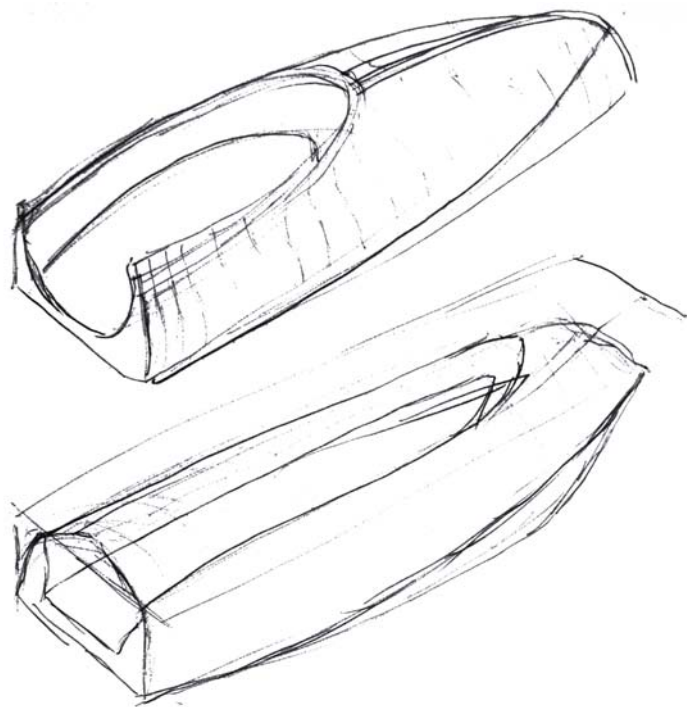


Figura 368. Dibujos del casco Catamarán con proa única. Se piensa como un monocasco que se le hace un corte horizontal en la quilla, del que resulta el catamarán antes descrito. Fuente: Elaboración propia

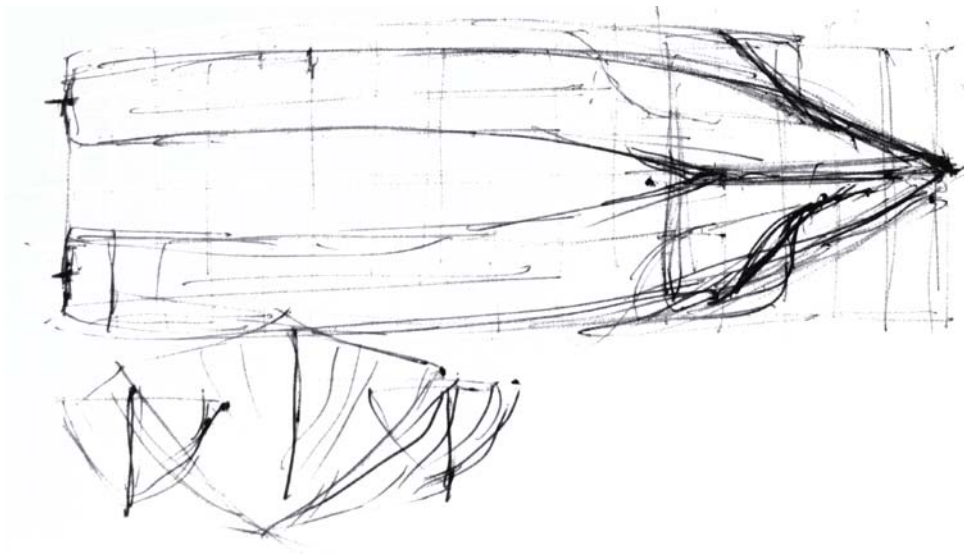


Figura 369. Dibujo proa afinada del Catamarán con proa única. Se agudiza lo más posible la proa, para que ésta corte el agua y así ganar maniobrabilidad. Fuente: Elaboración propia

Plano del casco Catamarán con proa única:

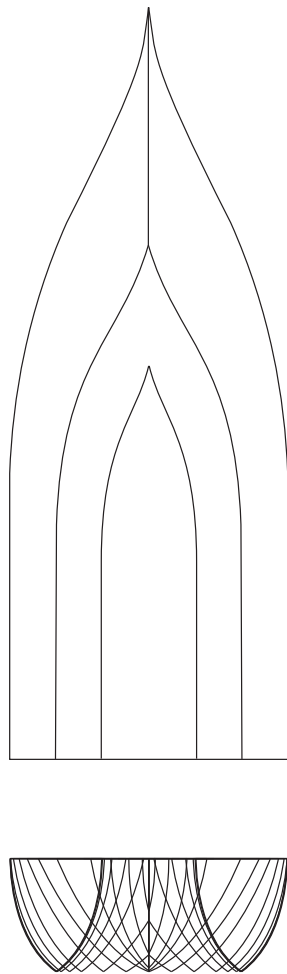


Figura 370. Plano de planta y transversal del casco Catamarán con proa única.
Fuente: Elaboración propia

Modelo de Catamarán con proa única:

Se construye el modelo a escala 1:20. Se fabrica de poliestireno expandido.

Mide 90 cm x 33 cm x 14 cm.

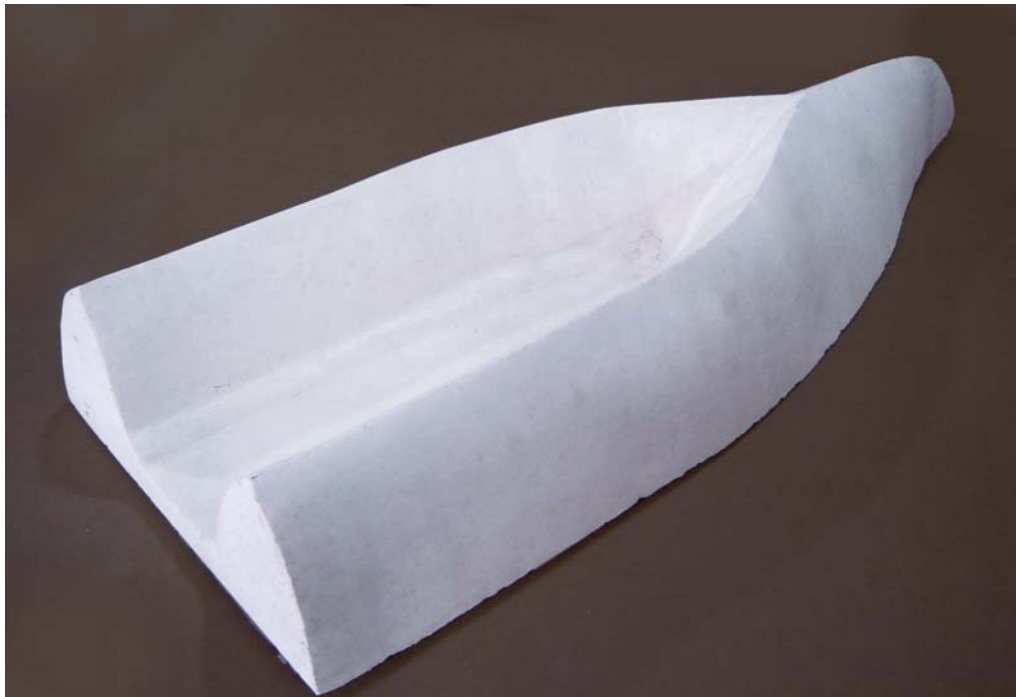


Figura 371. Fotografía del modelo de Catamarán con proa única, visto desde popa.
Fuente: Elaboración propia



Figura 372. Fotografía del modelo de Catamarán con proa única, visto desde proa.
Fuente: Elaboración propia

Este modelo no fue probado porque se da por hecho una turbulenta que se produciría entre los cascos laterales, tal como se muestra en el siguiente esquema.

Este casco es descartado en el estudio de esta tesis. No hubo un estudio metódico acerca de sus cualidades, ya sean virtudes o defectos, pues no hubo una prueba de modelo. Por lo tanto no se puede decir si es válido o no.

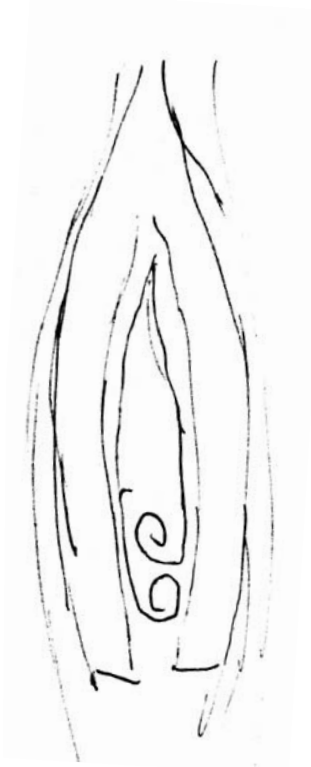


Figura 373. Esquema de la presencia de turbulencias entre los cascos laterales.
Fuente: Elaboración propia

Producto de lo anteriormente planteado, se propone convertir este catamarán en un trimarán derecho. Particionar la proa y transformarla en un casco aparte.

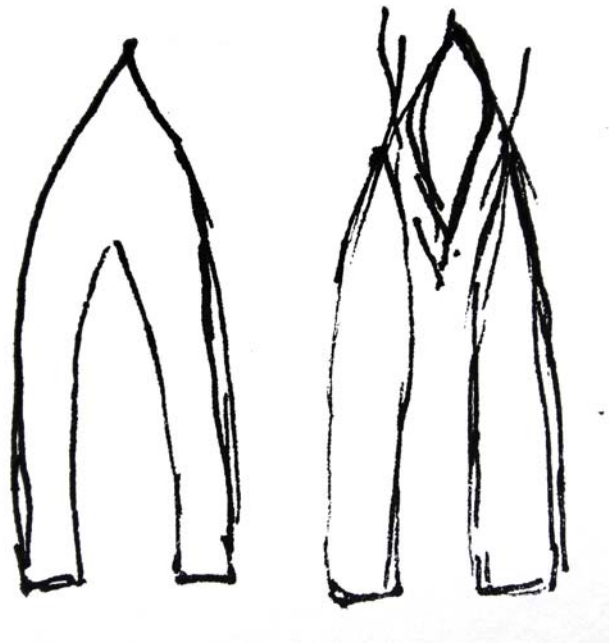


Figura 374. Se pasa del catamarán al trimarán.
Fuente: Elaboración propia

3. Trimarán de cascos finos

Se propone un trimarán, que reduzca las turbulencias y por ende la resistencia. Se llega a pensar en la posibilidad de dejar los tres cascos muy próximos, para que se produzca una angostura entre ellos, y por el principio de Bernoulli, la velocidad del flujo poría aumentar, lo que aumentaría la eficiencia de la hélice, la cual iría inmediatamente detrás de este flujo, es decir iría en la popa del casco central, tal como lo muestran los esquemas a continuación. Son supuestos que van orientando la hipótesis.



Figura 375. Dibujos esquemáticos del flujo de agua entorno al casco trimarán. Fuente: Elaboración propia

Plano del casco:

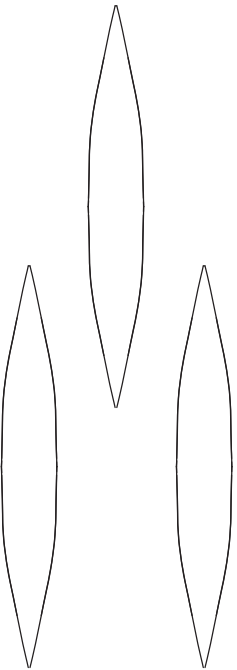


Figura 376. Plano de planta del casco Trimarán de cascos finos. Fuente: Elaboración propia

Modelo digital tridimensional del Trimarán de cascos finos:

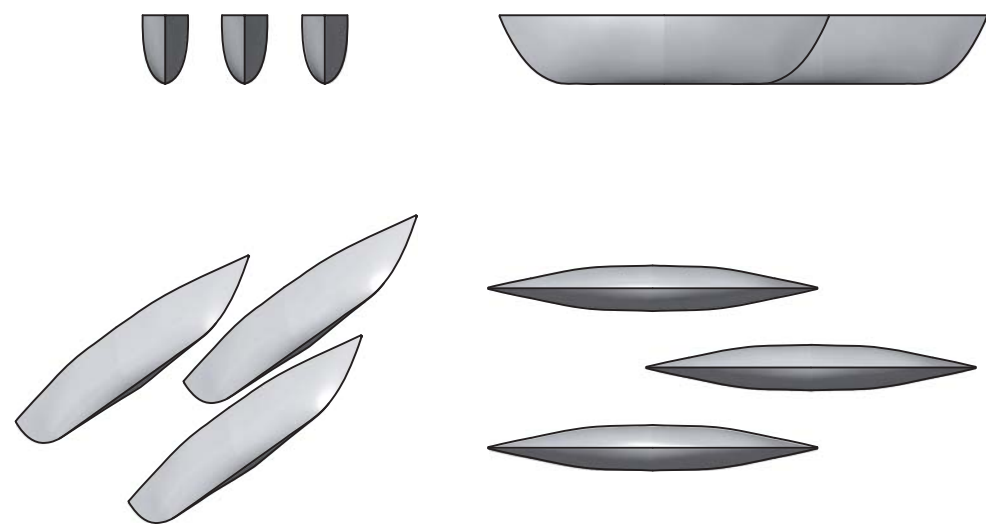


Figura 377. Modelo digital 3D del casco Trimarán de cascos finos.
Fuente: Elaboración propia

A través del software computacional en el cual se modeló este casco, se puede definir un calado cualquiera y luego se puede obtener el volumen sumergido. Gracias a esto, se pudo comprobar que el volumen de este casco no satisface los requerimientos de flotabilidad. Es por esto que se modela un segundo trimarán.

Modelo tridimensional del Trimarán de cascos finos:



Figura 378. Fotografía del modelo 3D del casco Trimarán de cascos finos ya construido. Fuente: Elaboración propia

La observación sobre la flotabilidad, también se pudo corroborar con el modelo construido. El modelo se hizo de poliestireno expandido y se ensambla a una tabla de MDF, la cual lo sostiene a través de un sistema de fijación con pernos y perforaciones que permiten la movilidad de los cascos en los ejes x e y.

4. Trimarán de cascos gruesos

Se mantiene la configuración anterior, sólo que esta vez se agrandan los cascos para aumentar su flotabilidad. Se realizan modelos digitales, similares al trimarán anterior y luego se construye con la misma técnica que el anterior.

Plano del casco de Trimarán de cascos gruesos:

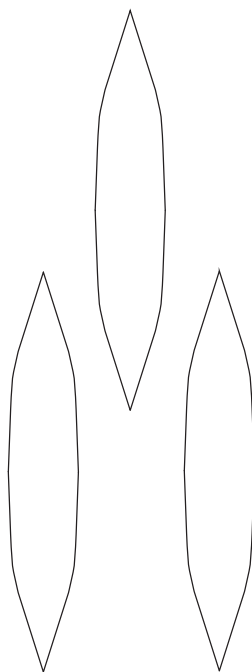


Figura 379. Dibujo de planta del casco Trimarán de cascos gruesos. Fuente: Elaboración propia

Modelo tridimensional del Trimarán de cascos gruesos:



Figura 380. Fotografía de planta del casco Trimarán de cascos gruesos. Fuente: Elaboración propia

Este modelo se probó en el canal de arrastre. En la página 345 se describen las pruebas y los resultados de éstas.

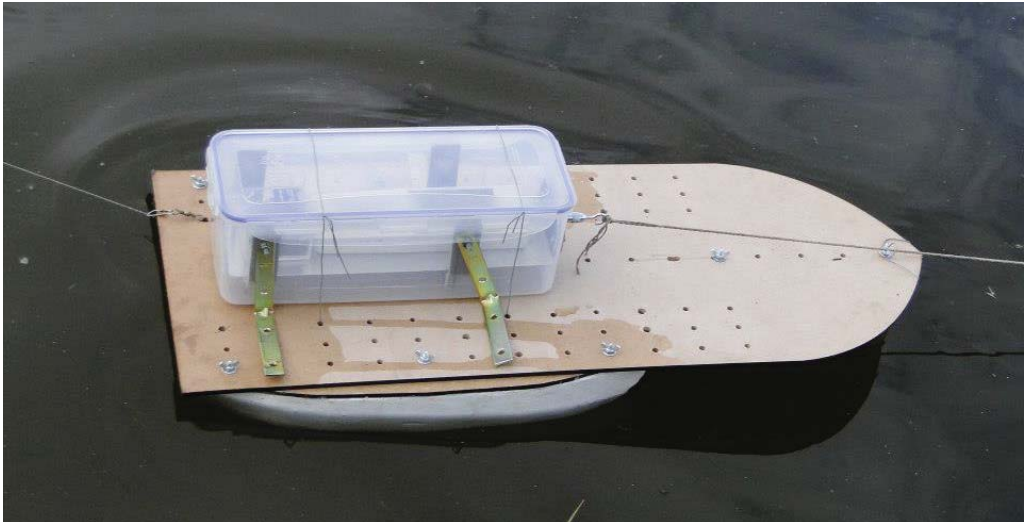


Figura 381. Fotografía de modelo del Trimarán de cascos gruesos. Sobre la plataforma de madera que lo sostiene, se monta una caja hermética que contiene un dinamómetro que mide la fuerza (su funcionamiento se describe en el desarrollo de la prueba de arrastre, pág.). Fuente: Propia

5. Trimarán de cascos rectos en su interior

Luego se propone un trimarán con dos cascos laterales, cada uno asimétrico entorno a su eje de crujía. Esto para evitar la formación de olas entre estos dos cascos laterales. Al ser rectos por el lado interior, el flujo se tiende a ir recto hacia popa, sin causar interferencia por formación de olas. Se mantiene el supuesto de posicionar la hélice en la popa del casco central para recibir un flujo a mayor velocidad que viene del angostamiento antes descrito.

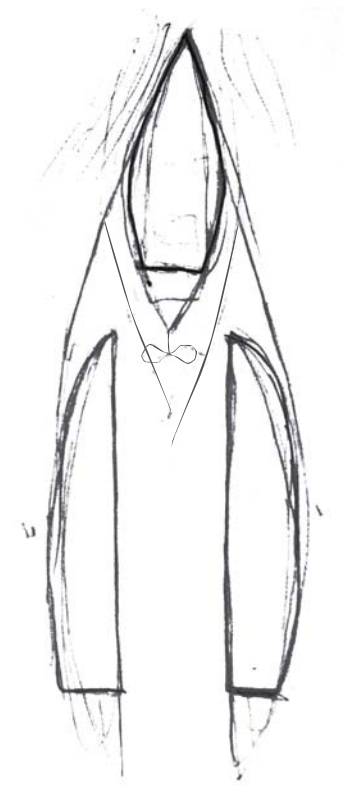


Figura 382. Dibujos esquemáticos del flujo de agua entorno al casco trimarán con cascos laterales rectos en su interior. Fuente: Elaboración propia

Plano del casco Trimarán de cascos rectos en su interior:

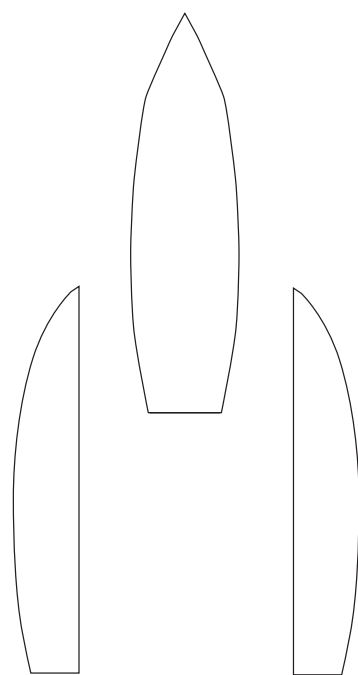


Figura 383. Dibujo de planta del casco Trimarán de cascos rectos en su interior. Fuente: Elaboración propia

Modelo digital tridimensional del Trimarán de cascos rectos en su interior:

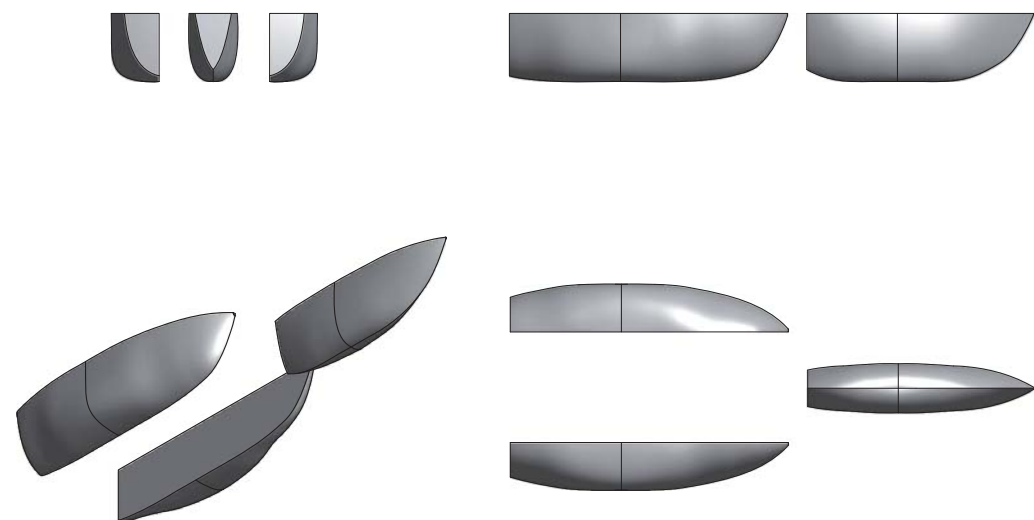


Figura 384. Modelo digital 3D del casco Trimarán de cascos rectos en su interior. Fuente: Elaboración propia

Modelo tridimensional del Trimarán de cascos rectos en su interior:



Figura 385. Fotografía de planta del casco Trimarán de cascos rectos en su interior. Fuente: Elaboración propia

6. Trimarán-swath

Con este modelo, se dio un paso que cambió la hipótesis radicalmente, pero manteniendo algunas aristas de las anteriores.

A partir del estudio se propone incorporar el concepto de los buques Swath. Agregando unos cascos con forma de bulbo que van sumergidos. Entonces se mantienen los tres cascos anteriores y se le suman cascos sumergidos.

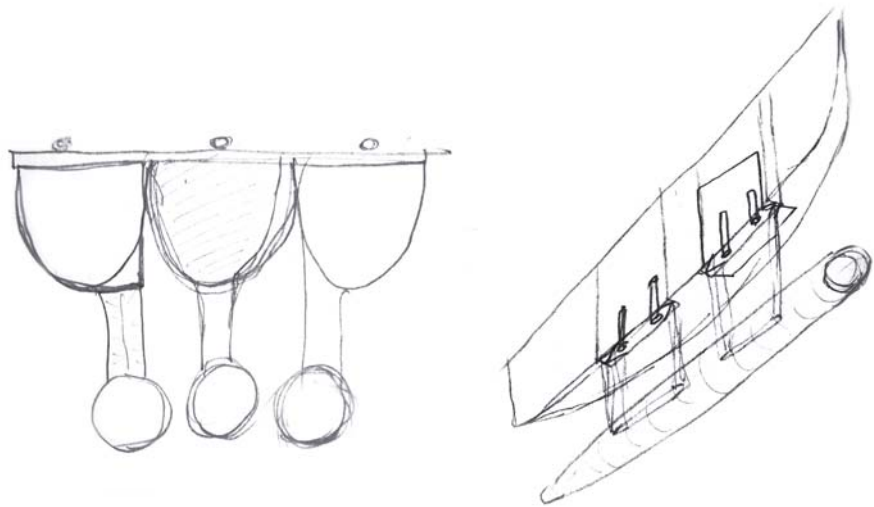


Figura 386. Dibujos del casco trimarán swath. Combina los cascos de un trimarán con los cascos sumergidos de los Swath. Fuente: Elaboración propia

Plano del casco:

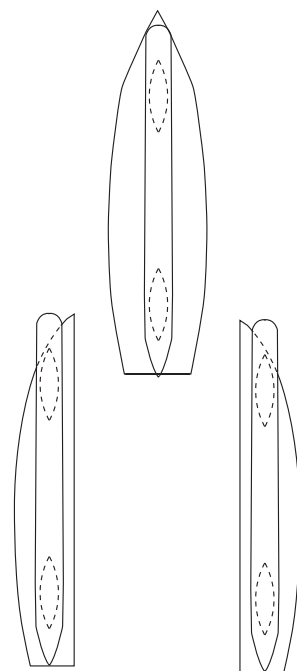


Figura 387. Dibujo de planta del casco trimarán-swath.
Fuente: Elaboración propia

Modelo digital tridimensional del Trimarán C:

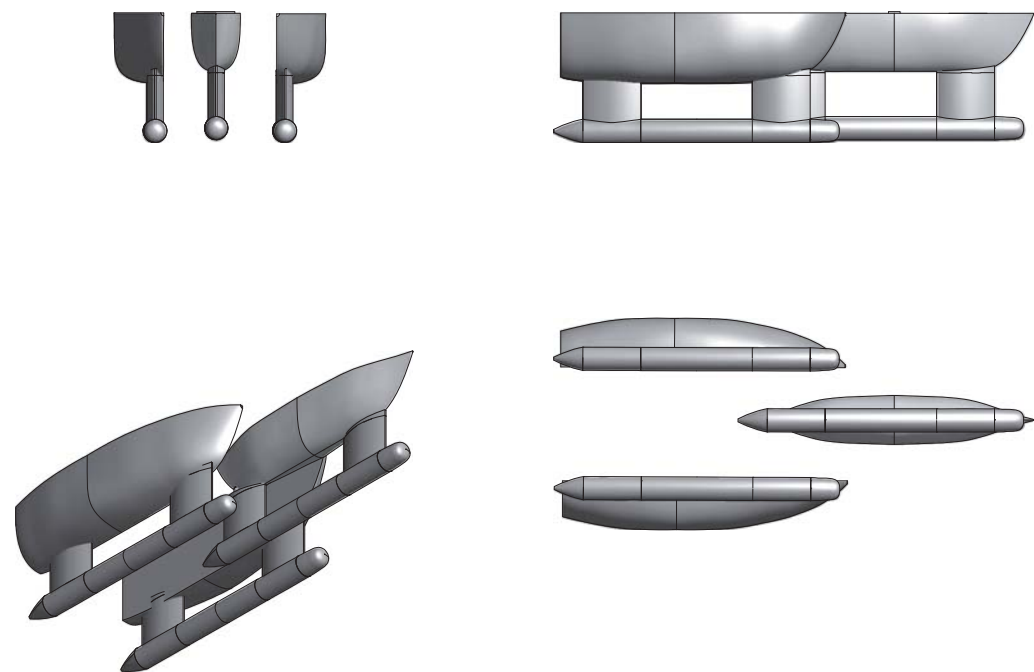


Figura 388. Modelo digital 3D del casco trimarán - swath. Fuente: Elaboración propia

Modelo tridimensional del Trimarán-swath:

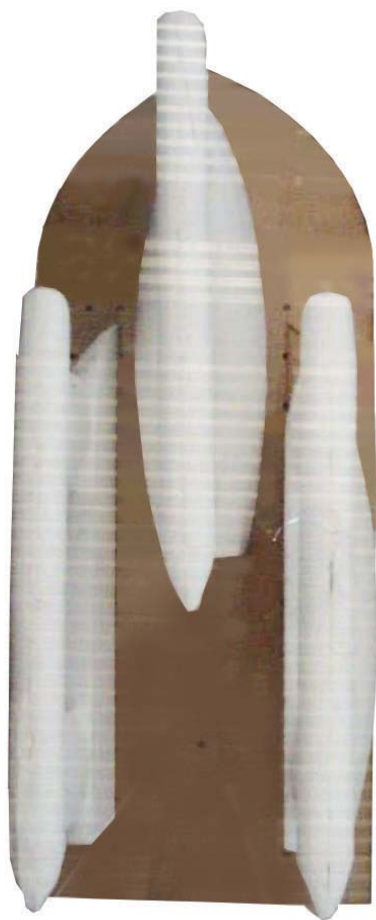


Figura 389. Fotografía de planta del casco Trimarán C.
Fuente: Elaboración propia

7. Hyswas Primero

El anterior modelo se descarta, ya que es un casco con muchas superficies y corresponden a una suma de elementos innecesaria. Desde este punto de vista, se decide sintetizar la forma del casco, llegando a una nueva propuesta, que consiste en reducir la cantidad de cascos sumergidos (bulbos) a uno solo. Este bulbo sumergido iría en el centro, y tendrá hidroalas que le permiten la sustentación. Paralelamente a esta idea, durante el estudio teórico-técnico, nos encontramos con el concepto hyswas, el cual se explica en detalle en los capítulos anteriores de esta tesis, concepto similar a lo que se piensa en esta etapa del proyecto.

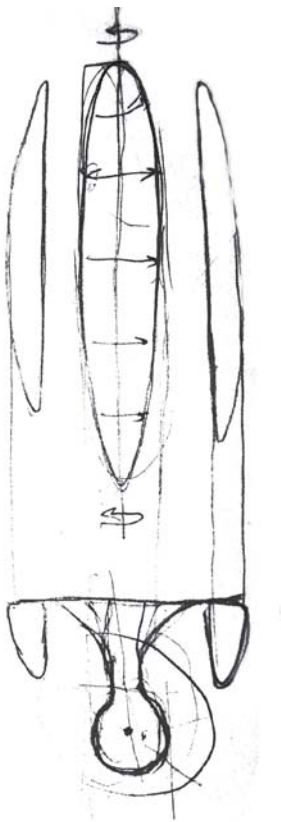


Figura 390. Dibujos del casco hyswas.
Fuente: Elaboración propia

Plano del casco Hyswas primero:

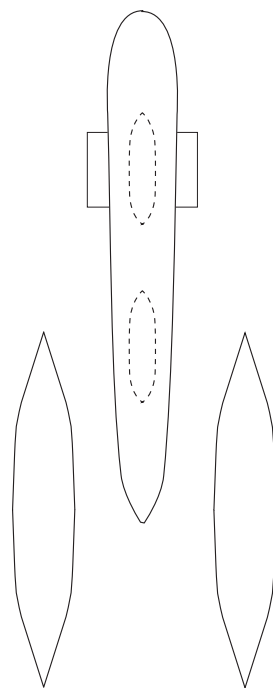


Figura 391. Dibujo de planta del casco Hyswas primero.
Fuente: Elaboración propia

Modelo digital tridimensional del Hyswas primero:

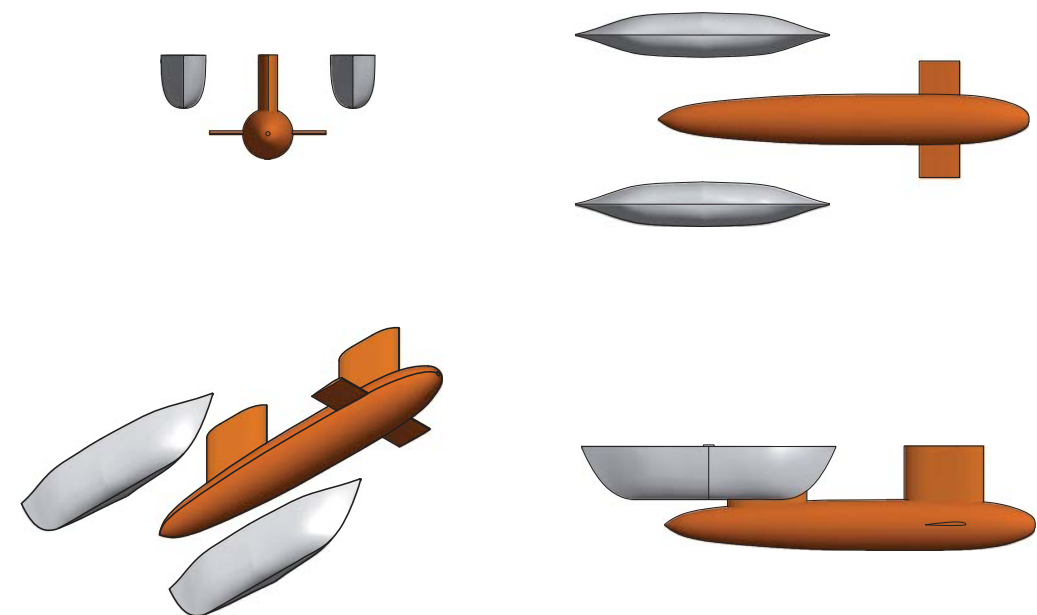


Figura 392. Modelo digital 3D del casco Hyswas primero.
Fuente: Elaboración propia

Modelo tridimensional del Hyswas primero:



Figura 393. Fotografía de planta del casco Hyswas primero.
Fuente: Elaboración propia

Este modelo se probó en el canal de arrastre. En el siguiente capítulo, se describen las pruebas y los resultados de éstas.



Figura 394. Fotografía de modelo del Hyswas primero.
Fuente: Propia

C. Dibujos y modelo del Hyswas de la hipótesis final

1. Dimensiones principales y geometría del Casco

A partir de la hipótesis de tener un casco sumergido, asemejándonos al concepto "Swath", se comienza a estudiar el fundamento teórico y práctico de estas embarcaciones con mayor detalle, y así proponer una hipótesis con mayor fundamento y estudio.

Se desarrollan las formas, teniendo en cuenta todos los parámetros que el espiral de diseño nos ha arrojado.

Dimensiones Principales

Se hace un catastro de las medidas de eslora, manga, calado y puntal de ciertas embarcaciones similares que ya se han construido. En base a estas medidas, obtenemos las proporciones promedio, las que aplicamos a este barco.

Flotabilidad y Volúmenes:

En cuanto a flotabilidad, seguimos las proporciones que se utilizaron para la embarcación "Aliswath", ampliamente estudiada en el fundamento teórico y técnico de esta tesis. Se decide que el bulbo entrega el 80 % de la boyantes, mientras que los cascos superiores laterales el otro 20 %, esto en estado de desplazamiento, mientras que en estado de sustentación, el 20% dado por los cascos laterales, es reemplazado por la fuerza dinámica de los perfiles alares. Entonces, para comenzar el diseño de las formas, se definen los volúmenes del casco.

Forma de los arbotantes:

Inicialmente se piensa un arbotante mayor en la proa y uno menor en la popa o incluso eliminar el arbotante trasero. Esto para evitar que se interfieran la olas provocadas por el arbotante y las olas que se forman en los cascos laterales.

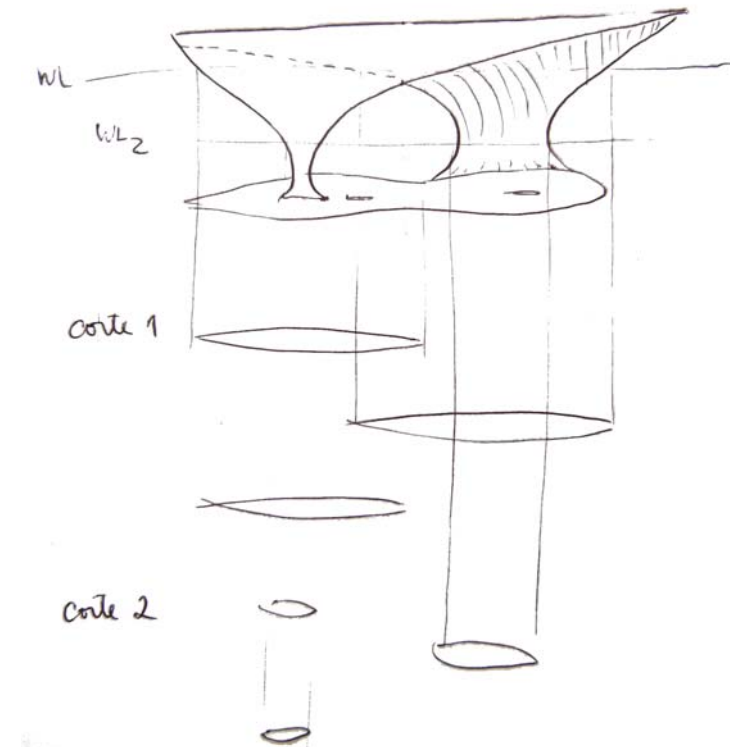


Figura 395. Esquema de propuestas iniciales de casco Hyswas. Se propone un arbotante grande en la proa, y en la popa, se crea una extensión de los cascos laterales que se unen al bulbo sumergido (sin arbotante vertical en popa). Fuente: Elaboración propia

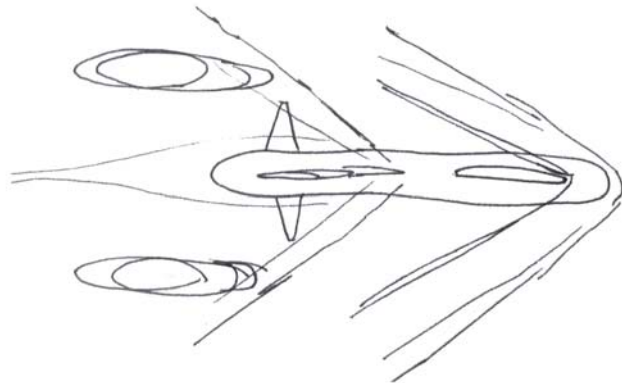
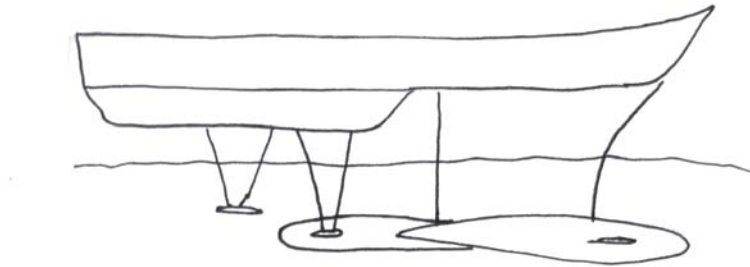


Figura 396. Esquema de propuestas iniciales de casco hyswas para evitar resistencia por formación de olas. En la figura superior se ve un casco con un arbotante grande en proa y uno pequeño en popa. En la figura inferior se ve de planta un esquema de la posible formación de olas. Lo que se busca es que el arbotante de popa no genere olas que choquen con los cascos laterales. Esto se podría evitar evitando tener un arbotante en popa, disminuyendo al máximo su volumen o corriéndolo hacia adelante, tal como se ve en el esquema. Fuente: Elaboración propia

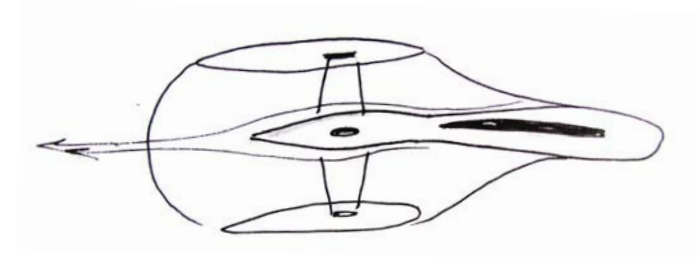


Figura 397. Esquema de planta de las propuestas iniciales. Se observa el arbotante de proa mayor que el de popa. Fuente: Elaboración propia.

Uno de los puntos importantes del espiral de diseño es la propulsión, la cual condiciona en buena parte el diseño del casco. Se opta por la propulsión diesel-eléctrica. Compuesta por un generador diesel que se sitúa en el casco superior y dos motores eléctricos situados en línea en el interior del bulbo, en la zona de popa. Es por esto que se debe pensar un arbotante trasero amplio, por el cual pueda bajar una persona directamente hacia el motor en el caso de que sea necesario. Esto es lo contrario de lo que se pensaba anteriormente desde el punto de vista de la formación de olas.

Lo que se hace es aumentar necesariamente el tamaño del arbotante de popa, quedando de un ancho mínimo dado por el “Código internacional de seguridad para naves de gran velocidad” en el punto 4.7.13, donde se define que los anchos de los pasillos, puertas o escaleras que den servicio a espacios en los que no haya normalmente nadie, no deberían medir menos de 600 mm x 600 mm.

Y frente al problema de la formación de olas, lo que se hace es movilizar lo más adelante posible el arbotante y los más atrás posible los cascos laterales.

Forma del bulbo:

Las formas del bulbo también pueden ser infinitas, en el fundamento teórico y técnico de esta tesis, vimos varios ejemplos de bulbos. El que se propone en esta hipótesis es un bulbo con una angostura al centro, forma que nace de las conclusiones de las pruebas del primer hyswas en el canal de arrastre. Donde se intenta reorientar el flujo que se provoca en la proa del bulbo cuando navega.

En los estudio que ha liderado el arquitecto naval Stefano Brizzolara, realizados entre el año 2004 y 2013, también se plantea un bulbo con una angostura al centro que dio buenos resultados. Este gran antecedente apoya nuestra hipótesis. En este esta tesis se verá si este este bulbo funciona con un casco tipo hyswas.

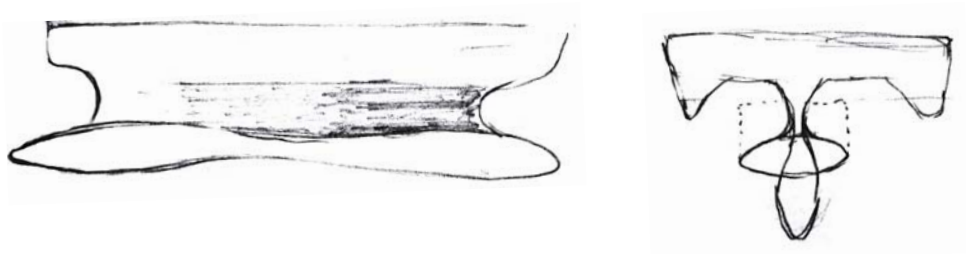


Figura 398. Esquema de propuestas iniciales del bulbo sumergido.
Fuente: Elaboración propia

Se barajan distintas opciones en la disposición de arbotantes y bulbo.

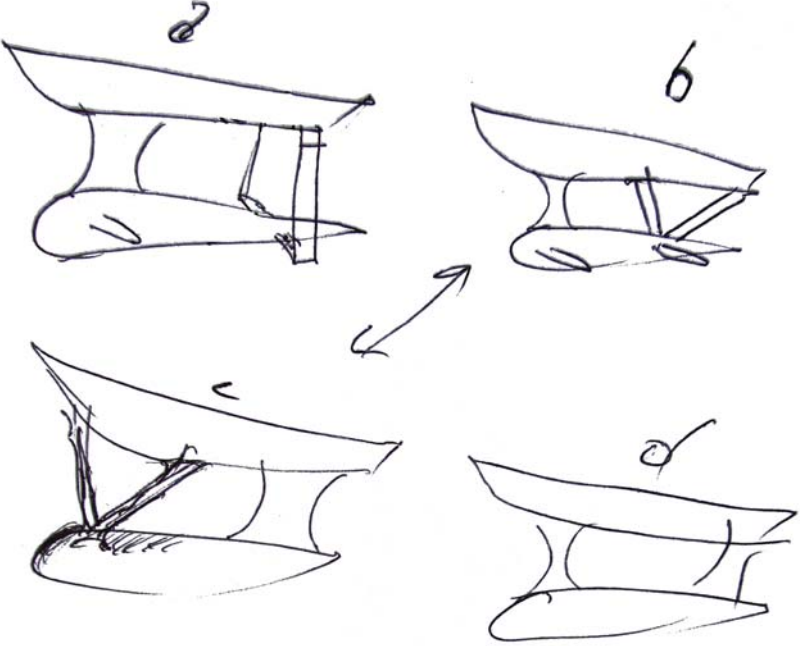


Figura 399. Esquema de de las distintas opciones de disposición de los elementos en el casco.
Fuente: Elaboración propia

2. Modelos digitales del casco Hyswas de la hipótesis final

A continuación se muestra el proceso de modelado en digital 3d del casco del hyswas. Se muestran los más representativos.

Modelo 1°:

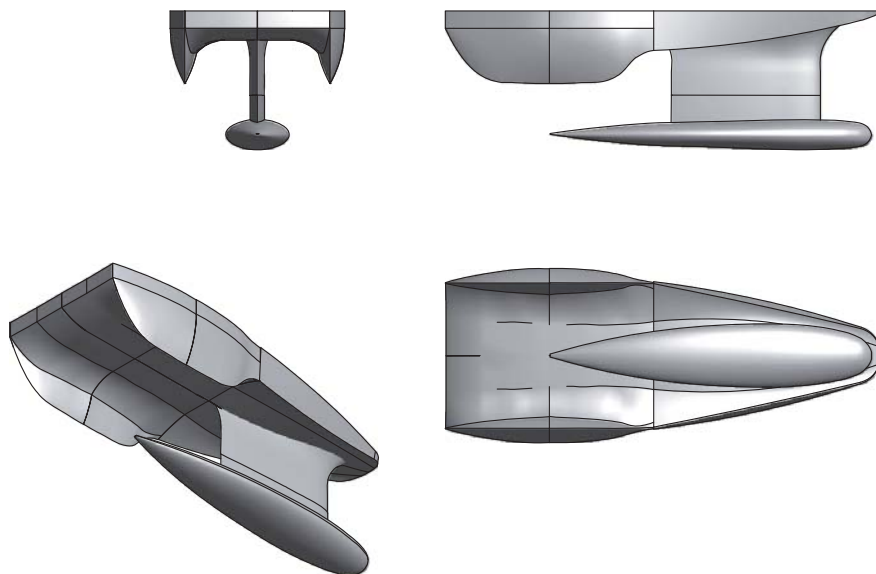


Figura 400. Modelo tridimensional Modelo 1° Hyswas. Posee un gran arbotante en proa y un bulbo de gran volumen. Fuente: Elaboración propia

Modelo 2°:

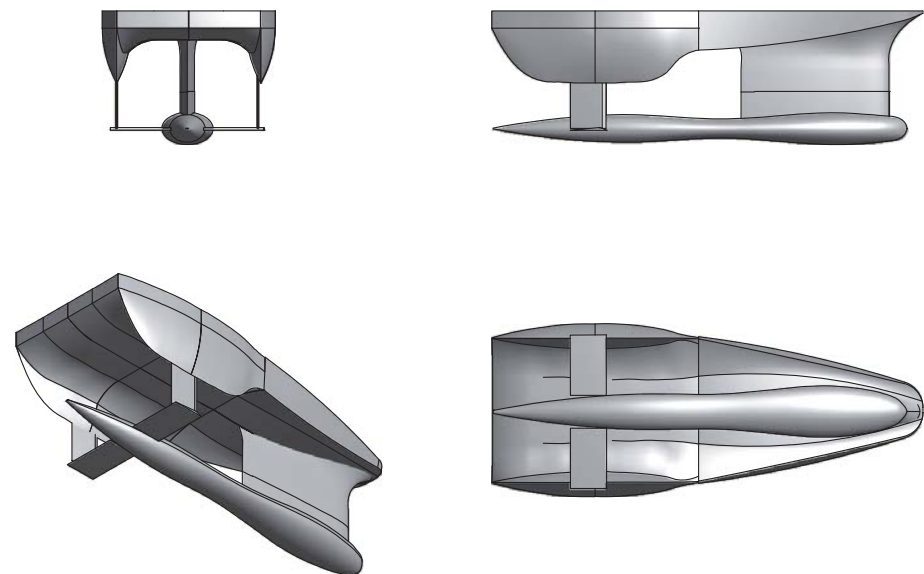


Figura 401. Modelo tridimensional Modelo 2° Hyswas. Se mantiene el gran arbotante de proa, y se le agregan las hidroalas de popa sujetas al casco superior a través de unos finos perfiles verticales. Además se angosta el bulbo en la parte central. Fuente: Elaboración propia

Modelo 3°:

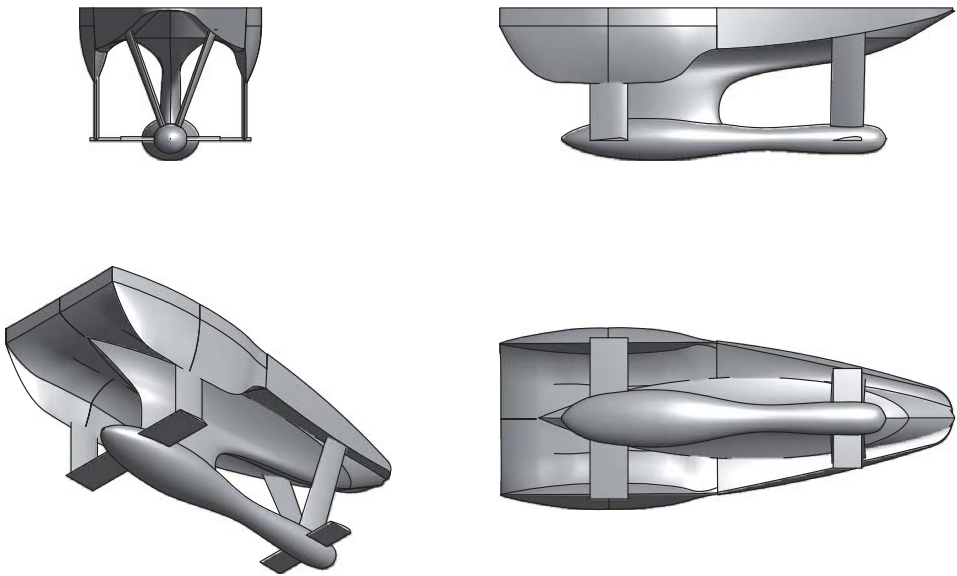


Figura 402. Modelo tridimensional Modelo 3° Hyswas. En este modelo el arbotante de proa desaparece y se reemplaza por dos perfiles con forma de diedro que se unen al casco superior. En la popa se sitúa el arbotante mayor, el cual adquiere una forma más curva y continua. La forma del bulbo varía, en la popa es más voluminoso en la proa, ya que se determina que en esta zona deberá estar ubicado el motor. Fuente: Elaboración propia

Modelo 4°:

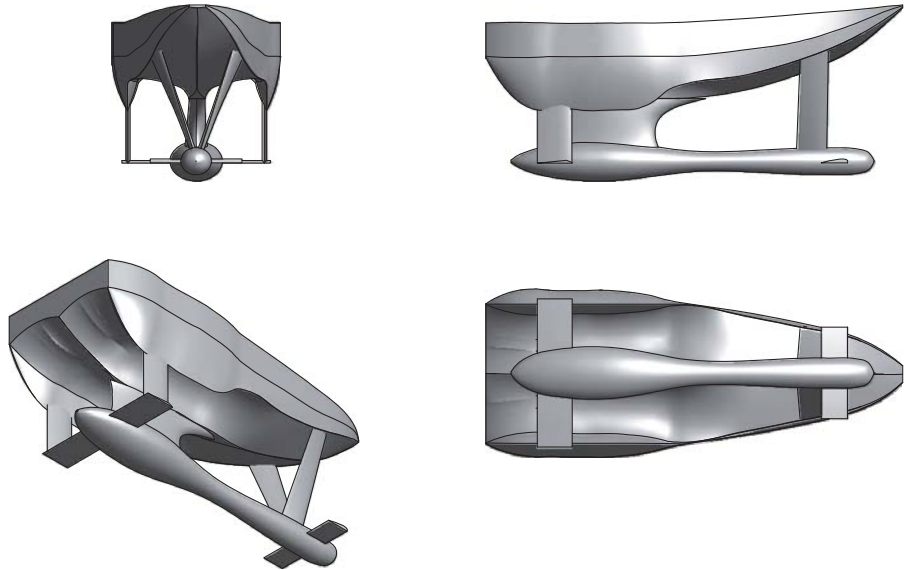


Figura 403. Modelo tridimensional Modelo 4° Hyswas. Se aumenta el volumen del casco superior para darle mayor flotabilidad, y adquiere formas más hidrodinámicas. Se vuelve a alargar el bulbo longitudinalmente. Fuente: Elaboración propia

Modelo 5°:

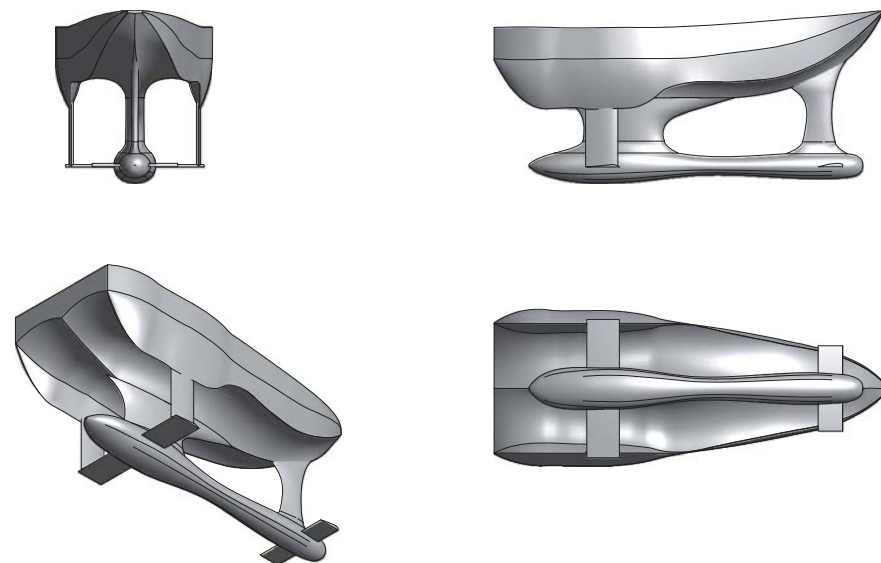


Figura 404. Modelo tridimensional Modelo 5° Hyswas. Se reemplazan los diedros de proa por un arbotante vertical más pequeño. Fuente: Elaboración propia

Modelo 6°:

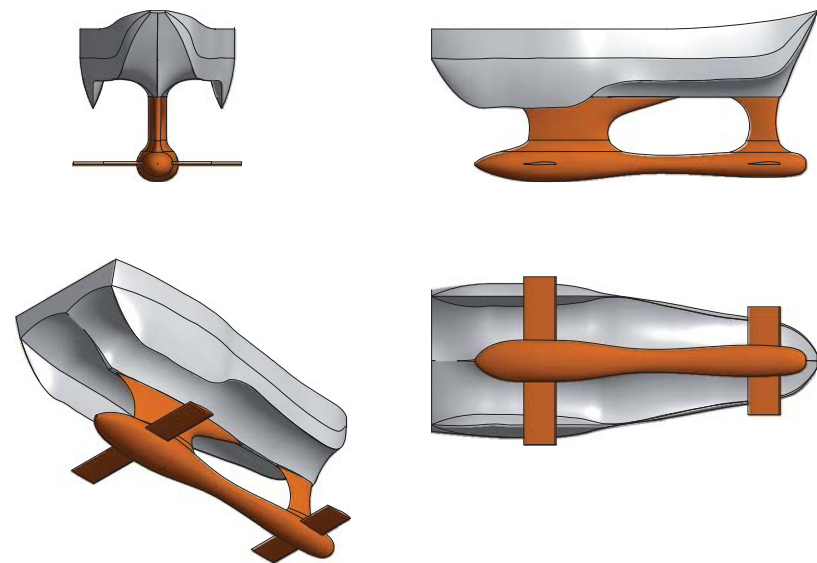


Figura 405. Modelo tridimensional Modelo 6° Hyswas. Este es el último modelo digital. Se aumenta la el volumen de la proa del casco superior, quedando con una proa más "achatada". Se alargó la envergadura de los perfiles de popa. Este modelo es el que se construye a escala 1:40. Fuente: Elaboración propia

3. Planos generales de macrohabitabilidad

Se realizan planos generales de calce geométrico de la macrohabitabilidad de la embarcación. Específicamente en la zona del bulbo y los arbotantes. Esta zona es la más crítica en cuanto a calce, ya que se deben ajustar los espacios a lo más mínimo, porque se deben mantener los arbotantes lo más finos posibles.

En los siguientes planos se ve transversal y longitudinalmente la embarcación. Se puede observar una persona en la zona del bulbo y otra en la cubierta. Ya que un requerimiento que se plantea es que una persona debe poder bajar al motor a través del arbotante.

A través del arbotante una persona debe poder subir y bajar. El ancho mínimo exigido por las normas OMI, es de 60 cm.

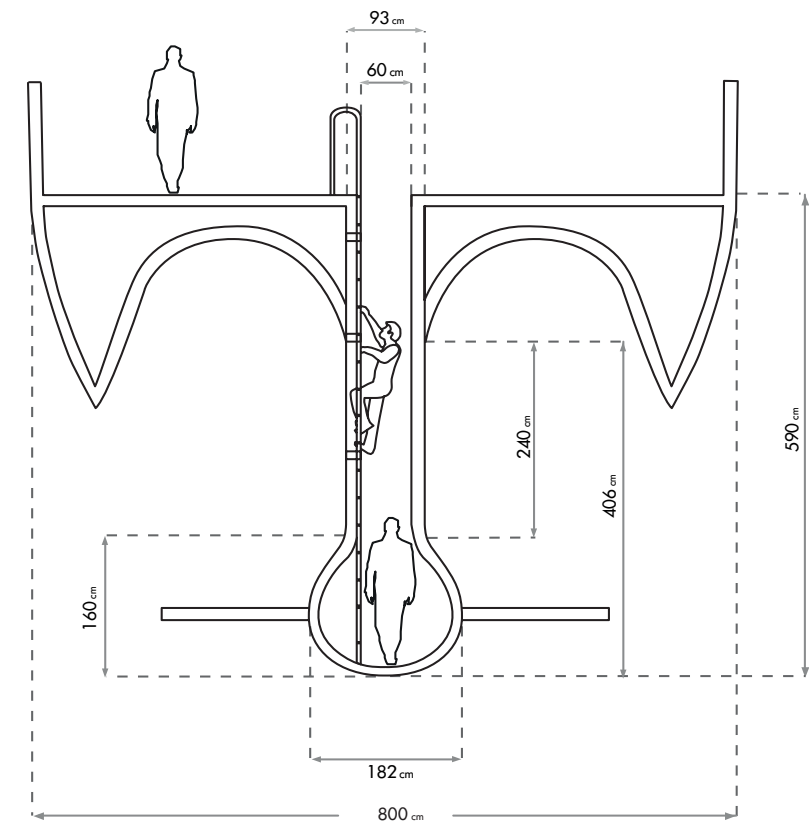


Figura 406. Plano transversal de la zona donde sube la persona a través del arbotante de popa.
Fuente: Elaboración propia

En el interior del bulbo se encuentran dos motores eléctricos de 300 hp cada uno, unidos en línea al eje de la hélice. Y una escala une el bulbo con el casco superior.

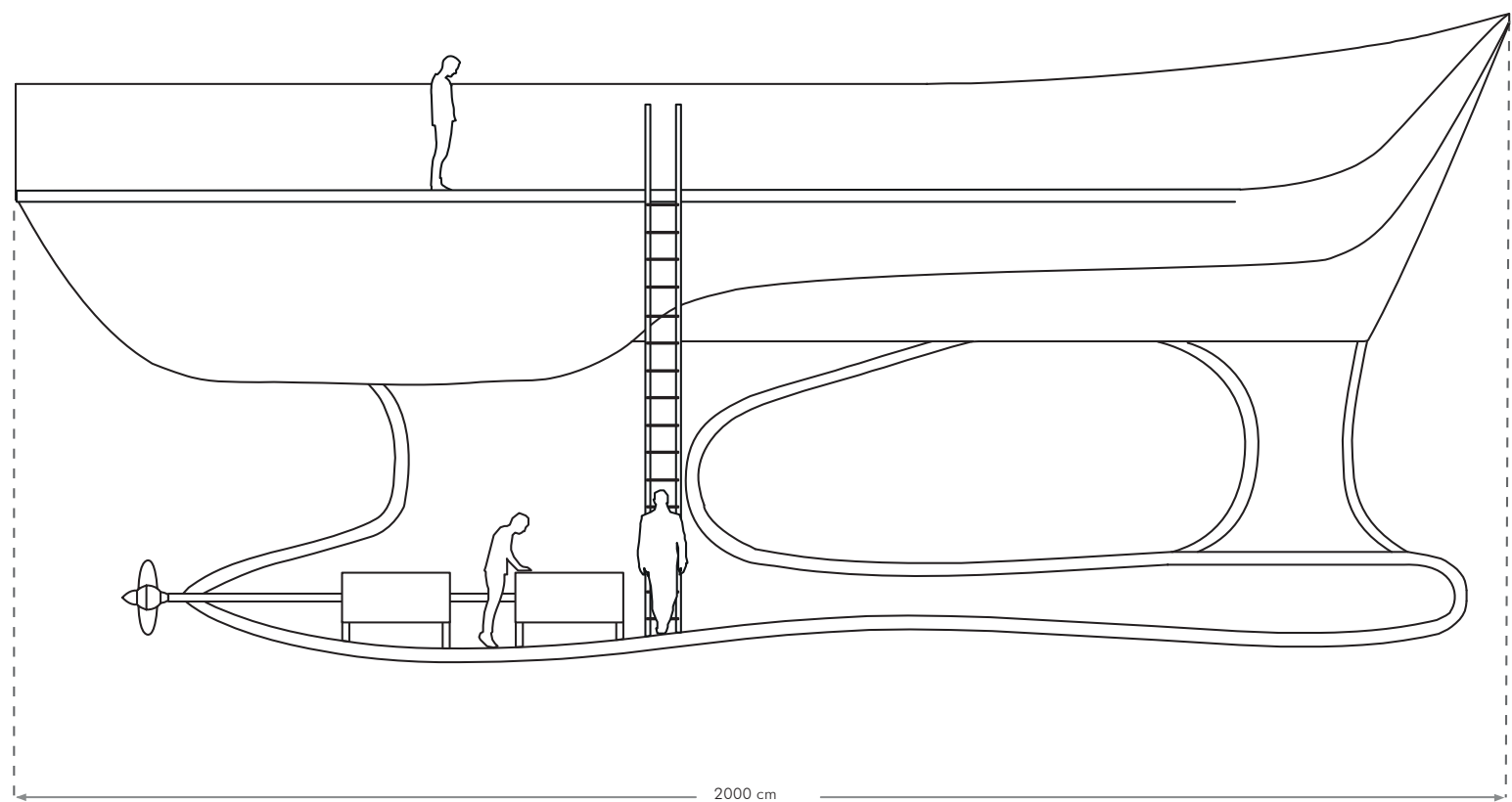


Figura 407. Plano longitudinal de la zona de crujía.
Fuente: Elaboración propia

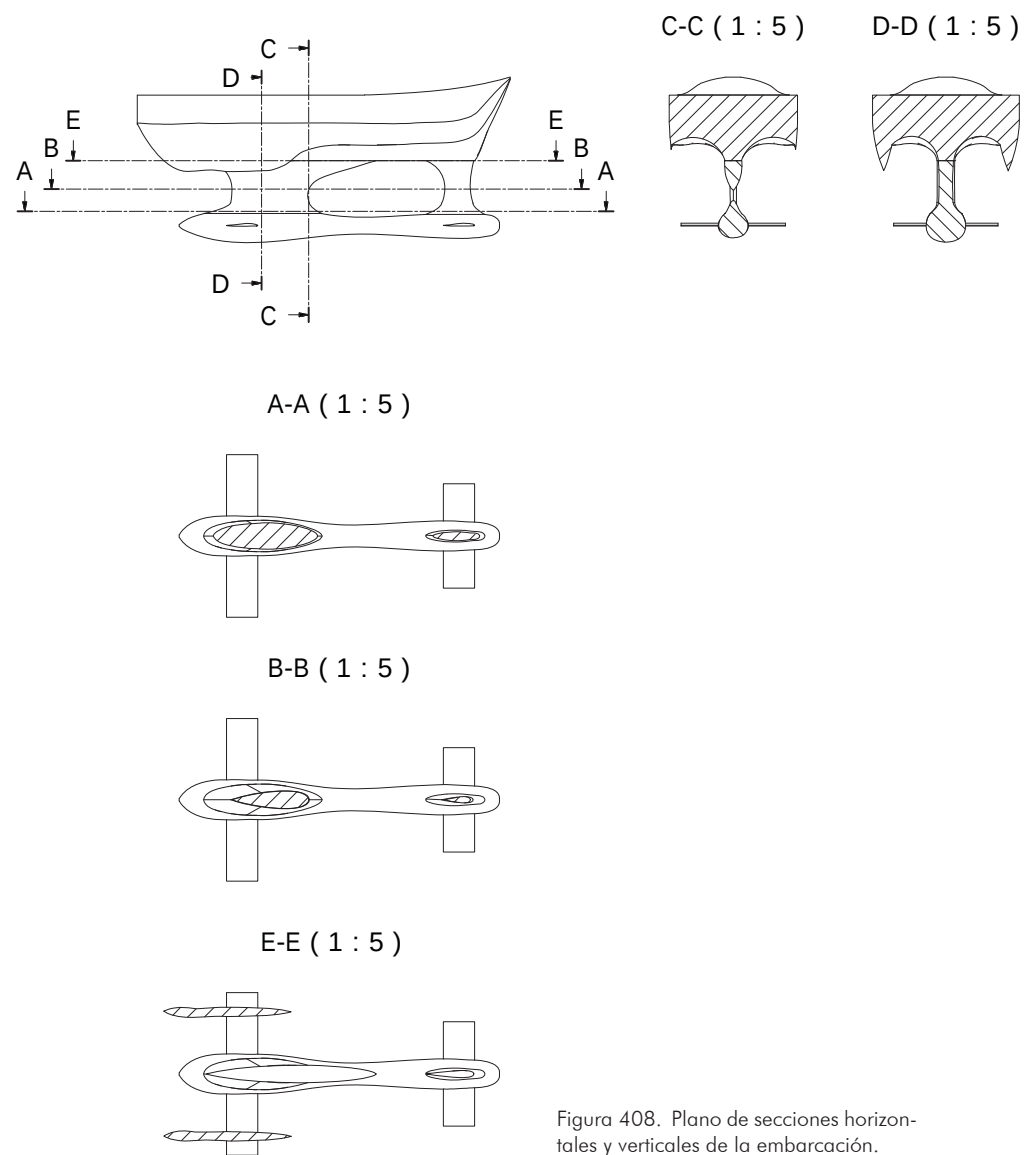


Figura 408. Plano de secciones horizontales y verticales de la embarcación.
Fuente: Elaboración propia

En los planos anteriores se presentan planos de la embarcación seccionada, para poder ver los cortes horizontales del casco, correspondientes a la sección del área de flotación (donde corta el agua). Con los cortes verticales podemos ver la sección del arbotante mayor por donde transita una persona.

5. Diseño desarmable del modelo final

El modelo se diseña como un objeto desarmable con el objetivo de dar libertad de cambiar sus parámetros, tales como la altura de los arbotantes, el tamaño de los cascos laterales y el tamaño de las hidroalas.

Se hace lo más flexible posible, ya que en esta etapa del proyecto se deben probar distintas variables.

Los arbotantes están compuestos de distintas secciones o rebanadas horizontales, para variar su altura.

Los cascos laterales del casco superior se pueden sacar para ser cambiados por unos más o menos largos, o de otras geometrías

Las hidroalas poseen un orificio que calza con un alambre que cruza el bulbo transversalmente en proa y en popa. Este alambre es flexible por lo que puede doblarse levemente para formar un diedro.

Las alas tienen un margen de movimiento que permite que se pueda cambiar el ángulo de ataque.

Render del Modelo desarmado

Estas imágenes son del render del modelo, el cual se muestra particionado, mostrando todos sus componentes.

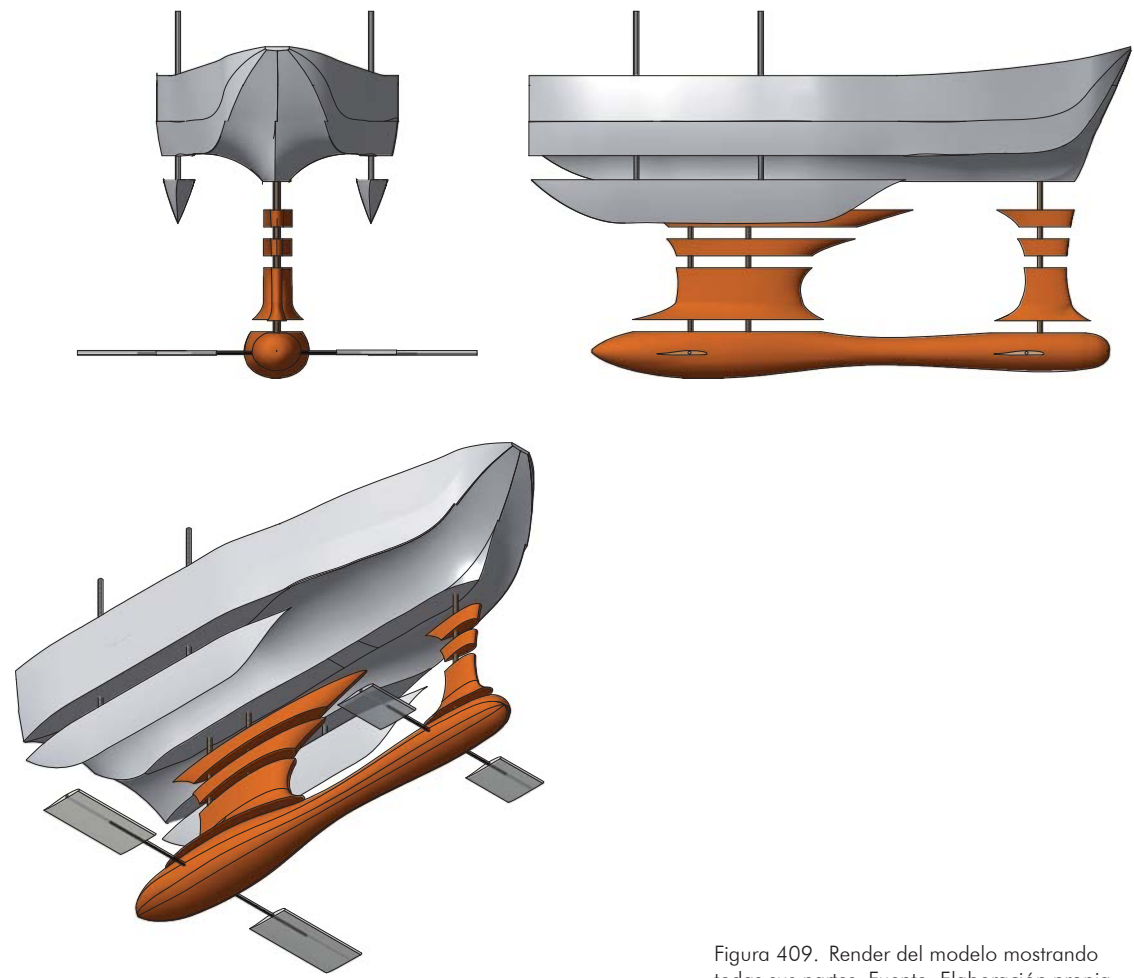


Figura 409. Render del modelo mostrando todas sus partes. Fuente: Elaboración propia

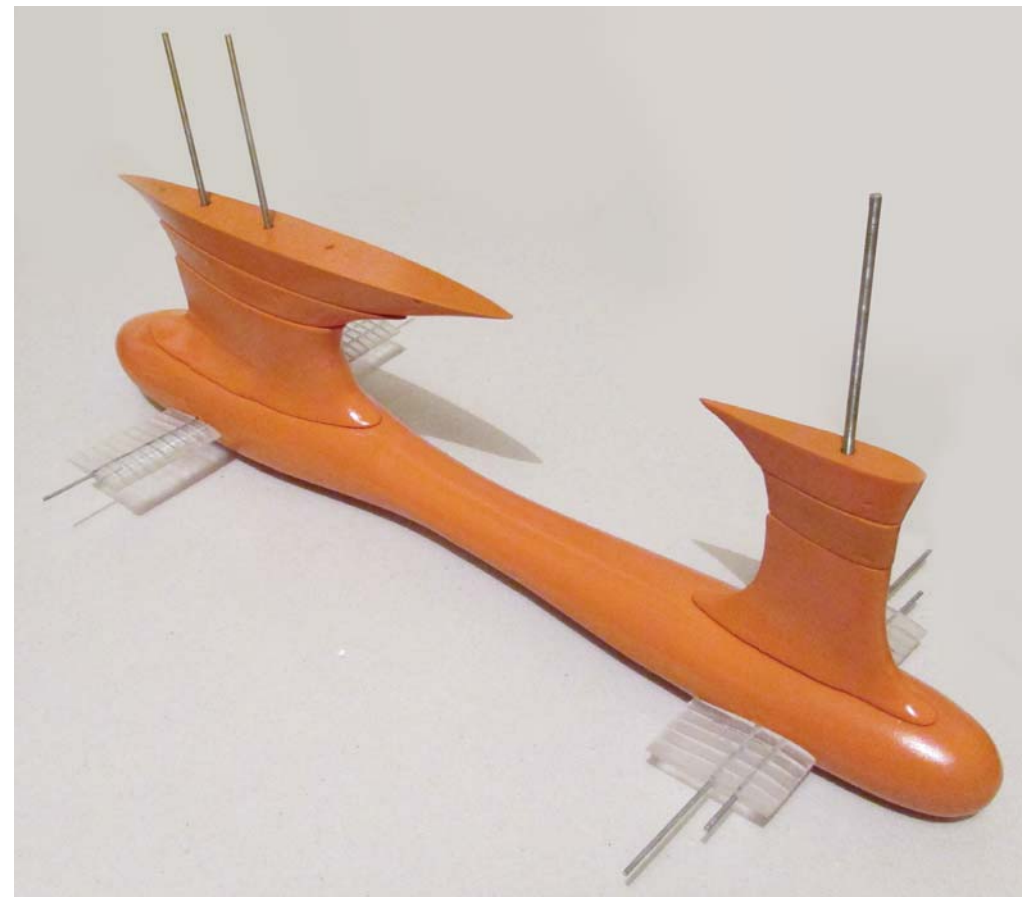
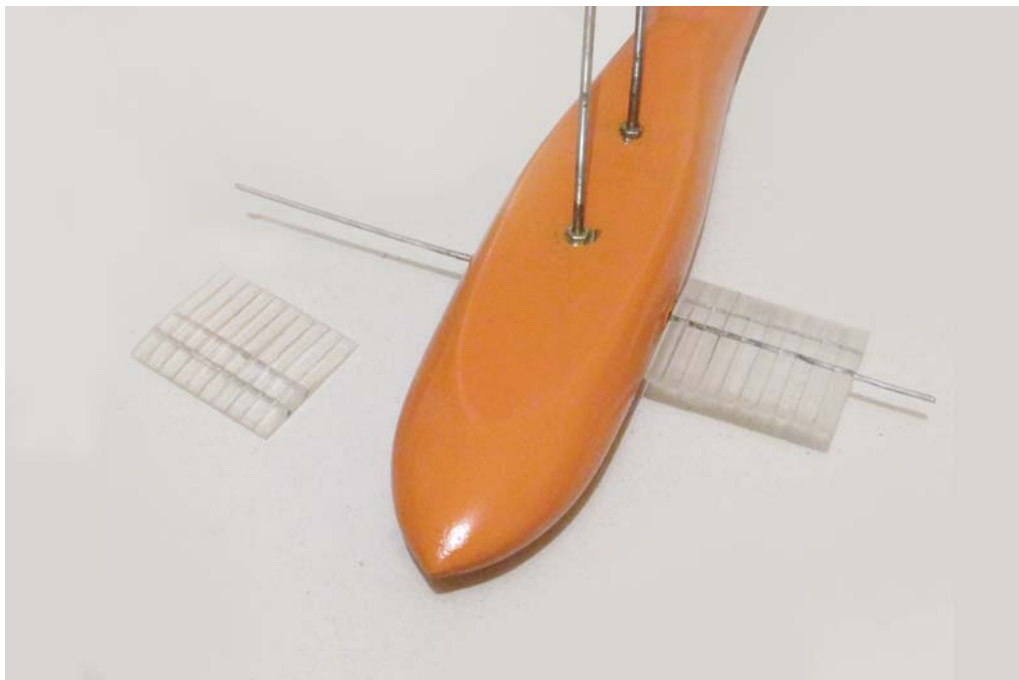
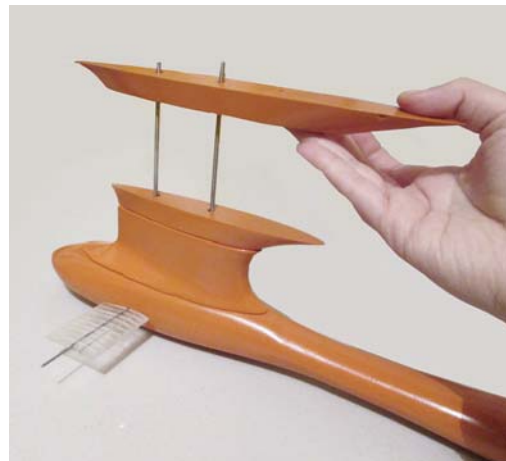
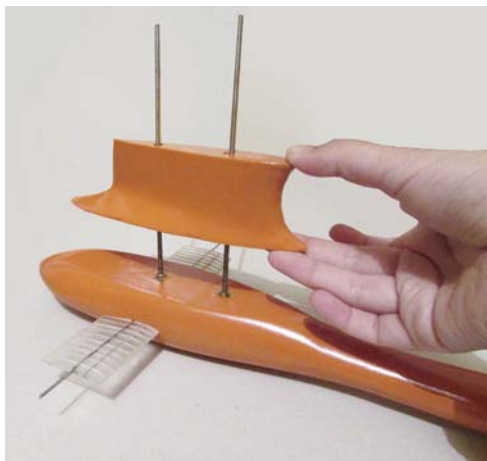


Figura 410. Imágenes del modelo, bulbo armándose por parte. Fuente: Propia

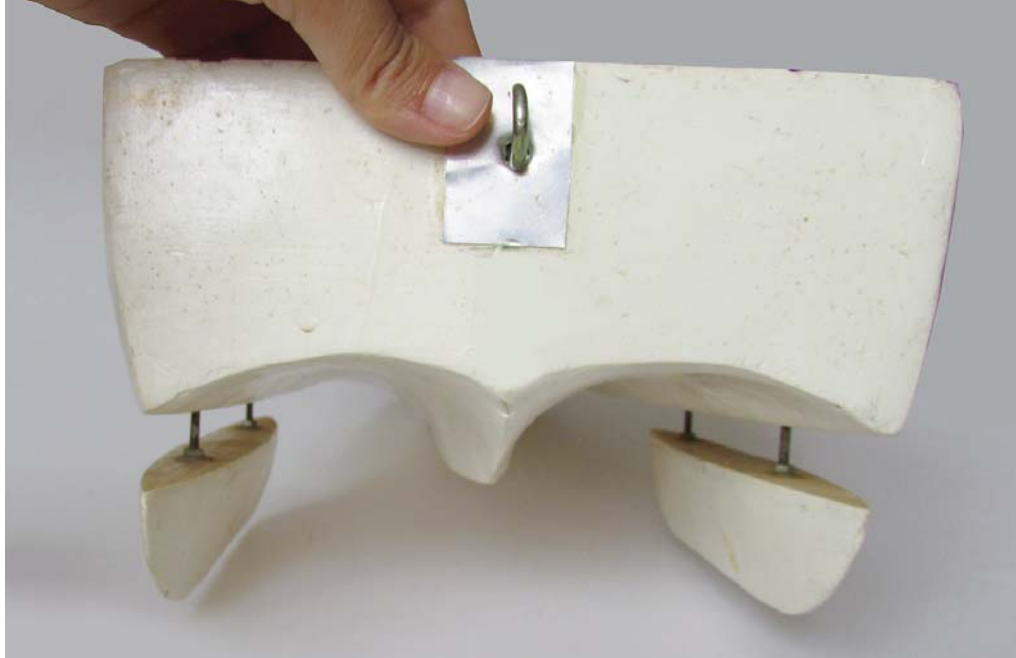


Figura 411. Imágenes del armado del casco superior y el bulbo del modelo.
Fuente: Propia

5. Construcción del Modelo Final

a) Construcción del bulbo sumergido

En esta sección se explica paso a paso el proceso de construcción del bulbo de la embarcación, en la máquina Router CNC (Control Numérico Computacional). Desde el modelado digital 3D en el software Inventor hasta el fresado en la Router CNC. Y luego el ensamble de las piezas y su acabado final.

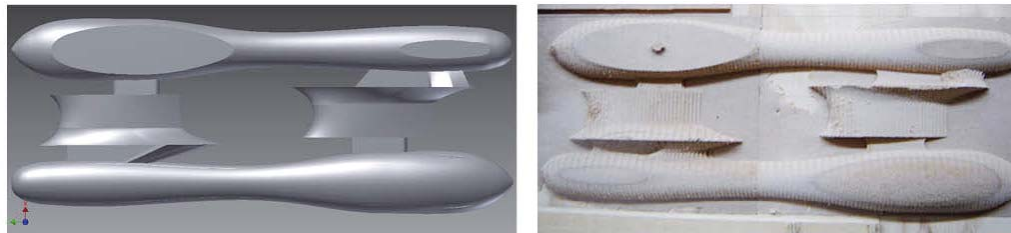


Figura 412. Imágenes de las piezas en el programa Autodesk Inventor y de las piezas ya fresadas en madera MDF. Fuente: Elaboración propia

El bulbo se fresa en madera MDF.

Bloque de MDF que se utiliza: Corresponde al volumen que ocupan el total de las piezas que se fresarán. De espesor 30 mm (máximo que puede desbastar la fresa)

Creación de archivos digitales en Inventor

Se divide las piezas del bulbo y los arbotantes, para que entren en un bloque de madera de 30 mm de espesor, ya que la fresa no desbasta más que esa profundidad.

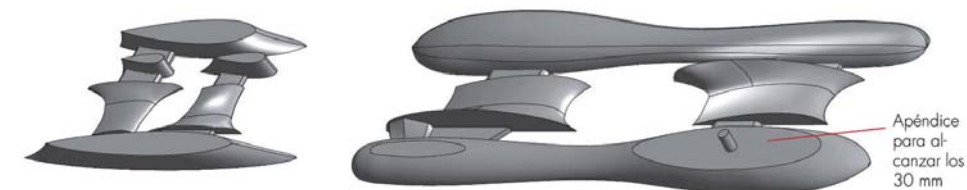


Figura 413. Piezas del bulbo y sus dos arbotantes divididas para que se puedan contener en un bloque de 30 mm de espesor. Además se les agrega un apéndice para alcanzar los 30 mm requeridos. Fuente: Elaboración propia

Además se le agregan al dibujo 3d digital, unos puentes entre las piezas para que no se suelten al momento de ser fresadas. Las piezas más grandes van fijadas a la base con tornillos, mientras que las más pequeñas sólo van unidas con estos puentes.

Por otro lado, la pieza de mayor espesor mide alrededor de 25 mm y el bloque de madera de MDF tiene 30 mm de espesor. Para que la fresa desbaste el bloque completo de 30 mm de espesor, lo que hay que hacer es darle a una de las piezas una altura de 30 mm, esto se puede hacer agregando un apéndice, que en este caso es de 5 mm. Este apéndice se le puede agregar a cualquier pieza para que alcance los 30 mm, después de ser fresada el total de la pieza, este apéndice es sustraído fácilmente.

En Inventor, se hace un ensamble con todas las piezas para crear un sólo archivo. Tal cual como el que se ve en la siguiente imagen, se genera el archivo STL.

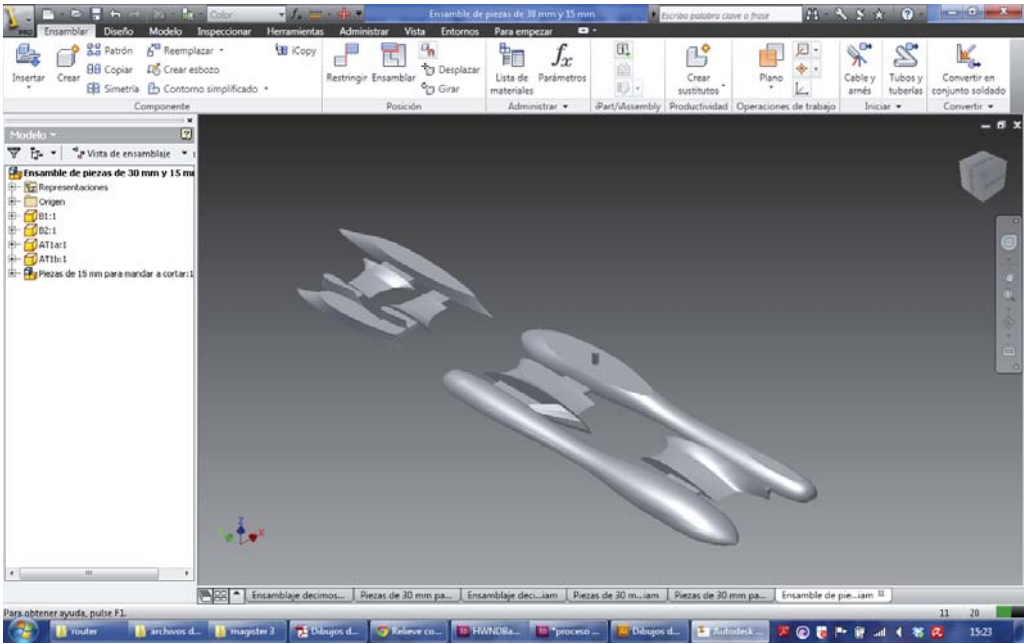


Figura 414. Se crea un archivo de ensamble en Inventor, donde se agregan todas las piezas.
Fuente: Elaboración propia

Para generar el archivo STL hay que “Guardar copia como” y seleccionar archivo STL. Está listo el archivo para pasarlo al programa VisualMill.

Tornillos para fijar el bloque y las piezas

Para evitar que el bloque se mueva mientras es desbastado, es necesario fijarlo a una base más grande que éste. Sin embargo, después de ser fresado, se necesitará que las piezas ya cortadas sigan fijas a la base. Por lo tanto se deben ubicar los tornillos en el bloque de MDF calculando la posición en que irán (siempre contenidos en las piezas). Procurando que la fresa jamás toque el tornillo, si no es así, se rompe. Esto se puede probar digitalmente en el archivo de ensamble de Inventor. Se simula la posición del tornillo y una vez que queda en el lugar exacto, se miden las coordenadas x e y de la posición del tornillo. Se acotan y luego eso se traspasa al bloque de MDF, luego se atornilla el bloque a la base a través de los tornillos ubicados en la posición exacta ya definida.

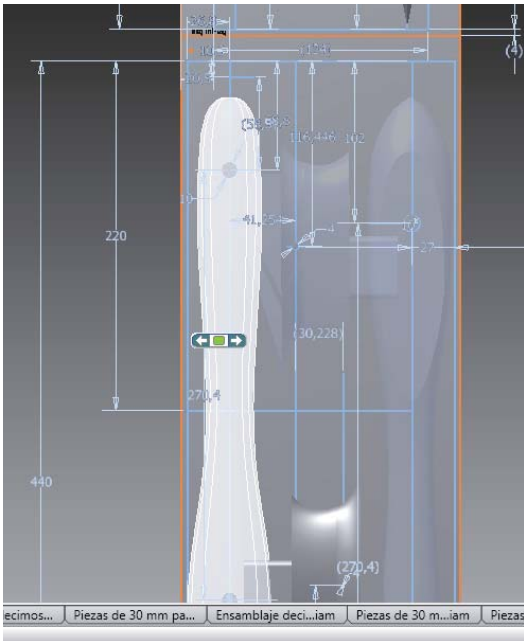


Figura 415. Se pueden ubicar los tornillos en el modelo digital, para verificar calce. Fuente: Elaboración propia

Se simula la posición del tornillos, el cual se puede ver desde las distintas vistas de la pieza en el programa Inventor, para asegurarse que la fresa nunca toque el tornillo.

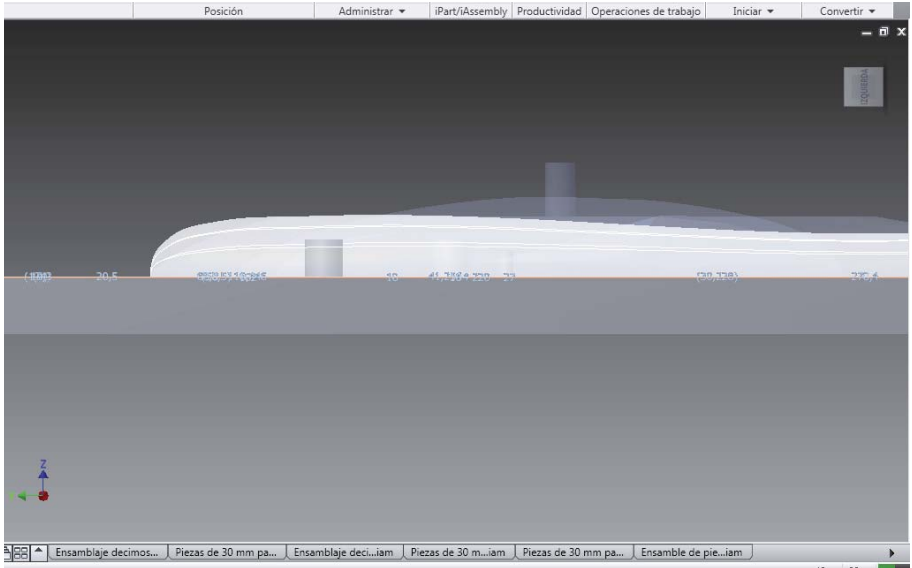


Figura 416. Detalle de la ubicación del tornillo dentro de la pieza.
Fuente: Elaboración propia

Se puede graficar digitalmente el bloque de MDF en el programa Inventor, para tener una noción general de los espacios que ocupan las piezas y la posición de los tornillos.

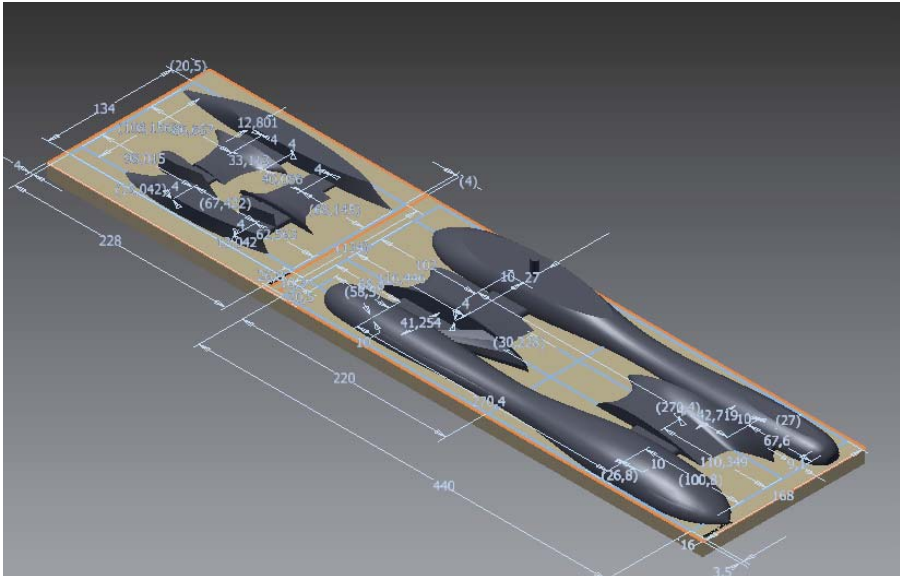


Figura 417. El ensamble se prueba en el bloque, para posteriormente ubicar bien los tornillos. Fuente: Elaboración propia

Se comienza a fresar en la Máquina Router

Se traspa el archivo desde el programa VisualMill (desde el computador) hacia la máquina a través de un “pen drive” especial.

En la máquina se selecciona el archivo, se define la velocidad de revolución (r.p.m) y la velocidad de avance (mms) de la fresa.

Se define el punto 0,0. Que corresponde al “South West”, osea esquina inferior izquierda, según como se configuró anteriormente y como se muestra en la siguiente imagen.

Luego se comienza el fresado. Primero el desbaste horizontal y luego el paralelo. El proceso en total duró 2 horas app.



Figura 418. Se ubica la fresa en el punto 0,0, a través del controlador de la Router.
Fuente: Elaboración propia

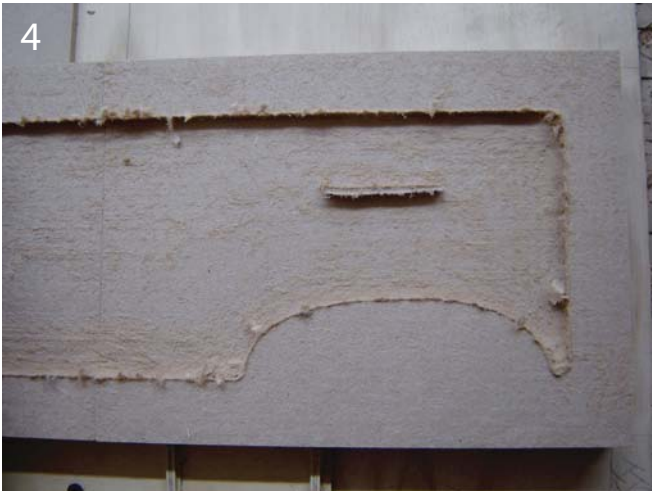
Secuencia de desbaste del bloque





Figura 419. Fotografías de la secuencia de desbaste del bloque.
Fuente: Elaboración propia

Secuencia de desbaste de un segmento del bloque



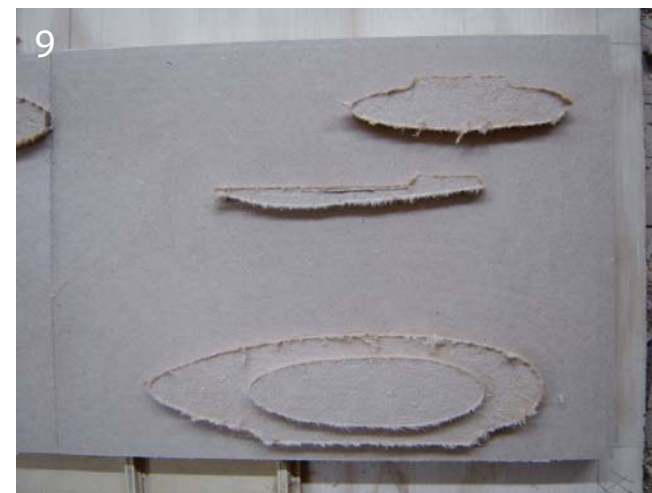


Figura 420. Se desbasta el bloque primero con el desbaste horizontal, formándose 5 capas o niveles escalonados, luego se hace un corte paralelo. Fuente: Elaboración propia

Desmontaje de las piezas y lijado

Este es el resultado después de haber sido cortado en la Router. Se puede observar que la superficie queda con líneas marcadas por el paso de la fresa.

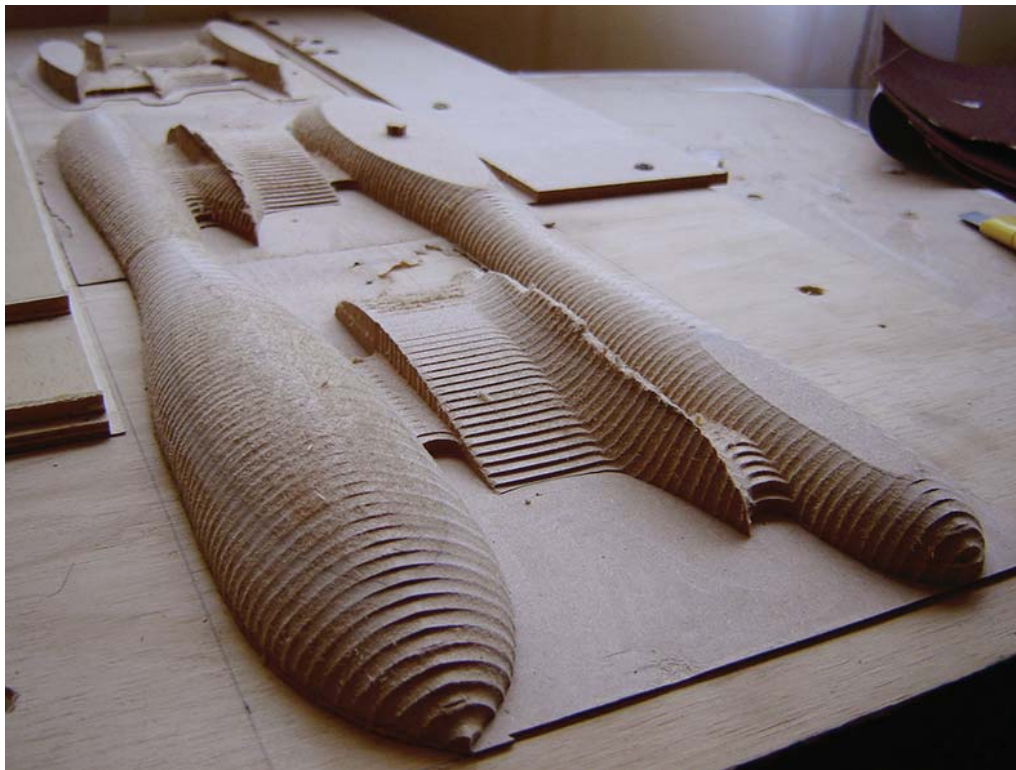


Figura 421. Fotografía de las piezas después de ser cortadas en la Router. Se ve la marca de las líneas.
Fuente: Elaboración propia

Se comienza a lijar la madera, desde una lija n° 80 o 100 hasta una más fina para remover barniz n° 240.

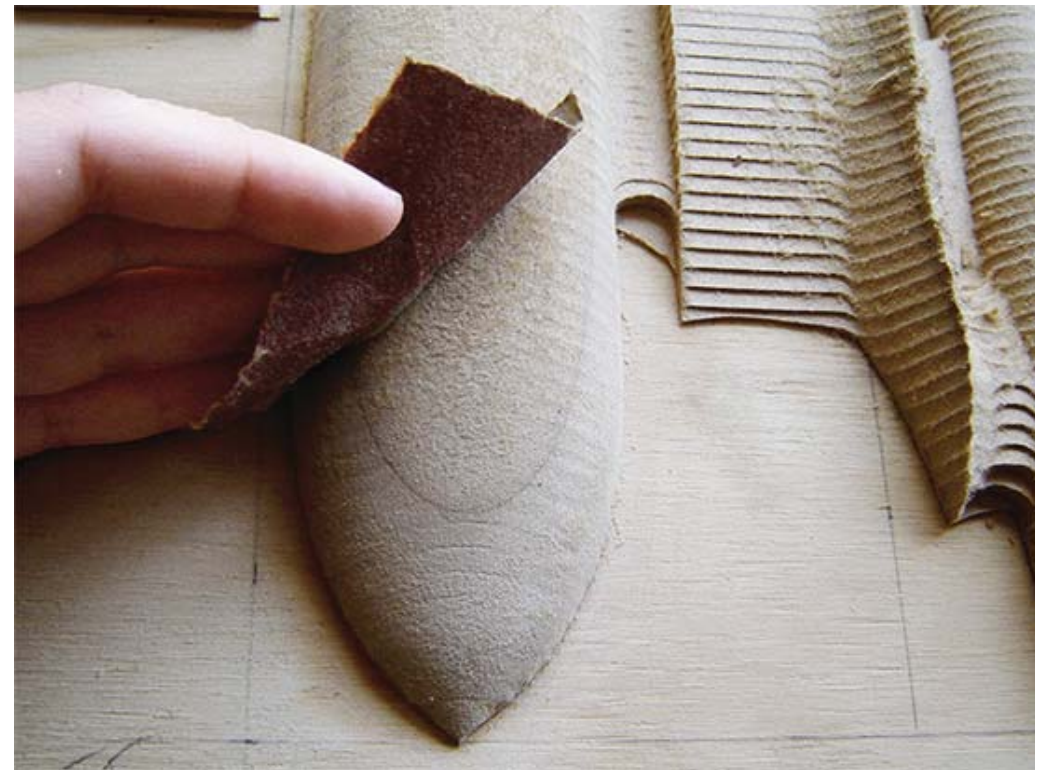


Figura 422. Fotografía del proceso de lijado de la madera.
Fuente: Elaboración propia

Una vez lijado todo, se demontan las piezas de la base a la cual estaban fijas inicialmente. Para eso se desatornillan las piezas se extraen los “puentes”.



Figura 423. Fotografía de las piezas lijadas y de la extracción de los puentes.
Fuente: Elaboración propia

Se separan las piezas y se ahuecan para disminuir el peso del bulbo, medida que, más adelante resultó no ser apropiada. Luego se le montan los pernos que unen el bulbo con los arbotantes. Estos se pegan con resina epóxica (marca Araldit).

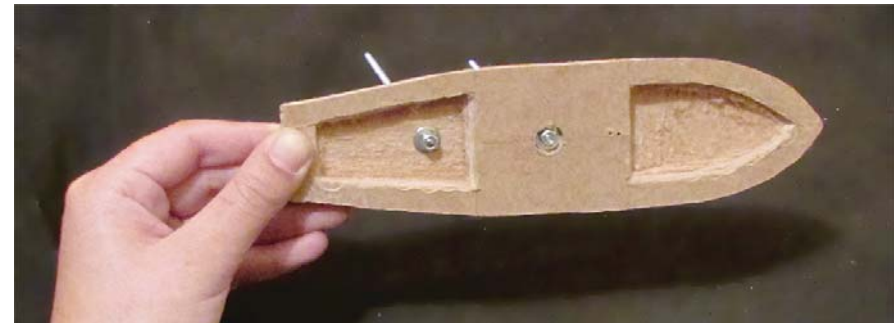


Figura 424. Fotografía de las piezas ahuecadas y luego, con los pernos adheridos.
Fuente: Elaboración propia

Se adhieren los alambres que serán los ejes de las hidroalas en la proa y en la popa. Es un sólo alambre que cruza el bulbo transversalmente.

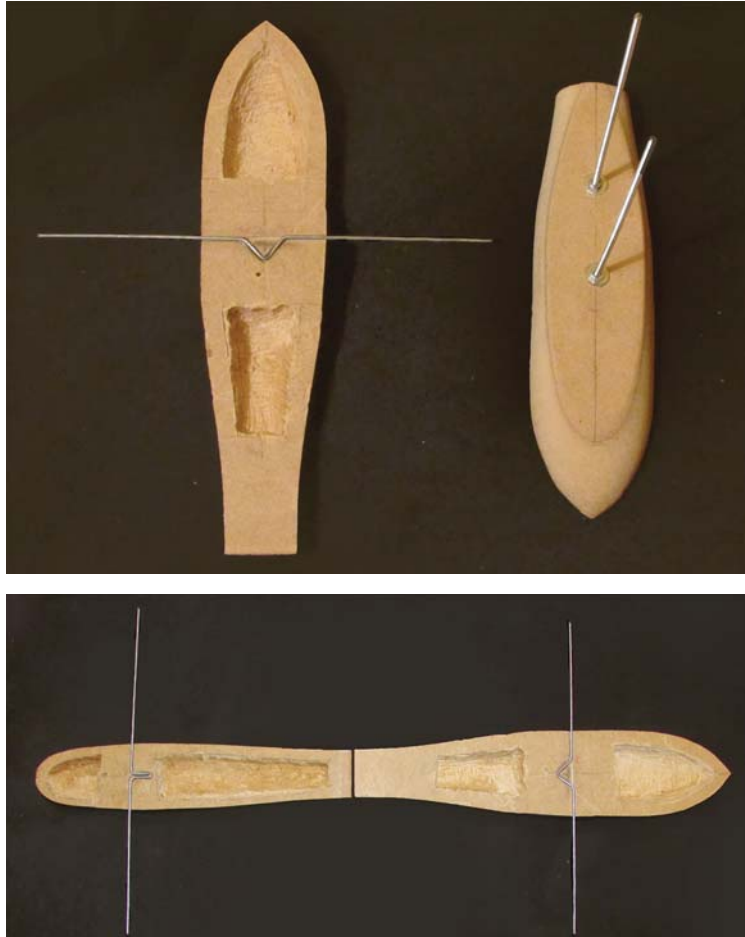


Figura 425. Fotografía de las piezas contrapuestas. Ambas con los pernos y alambre adheridos. Fuente: Elaboración propia

Se pegan las piezas del arbotante, también con resina, la cual no sólo pega, sino que sella cualquier tipo de orificio que pueda quedar en las uniones.

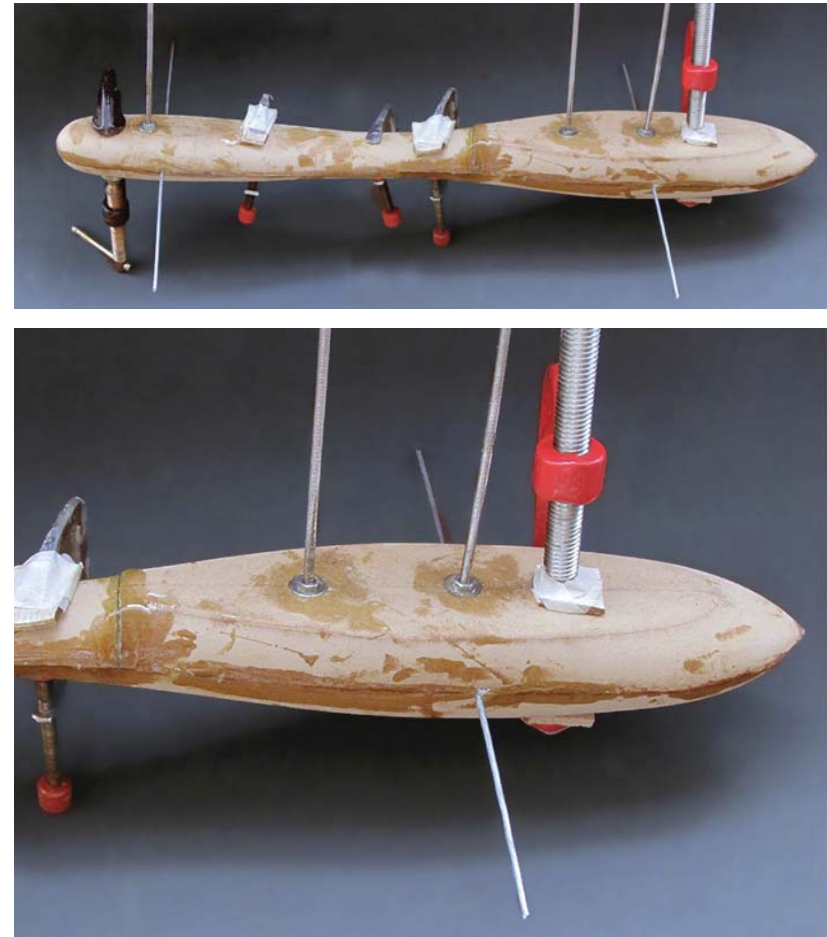


Figura 426. Se pegan las piezas del bulbo y se prensan firmemente. Fuente: Elaboración propia

Se pegan las piezas del arbotante, también con resina.

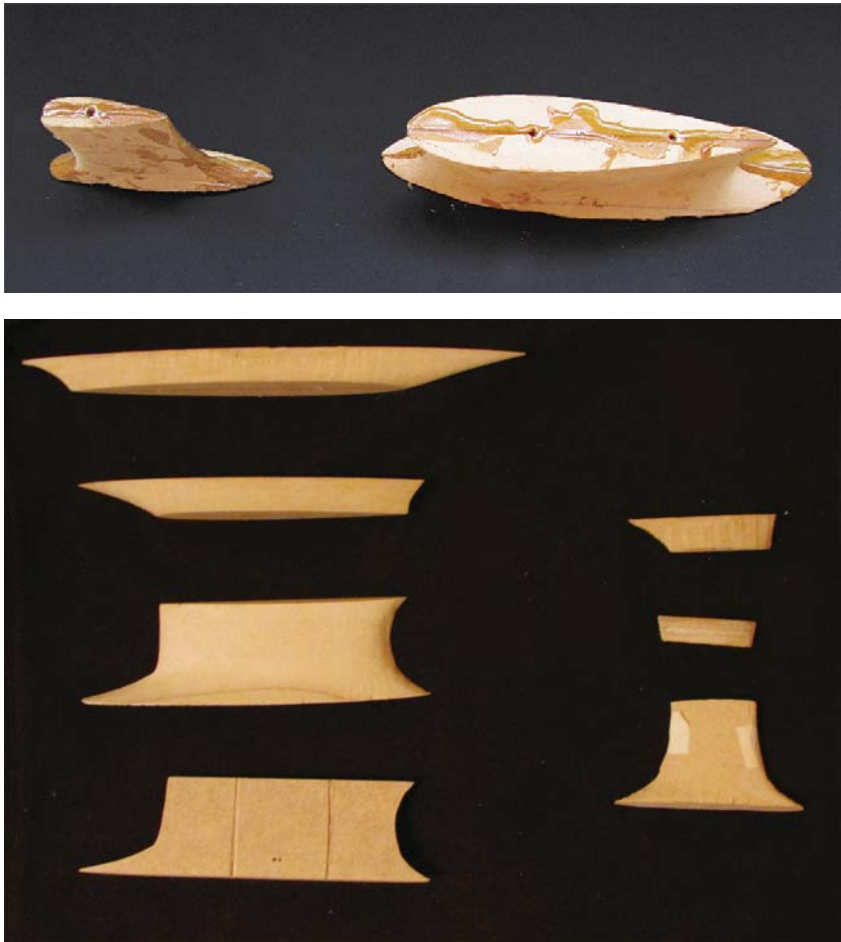


Figura 427. Piezas de los arbotantes pegados.
Fuente: Elaboración propia.

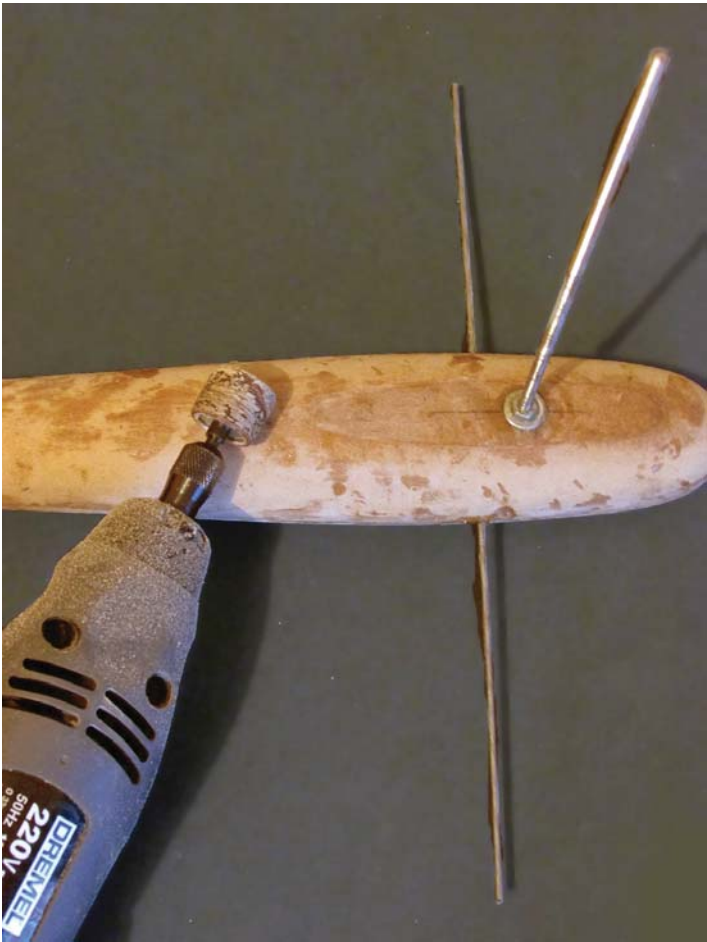


Figura 428. Se lija la superficie de madera con una multiherramienta.
Fuente: Elaboración propia.

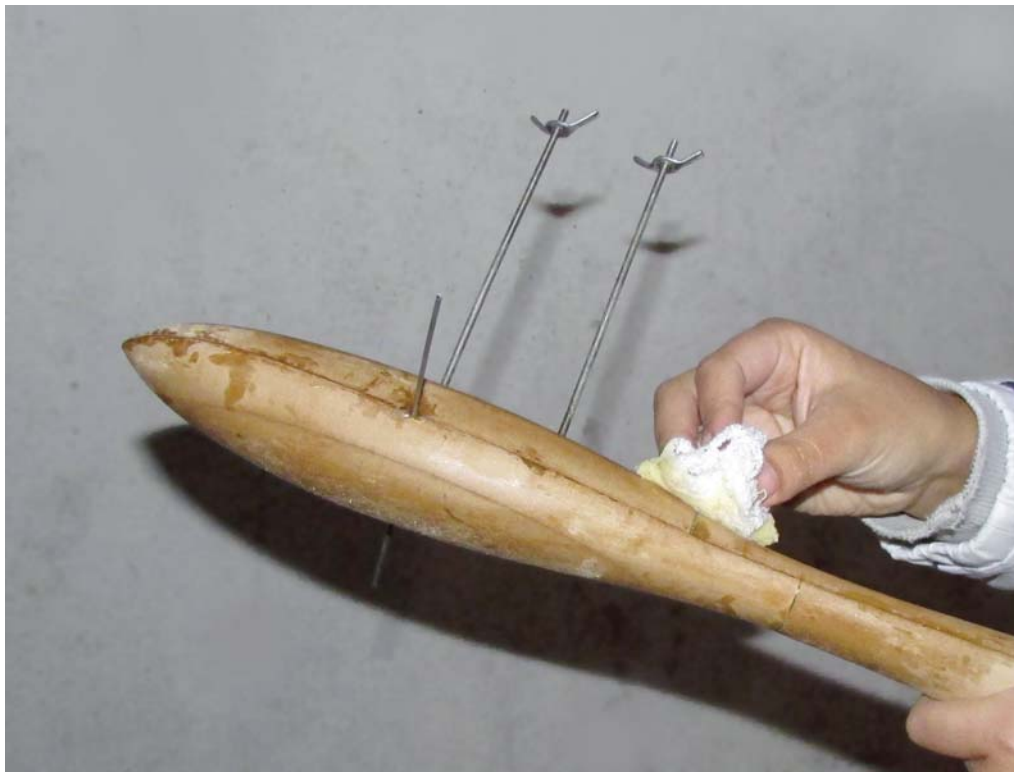


Figura 429. Una vez lijado, se procede a sellarlo. Una vez hecho esto, se vuelve a pulir con una lija muy fina. Esto se realiza unas cuatro veces, para que quede muy pulido. Luego se le puede dar una mano muy ligera de un barniz vitrificante en base a Poliuretano modificado, para que quede lo más suave posible. Fuente: Elaboración propia.

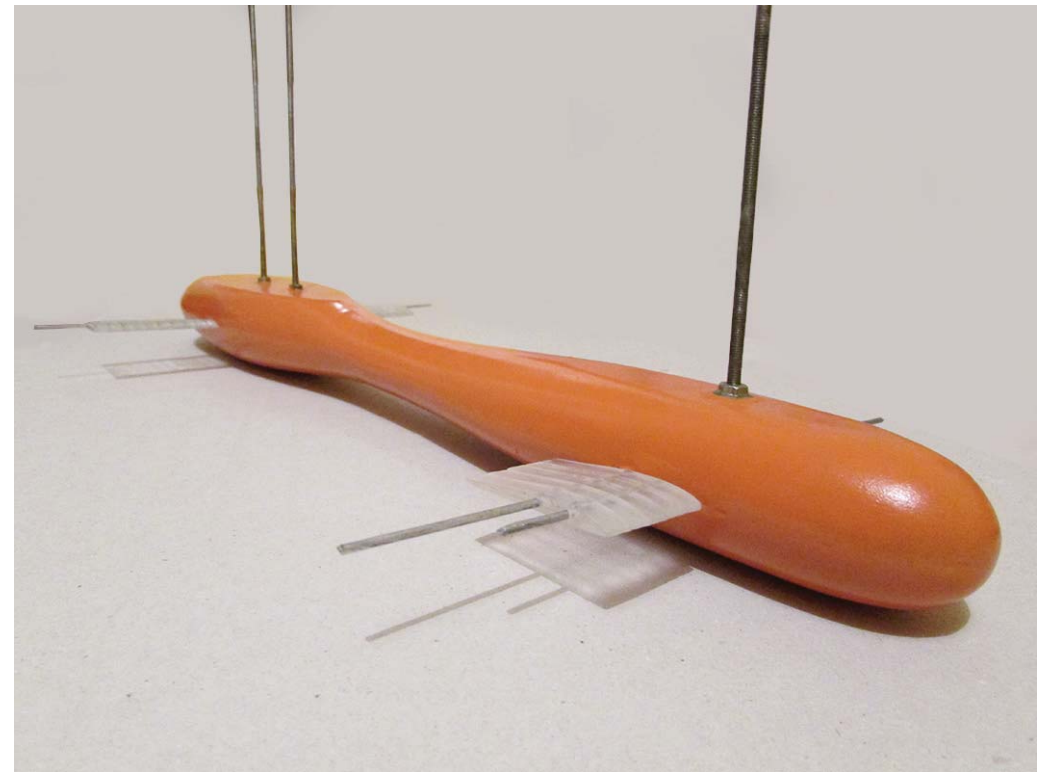


Figura 430. Fotografía del bulbo terminado, después de ser pintado con pintura en spray. Fuente: Elaboración propia.

b) Construcción del casco superior y cascos laterales

En esta sección se explica el proceso de construcción del casco superior y cascos laterales en la máquina Router CNC (Control Numérico Computacional). En este proceso se aplican los mismos pasos que en la construcción del bulbo, en cuanto a la preparación del archivo digital para cortarlo en la máquina CNC.

Creación de archivos digitales en Inventor

Primero se hacen los archivos digitales, las piezas que se muestran a continuación son las que se cortaron, éstas son dos vistas del ensamble hecho en el Software Autodesk Inventor.

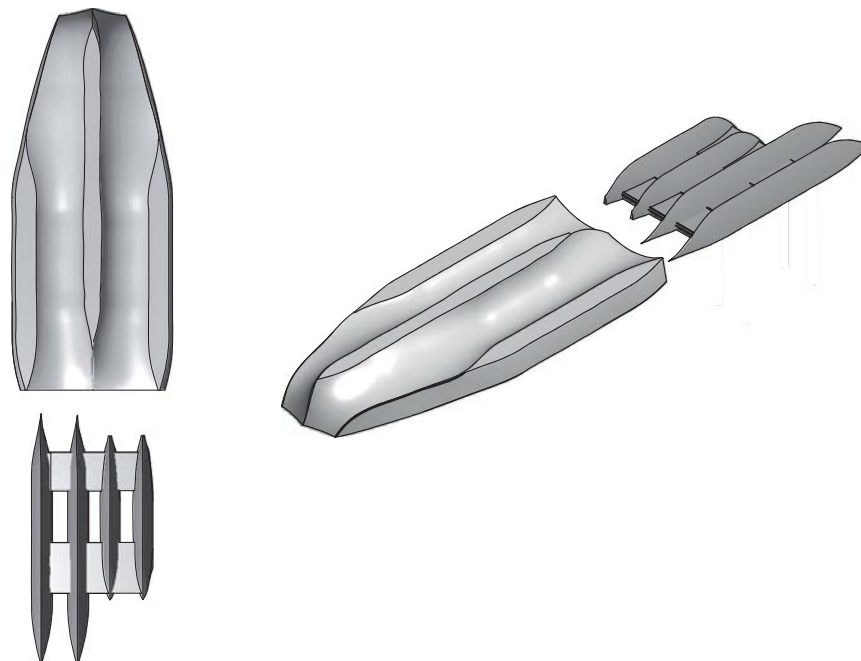


Figura 431. Vista superior e isométrica de las piezas digitales que se enviarán a cortar a la máquina Router. Fuente: Elaboración propia.

Se divide las piezas del casco, para que entren en un bloque de poliestireno expandido de alta densidad (plumavit) de 30 mm de espesor, ya que la fresa no desbasta más que esa profundidad. A diferencia de la construcción del bulbo, en este caso no es necesario atornillar la plumavit a una base, sino que basta con pegarla con colafría a una base, ya sea una madera o un cartón.



Figura 432. Fotografía del proceso de corte del bloque de plumavit en la Router CNC. Fuente: Elaboración propia.

Así queda la pieza del casco superior con sus dos cascos laterales. Esta pieza está pegada a una base de cartón. Se puede observar que la superficie queda marcada con la línea del paso de la fresa.

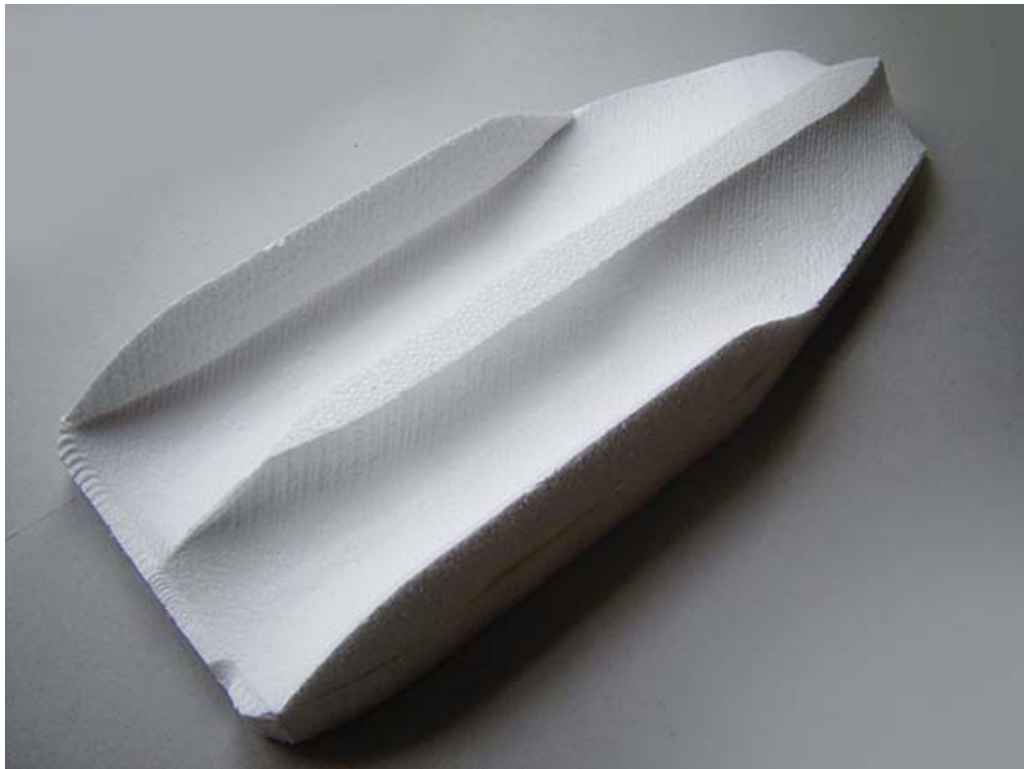


Figura 433. Fotografía del casco superior ya cortado por la Router CNC.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 434. Fotografía de detalle de la superficie del casco hecho de poliestireno expandido de alta densidad.
Fuente: Elaboración propia.

Se procede a desprender la pieza que está pegada a la base de cartón. También se debe lijar la superficie para que quede lo más pulida posible.

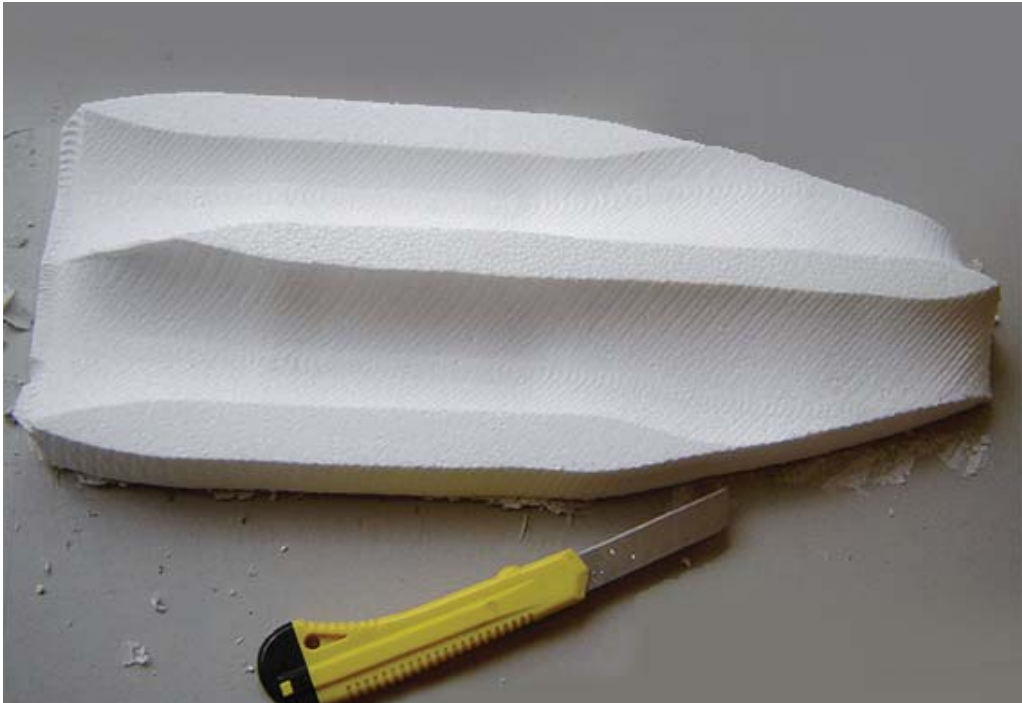


Figura 435. Se desprende la pieza del casco de la base de cartón, ayudándonos de un cuchillo cartonero. Fuente: Elaboración propia.

Una vez lijada la superficie, se empasta la superficie con pasta muro para exterior, ayudándonos con una espátula flexible. Con esta pasta se sella en parte el material y se alisa la superficie. Luego de aplicar un par de capas, se lija nuevamente. Hay que considerar que esta pasta aumenta notablemente el peso de la pieza. Luego de esta operación, hay que bañar la pieza de laca para madera (sin solvente).



Figura 436. Se empasta la pieza con pasta muro para exterior. Luego se baña en un par de capas de laca para madera sin solvente. Fuente: Elaboración propia.

El casco terminado queda bien pulido y sellado.



Figura 437. Fotografía de la pieza del casco terminado, pulido y sellado.
Fuente: Elaboración propia.

c) Construcción de las hidroalas

En esta sección se explica el proceso de construcción de las hidroalas de proa y popa. Este proceso se realiza con una máquina de corte láser CNC (Control Numérico Computacional). Una máquina que corta en base a las coordenadas x e y, es decir en 2D.

Para construir las hidroalas, se utiliza acrílico transparente de 5 mm de espesor. Las hidroalas corresponden a una forma extruida. Por lo que se decide construirla a partir de varias “rebanadas” iguales que se pegan entre sí. Unidas a través de dos ejes y reforzadas con pegamento “La Gotita” y Cloroformo líquido.

Creación de archivos digitales en Adobe Illustrator

Se traza bidimensionalmente el perfil alar elegido: Naca M5. Se le agregan dos círculos que serán los ejes que los une entre ellos. La cuerda del perfil mide 4 cm a escala del modelo.

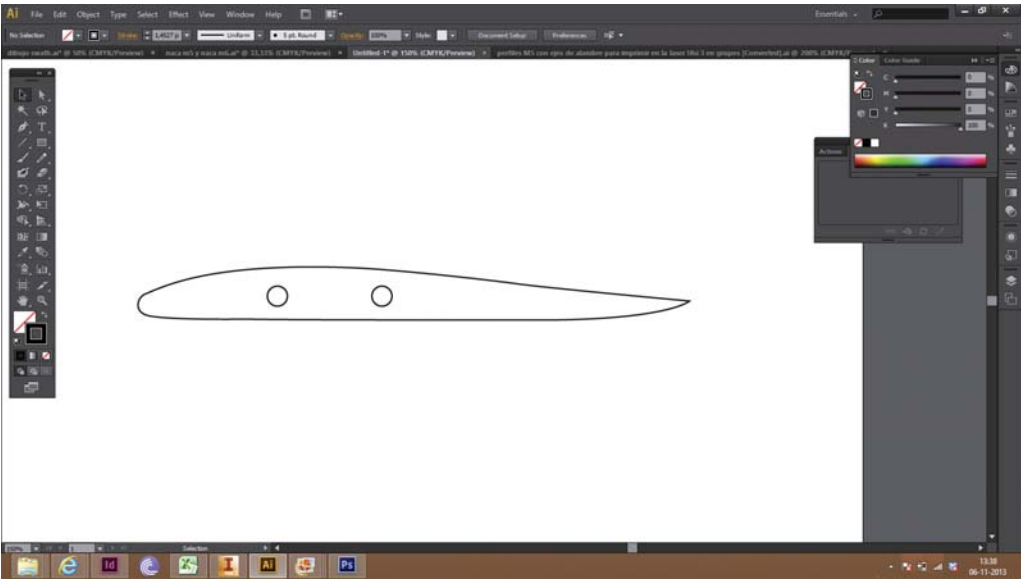


Figura 438. Pantallazo del proceso de trazado del perfil alar en el Software Adobe Illustrator.
Fuente: Elaboración propia.

Corte Láser de los perfiles alares

La máquina corta en dos dimensiones la figura que se ha trazado. El nivel de detalle es óptimo, excepto por una leve inclinación del rayo láser, que a veces no está perfectamente perpendicular al acrílico, esto hace que el perfil esté inclinado. Es un detalle que se debe considerar, pero no influye en el buen acabado.



Figura 439. Proceso de corte de los perfiles alares en la máquina láser CNC.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 440. Imagen del perfil ya cortado en la máquina láser.
Fuente: Propia.



Figura 441. Imagen del perfil y sus dos orificios para incrustar los alambres.
Fuente: Propia.

Ensamble de las piezas de las hidroalas

Una vez cortadas las piezas en la máquina láser, se comienzan a montar una arriba de la otra y a ensamblarlas con un alambre. Las alas poseen dos orificios. En uno va un alambre que une las piezas, por lo que va adherido al ala. En el otro orificio irá ensamblado el alambre del bulbo. Este alambre no se pega, pues funciona como eje de giro para variar el ángulo de ataque de la hidroala.

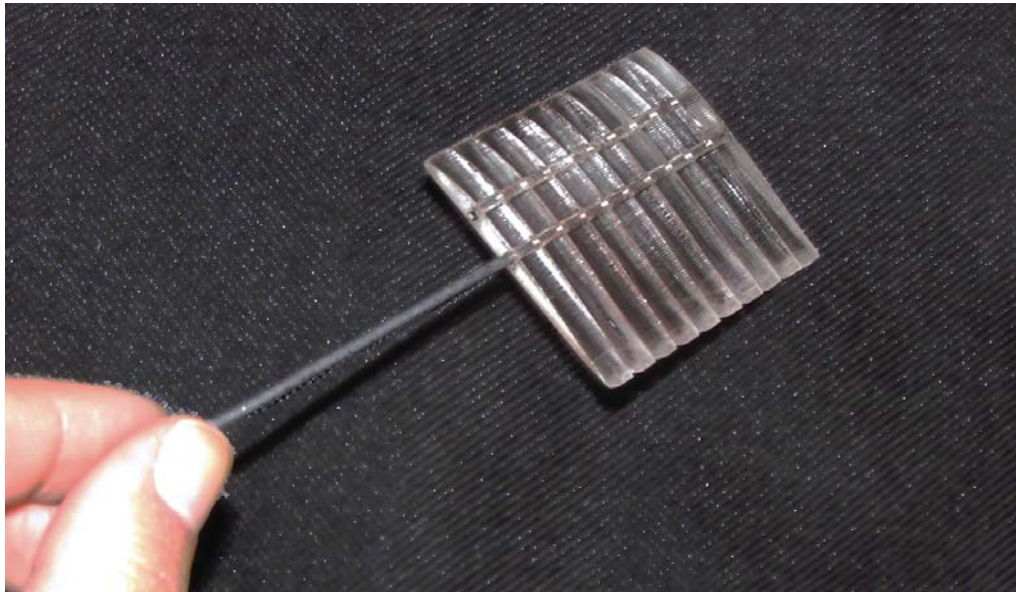


Figura 442. Imagen del armado de la hidroala a partir de varias piezas de acrílico cortadas en la máquina de corte láser. Fuente: Elaboración propia.

A la hora de ensamblar y pegar conviene poner un segundo alambre en el otro orificio para mantener las piezas perfectamente alineadas. Luego se puede limar el ala con una lima para metal, para que quede pulida.

Se puede pegar con cloroformo o con gotita.

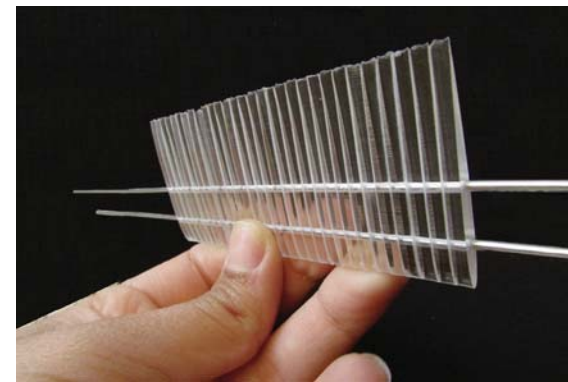


Figura 443. Imagen del ensamble de las alas. Fuente: Elaboración propia.

Las alas luego se ensamblan al alambre que está incrustado en el bulbo.

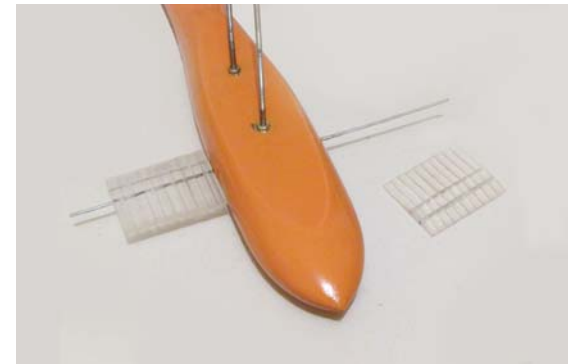


Figura 444. Imagen del ensamble de las alas al bulbo. Fuente: Elaboración propia.

6. Cálculo de superficie alar de las hidroalas

Para calcular la superficie alar de las hidroalas, se calculan los pesos del modelo. Los pesos del modelo son una aproximación de los pesos reales escalados, pero no corresponden fielmente a la realidad del prototipo, porque en esta etapa de experimentación aún se está probando con la estabilidad estática de la nave.

El modelo construido pesa: 893,2 gr: 57,15 t.

Peso de popa: 634,586 gr

Peso de proa: 258,06 gr

Pero hay que recordar que las alas no deben sustentar el 100% del peso de la embarcación, pues el bulbo aporta alrededor del 80% de la sustentación gracias a la boyantez que se ejerce por su volumen.

Entonces hay que descontar la fuerza de boyantez del bulbo más su arbotantes, al peso de proa y al peso de popa.

Fuerza que deben ejercer las alas de popa = peso de la popa MENOS boyantez del bulbo en la popa
Fuerza que deben ejercer las alas de proa = peso de la proa MENOS boyantez del bulbo en la proa

Se calcula la boyantez del bulbo, gracias al Software Autodesk Inventor, que nos entrega el volumen del cuerpo y al saber la densidad del agua, entonces sabemos la fuerza de boyantez del bulbo en la proa y en la popa.

La boyantez del bulbo y sus arbotantes es de 663 gr.

Boyantez del bulbo y sus arbotantes en la popa: 483,99 gr

Boyantez del bulbo y sus arbotantes en la proa: 179,01 gr

Entonces:

Peso que deben ejercer las alas de popa = 634,586 gr - 483,99 gr = 150,596 gr

Peso que deben ejercer las alas de proa = 258,06 gr - 179,01 gr = 79,05 gr

Luego, se escala esta fuerza al prototipo. La escala es 1:40. Se sigue la fórmula que se explica en la página 253 para escalar dinámicamente el peso.

Popa:

$$P_p = P_m \times \text{esc}^3$$

$$P_p = 150,596 \text{ gr} \times 40^3$$

$$P_p = 9638,144 \text{ kg} = 9,6 \text{ t}$$

Proa:

$$P_p = P_m \times \text{esc}^3$$

$$P_p = 79,05 \text{ gr} \times 40^3$$

$$P_p = 5059,2 \text{ kg} = 5,05 \text{ t}$$

Ahora que ya sabemos la fuerza de sustentación que deben ejercer las alas en la popa y el proa, tenemos que saber qué superficie alar se necesita, para cierta velocidad y cierto ángulo de ataque. Para eso utilizamos la fórmula de sustentación explicada en la página 216 el fundamento técnico de esta tesis.

$$L = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * S * Cl$$

Donde:

L: Sustentación [Kg]

ρ : Densidad del agua [Kg/m³]

V: Velocidad de la nave [m/s] (Se define en base a casos referenciales.)

S: Superficie alar [m²]

Cl: Coeficiente de sustentación [Sin unidades]. (Lo obtenemos del gráfico de la figura 264 de esta tesis, que corresponde al diagrama polar del perfil Naca M5, el cual se utilizará en este modelo. Se define que el perfil tendrá un ángulo de ataque de 8° app.)

Reemplazamos los datos:

Superficie alar en popa:

$$L = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * S * Cl$$

$$9638,144 \text{ kg} = \frac{1}{2} * (4,12 \text{ m/s})^2 * S * 0,87$$

$$S = 9638,144 \text{ kg} / 7383,864$$

$$S = 1,30 \text{ m}^2$$

Y como,

$$S = \text{cuerda} \times \text{envergadura}$$

Si consideramos la cuerda de 1,6 m en el prototipo (4 cm en el modelo), entonces:

$$1,30 \text{ m}^2 = 1,6 \text{ m} \times \text{envergadura}$$

$$\text{envergadura} = 0,8125 \text{ m} = 81 \text{ cm}.$$

Por lo tanto, las medidas del perfil alar de popa son:

$$\text{Prototipo} = 1,6 \text{ m} \times 0,8125 \text{ m}.$$

$$\text{Modelo} = 4 \text{ cm} \times 2,03 \text{ cm}.$$

Superficie alar en proa:

$$L = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * S * Cl$$

$$5059,2 \text{ kg} = \frac{1}{2} * (4,12 \text{ m/s})^2 * S * 0,87$$

$$S = 5059,2 \text{ kg} / 7383,864$$

$$S = 0,685 \text{ m}^2$$

Y como,

$$S = \text{cuerda} \times \text{envergadura}$$

Si consideramos la cuerda de 1,6 m en el prototipo (4 cm en el modelo), entonces:

$$0,685 \text{ m}^2 = 1,6 \text{ m} \times \text{envergadura}$$

$$\text{envergadura} = 0,428 \text{ m} = 42,8 \text{ cm}.$$

Por lo tanto las medidas del perfil alar de popa son:

$$\text{Prototipo} = 1,6 \text{ m} \times 0,428 \text{ m}.$$

$$\text{Modelo} = 4 \text{ cm} \times 1,07 \text{ cm}.$$

La cuerda del perfil se decide que sea de 4 cm en el modelo, porque es la medida mínima para que pueda ser construido con la tecnología que se dispone. La envergadura puede variar dependiendo de los requerimientos.

A medida que se fueron haciendo las pruebas, la superficie alar se fue aumentando, ya que el peso también se fue incrementando.

7. Modelo realizado

Datos del Modelo:

Escala: 1: 40

Eslora: cm

Manga:

Puntal:

Peso del casco superior: 349 gr / 22,3 ton

Peso de arbotantes y bulbo: 445 gr / 28 ton

Peso total: 794 gr / 50,3 ton

Boyantez que aporta el bulbo y arbotantes: 663 gr / 42,4 ton = 83,5% del peso total

Boyantez que aportan los cascos laterales: 131 gr/ 8,7 ton = 16,5 % del peso total

Modelo digital:

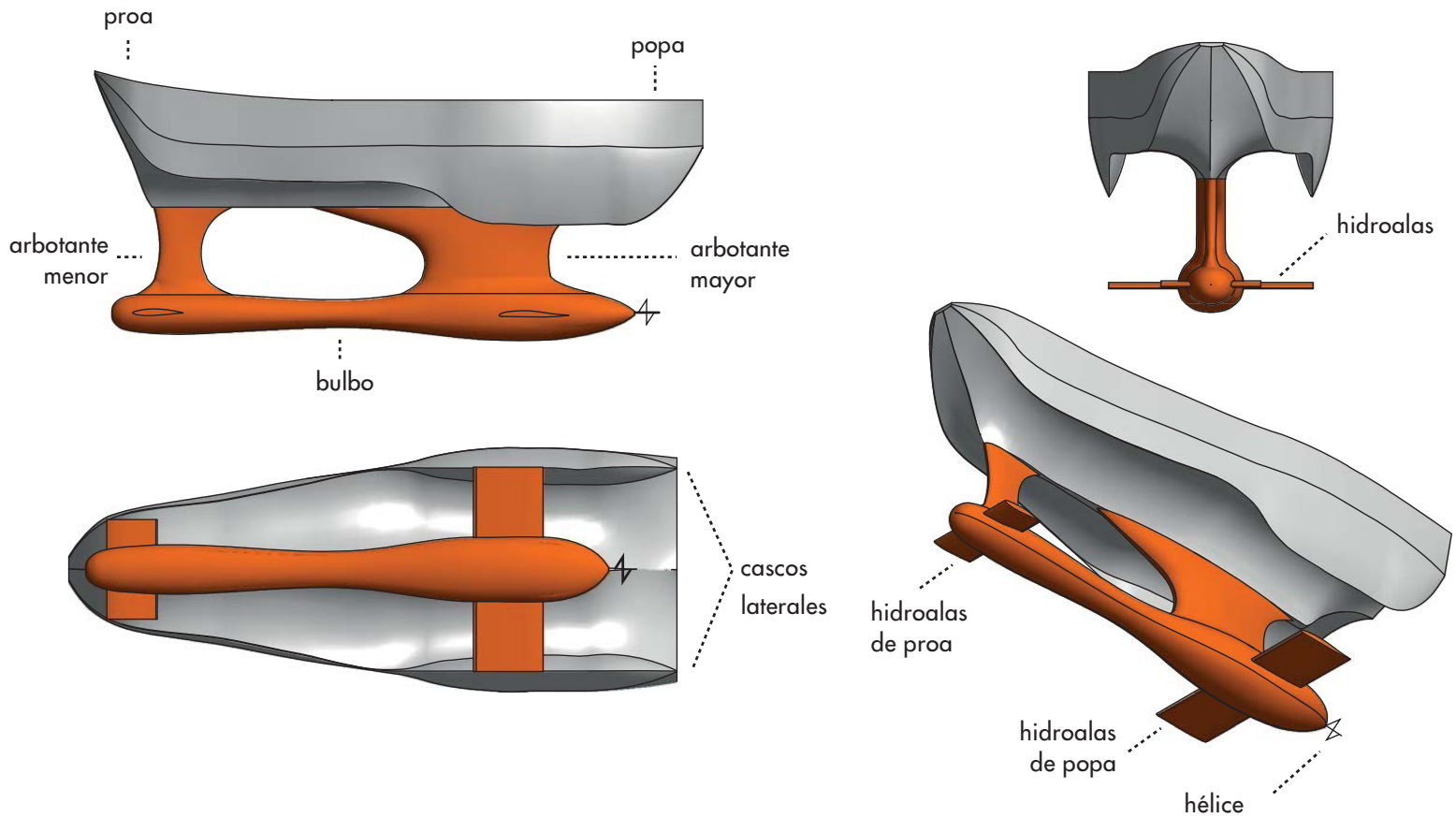


Figura 445. Imagen del modelo digital de la embarcación y sus partes.
Fuente: Elaboración propia.

Modelo construido:

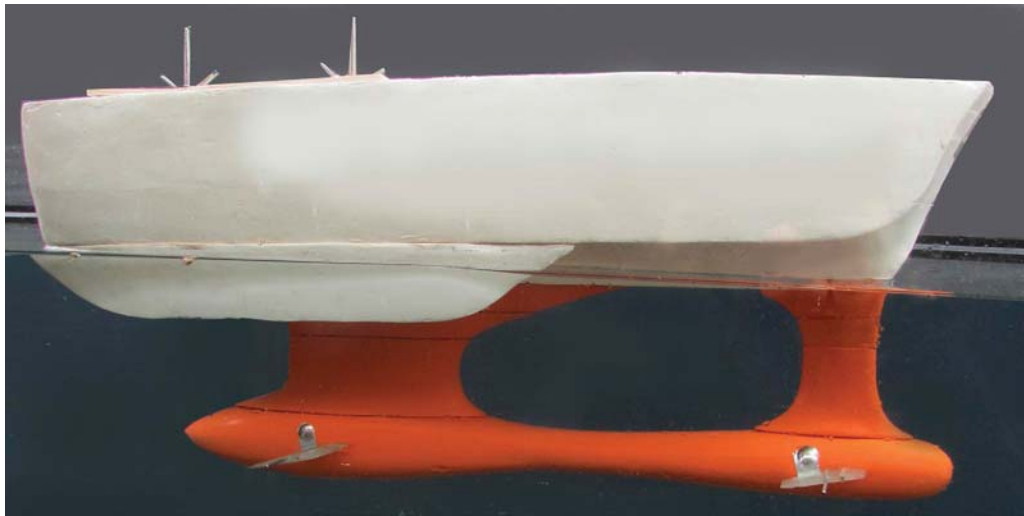


Figura 446. Imagen del modelo digital de la embarcación y sus partes.
Fuente: Elaboración propia.

D. Pruebas iniciales en el “Canal de arrastre”

1. Pruebas de los primeros modelos en canal de arrastre

a) Pruebas de arrastre del Trimarán de cascos gruesos (16.11.2012)

El modelo modificable

Este modelo se realiza de tal manera que sea posible modificar geométricamente, para variar y probar las distintas posiciones de sus cascos. Es por esto que los cascos se ensamblan con una base de madera que tiene orificios que calzan con los pernos que poseen cada uno de los cascos. Este modelo pesa 3,5 kg.

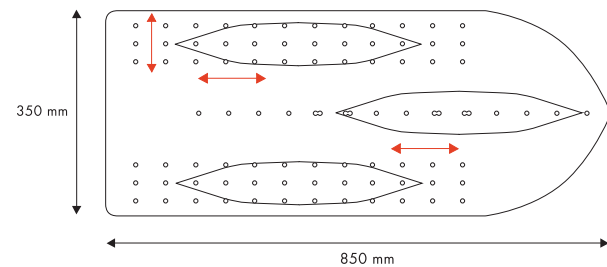


Figura 447. Esquema del sistema de montaje del modelo, para poder mover sus cascos. Fuente: Elaboración propia.

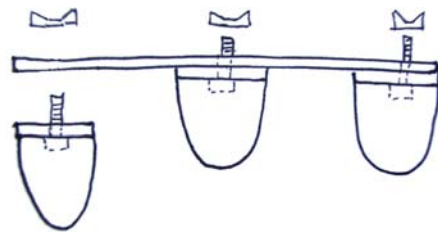


Figura 448. Vista transversal del sistema de montaje del modelo. Fuente: Elaboración propia.

La prueba consiste en arrastrarlo a través del agua y ver su comportamiento. El funcionamiento del canal de arrastre se explica en el capítulo “Metodología” de la tesis.

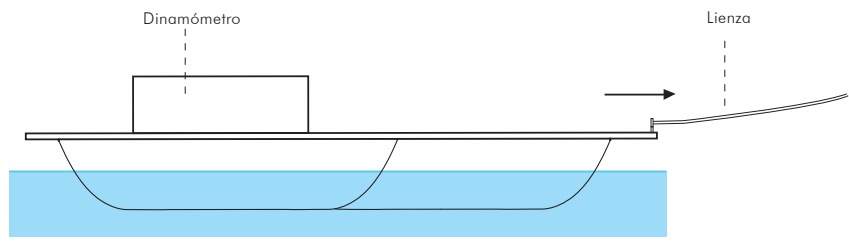


Figura 449. Esquema del modelo con dinamómetro. Fuente: Elaboración propia.

Las pruebas

Se realizaron tres arrastres: en el primero y el segundo, con un contrapeso en el sistema de poleas de 20 kg, y el tercero con 25 kg. En las tres se probó la siguiente configuración de los cascos.

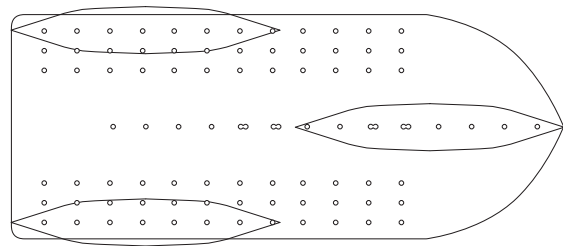


Figura 450. Configuración de los cascos que se usó para las pruebas. Fuente: Elaboración propia.

Resultados de las pruebas

El sistema electrónico de captación de señal del dinamómetro no funcionó en ninguna de las pruebas, por lo que se hizo un análisis cualitativo, centrándonos en el comportamiento del flujo. Las observaciones son las siguientes:

Formación de olas

A través de la observación durante las pruebas y en los videos, se pudo observar la formación de olas producidas por los cascos. Las imágenes y dibujos lo describen.



Figura 451. Fotografía del modelo siendo arrastrado. Se observa la ola en el lado exterior del casco lateral.



Figura 452. Fotografía del modelo siendo arrastrado. Se puede observar la estela que deja.

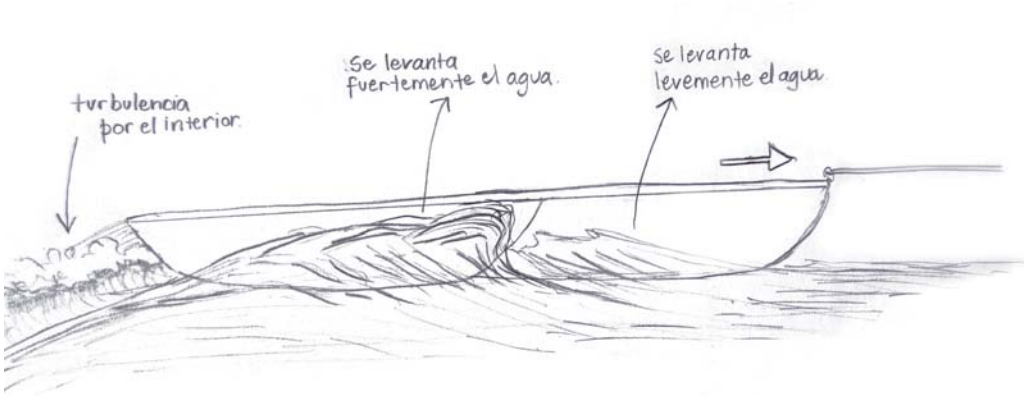


Figura 453. Dibujo del comportamiento del agua mientras el modelo es arrastrado.
Fuente: Elaboración propia

Se produce una ola por la parte exterior de los cascos laterales y también se produce una más pequeña por el exterior del casco central. Sin embargo es mayor en los laterales. Esto se produce posiblemente porque el barco tiende a apoparse, por lo tanto el casco lateral queda más sumergido. Además, toda el agua que desplaza el casco de proa, tiende a desplazarse hacia los costados exteriores, llegando directamente a los cascos laterales.

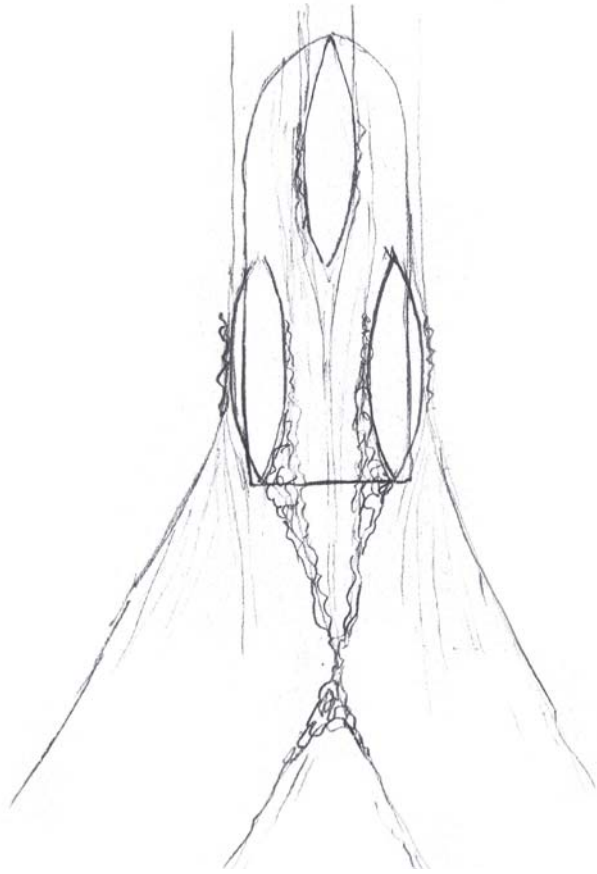


Figura 454. Dibujo de la estela que deja la embarcación y las turbulencias del agua que se generan. Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar la estela y las turbulencias, sobre todo estas últimas, que se producen levemente en la parte exterior de cada uno de los cascos (más en los laterales), y fundamentalmente en la zona interior de ambos cascos laterales. Se genera por el encuentro de las dos estelas interiores de los cascos laterales. En este punto de encuentro es donde también se eleva el agua, produciendo una ola.

b) Pruebas de arrastre del Hyswas primero (29.11.2012)

Este modelo también es modificable. Se puede variar longitudinal y transversalmente sus cascos laterales y el bulbo puede variar longitudinalmente y en el eje z.

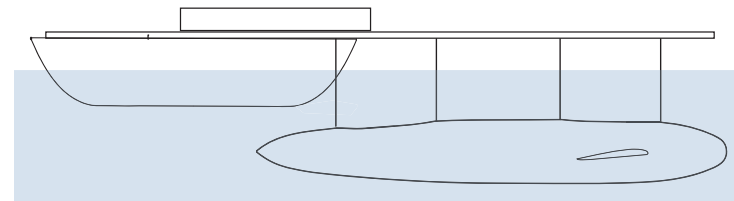


Figura 455. Esquema del modelo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 456. Fotografía del modelo detenido. Se observa que el nivel del agua se encuentra en los arbotantes. Fuente: Elaboración propia.

Las pruebas

Se realizan pruebas de arrastre sin el sistemas de pesos y poleas. Se jala manualmente el modelo, con la ayuda de una rueda que enrolla y desenrolla la lienza.

Se prueban dos configuraciones:

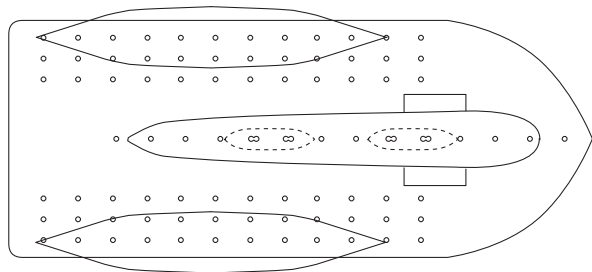


Figura 457. Configuración primera del modelo.
Fuente: Elaboración propia.

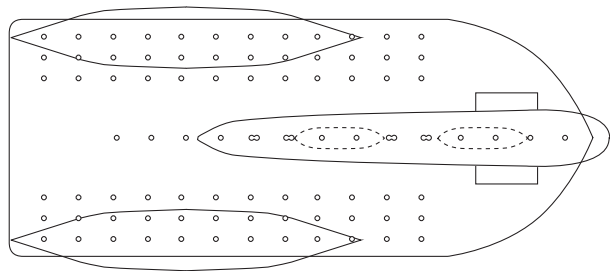


Figura 458. Configuración segunda del modelo.
Fuente: Elaboración propia.

Se analiza cualitativamente los resultados.

Prueba 1

Se prueba la configuración primera (Fig. 457)

Con su peso original y luego agregándole 1,8 kg.

Resultado Prueba 1

Se comporta bastante inestable estáticamente e hidrodinámicamente. Principalmente en cuanto a su estabilidad longitudinal. Tiende a cabecear. Transversalmente es estable. Durante la navegación, la proa tiende a levantar, posiblemente a causa de las hidroalas que posee en proa.

Luego se le agrega 1,8 kg en la zona de la cubierta, con el objetivo de que no se levante tanto durante la navegación. El resultado fue que el modelo se volcó, hundiéndose en la proa, perdiendo totalmente la estabilidad longitudinal.



Figura 459. Imágenes del modelo volcándose.
Fuente: Elaboración propia.

Prueba 2

Se prueba la configuración segunda (Fig. 458)

Con su peso original y luego agregándole 1,8 kg.

Resultado Prueba 2

En la configuración segunda, los dos cascos laterales se separan longitudinalmente con respecto al casco central, lo que permite que haya mayor estabilidad longitudinal. Esto se pudo verificar en las pruebas, donde el comportamiento fue notablemente mejor, incluso con el peso agregado de 1,8 kg.

Con su peso original:

Formación de olas: A través de la observación durante las pruebas y en los videos, se pudo observar la formación de olas producidas por los cascos. Las imágenes y dibujos lo describen.



Figura 460. Imágenes del modelo siendo arrastrado. Se observa que la proa del bulbo emerge. Se observa una ola en el casco lateral. Fuente: Elaboración propia.



Figura 461. Dibujo del comportamiento del agua mientras el modelo Hyswas primero es arrastrado. Fuente: Elaboración propia

Se comporta bastante estable, pero el bulbo sobresale mucho del agua, por lo que se forma una ola importante y el área en la flotación aumenta.

Al aumentar la velocidad levemente, el agua que choca suavemente en el arbotante desaparece, la mitad superior del bulbo queda fuera del agua. Y la ola que se forma en casco lateral desaparece.



Figura 462. Imágenes del modelo siendo arrastrado. Se observa que, al aumentar la velocidad, casi toda la mitad superior del bulbo emerge. No se forma la ola del casco lateral. Fuente: Elaboración propia.

Con un peso agregado de 1,8 kg:

Al aumentar el peso, aumenta el calado, osea el bulbo se sumerge más. Pero aún se provoca una ola el la proa del bulbo que hace que, una parte de éste quede fuera del agua, como se ve en la imagen y el dibujo.



Figura 463. Modelo navegando. Se utiliza configuración segunda y se agrega peso de 1,8 kg. Fuente: Propia.

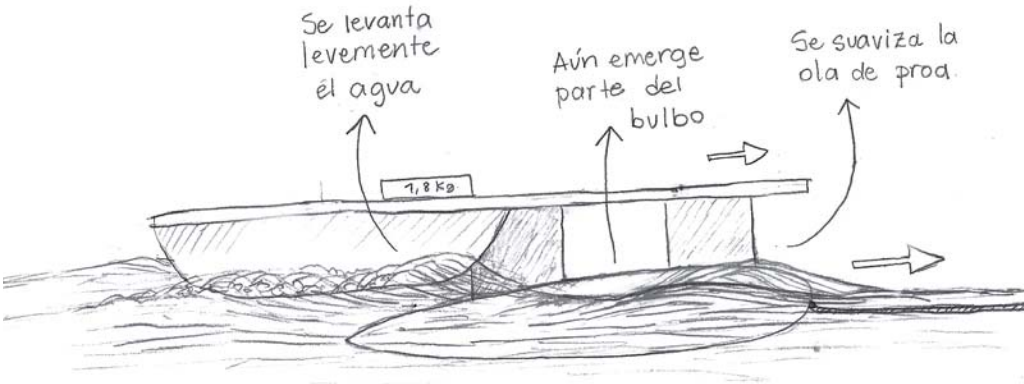


Figura 464. Dibujo del comportamiento del agua mientras el modelo es arrastrado. Se le agregó 1, 8 kg. Fuente: Elaboración propia

Para seguir intentando sumergir el bulbo, se cambia la posición de la toma de la lienza que lo arrastra. Ahora se ubicó la toma en el arbotante. El resultado fue positivo, sólo emerge una porción de la proa del bulbo, quedando el resto del cuerpo totalmente sumergido. Con esto se eliminó la formación de olas en esa área. Pero al aumentar la velocidad, se tendió a apopar, con lo que la plataforma de madera comienza a tocar el agua, lo que produce una gran turbulencia y se acentúa la ola de popa.



Figura 465. Modelo navegando. Se utiliza configuración segunda y se agrega peso de 1,8 kg y se mueve la toma de la lienza. Fuente: Propia.



Figura 466. Dibujo del comportamiento del agua mientras el modelo es arrastrado. Se le agregó 1, 8 kg y se mueve la toma de la lienza. Fuente: Elaboración propia

2. Pruebas iniciales del modelo de la hipótesis en canal de arrastre (24.06.2013)

a) Prueba 1

Casco lateral: Largo

Peso del casco superior: 349 gr / 22,3 ton

Peso de arbotantes y bulbo: 445 gr / 28 ton

Peso total: 794 gr / 50,3 ton

Boyantez que aporta el bulbo y arbotantes: 663 gr / 42,4 ton = 83,5% del peso total

Boyantez que aportan los cascos laterales: 131 gr / 8,7 ton = 16,5 % del peso total

Resultado

Al posarlo en el agua se mantiene adrizado, pero al moverlo levemente, tiende a escorarse. En esta prueba de arrastre, se pudo ver que el barco se inclinaba o escoraba hacia la derecha, lo cual no era deseado. Habían problemas de estabilidad estática. Por esta razón se procede a analizar detenidamente la estabilidad estática.



Figura 467. Imagen del modelo siendo arrastrado suavemente. Se escora y se mantiene escorado. Hay problemas de estabilidad estática. Fuente: Elaboración propia

E. Análisis hidrostático del modelo

1. Pruebas de estabilidad

a) Prueba 1

Casco lateral: Largo y corto

Peso del casco superior: 349 gr / 22,3 ton

Peso de arbotantes y bulbo: 445 gr / 28 ton

Peso total: 794 gr / 50,3 ton

Boyantez que aporta el bulbo y arbotantes: 663 gr / 42,4 ton = 83,5% del peso total

Boyantez que aportan los cascos laterales: 131 gr / 8,7 ton = 16,5 % del peso total

Resultado

Al posarlo en el agua se mantiene adrizado, pero al moverlo levemente, tiende a escorarse, porque el centro de boyantez se alinea con el centro de gravedad. El C.B se encuentra en el centro geométrico del volumen sumergido. Mientras que el C.G se encuentra en la altura de los arbotantes. Por lo tanto hay un momento en que ambos se alinean.

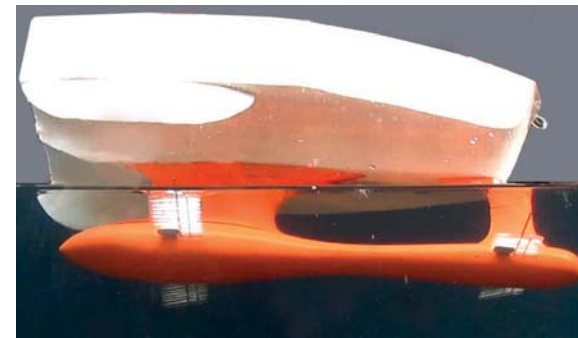


Figura 468. Imagen del modelo escorado en la prueba 1. Fuente: Elaboración propia

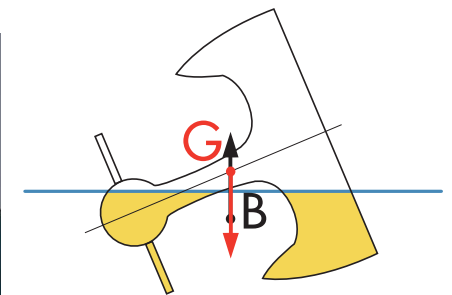


Figura 469. Esquema de las fuerzas en la prueba 1. Fuente: Elaboración propia

b) Se modifica el peso y c.de gravedad:

Frente al resultado de la prueba 1 y prueba 2, se resuelve lo siguiente: Agregar peso al bulbo y así bajar el centro de gravedad, y aumentar el peso, para evitar el ángulo de escora no deseado.

Se le agregaron cuatro barras de acero, que suman 99,2 gr. 2 en proa y 2 en popa.

Incorporación de pesos al bulbo:



Figura 470. Imagen del bulbo con los pesos incrustados.



Figura 471. La popa del bulbo y sus pesos.



Figura 472. La proa del bulbo y sus pesos.

c) Prueba 2

Casco lateral: Largo y corto

Peso del casco superior: 349 gr / 22,3 ton

Peso que se agrega al bulbo: 99,2 gr / 6,3 ton

Peso de arbotantes y bulbo (con peso agregado): 544,2 gr / 34,8 ton

Peso total: 893,2 gr / 57,15 ton

Boyantez que aporta el bulbo y arbotantes: 663 gr / 42,4 ton = 74,2 % del peso total

Boyantez que aportan los cascos laterales: 36 gr / 8,7 ton = 15,2 % del peso total

Resultado

El modelo se comporta muy estable. Volviendo lentamente a su posición de adrizamiento. Como un “mono porfiado”.



Figura 473. Modelo adrizado en prueba 2.
Fuente: Elaboración propia

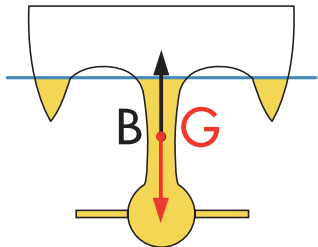


Figura 474. Esquema de las fuerzas en la prueba 1. Fuente: Elaboración propia

F. Pruebas iniciales en el “Canal de ensayos de cascos”

1. Sesión 1 de pruebas en canal (08.07.2013)

Medición de la velocidad del flujo

En cada sesión se mide la velocidad del flujo y se escala a la velocidad del prototipo (esc. 1:40). La velocidad se mide a través de una esfera liviana (pelota de ping pong) que se deja llevar por el agua en una cierta distancia.

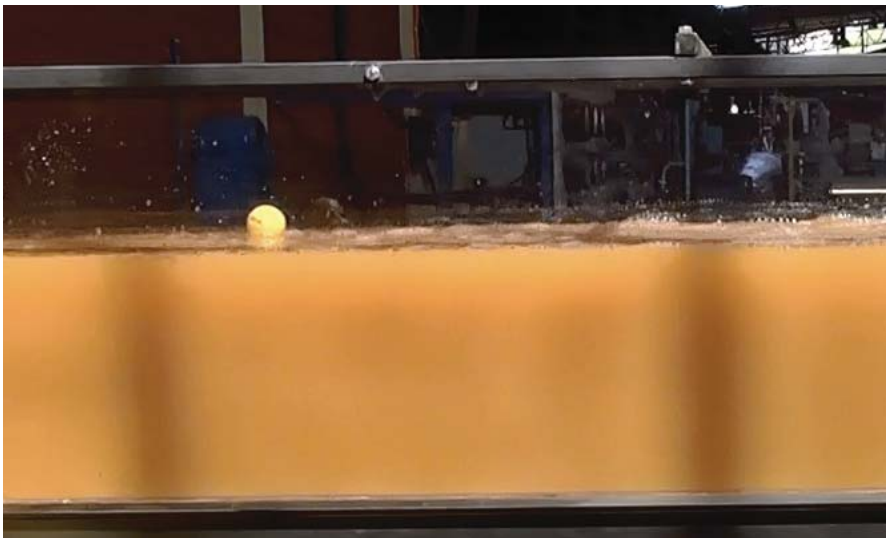


Figura 475. Imagen de la pelota flotando en el agua, para medir la velocidad.

Con un cronómetro se mide el tiempo que demora recorrer la pelota una distancia de 1,95 m. Se midieron los siguientes tiempos (segundos):

3,66 s	$V = \text{m/s}$
5,27 s	$V = 1,95 \text{ m}/3,5 \text{ s}$
2,42 s	$V = 0,557 \text{ m/s}$
3,88 s	
2,27 s	
Promedio de tiempo: 3,5 seg.	

Se convierte la velocidad del modelo al prototipo

Según las leyes de Semejanza Cinemática, se aplica la siguiente fórmula para escalar:

$$\lambda_V = \frac{V_m}{V_p}$$
$$\lambda_V = \lambda_L^{\frac{1}{2}}$$
$$\lambda_V = \left(\frac{1}{40}\right)^{1/2}$$
$$V_p = \frac{V_m}{\lambda_V}$$

Reemplazando:

$$V_p = \frac{0,557 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{\left(\frac{1}{40}\right)^{1/2}} = 3,1645 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 6,20 \text{ nudos}$$

Entonces la velocidad del prototipo es de 6, 20 nudos.

La velocidad va variando, ya que se puede ir manejando la altura de la columna de agua gracias al vertedero regulable del canal. En la primera sesión de pruebas del modelo se llegó a 0,68 m/s, es decir 8,43 nudos en el prototipo.

Pruebas del modelo

Prueba 1:

Velocidad del flujo: 0,5 m/s en el modelo=3,1645 m/s en el prototipo = 6,20 nudos

Hidroala de proa: Envergadura: 35 mm, Cuerda: 40 mm

Hidroala de popa: Envergadura: 65 mm, Cuerda: 40 mm

Ángulos de ataque: Varios, de 0° a 15°.

Cascos laterales: Largos.

Diedro: No

Resultado

El modelo no se levanta, la línea de flotación se mantiene a la altura de los cascos laterales. Se mantiene muy estable.



Figura 476. Imagen del modelo sin elevarse mientras el agua fluye.

Prueba 2:

Velocidad del flujo: 0,5 m/s en el modelo= 3,1645 m/s en el prototipo = 6,20 nudos

Hidroala de proa: Envergadura: 65 mm, Cuerda: 40 mm

Hidroala de popa: Envergadura: 65 mm, Cuerda: 40 mm

Ángulos de ataque: proa: 5°, popa: 15°.

Cascos laterales: Largos.

Diedro: 10° app. (variable)

Resultado

Al aumentar la envergadura del ala de proa, se elevó inmediatamente la proa. Posteriormente, se aumentó el ángulo de ataque del perfil de popa (10°), se levantó la popa, pero tendió a desestabilizarse. Se crea un diedro de 20° en proa y popa.



Figura 477. Imagen del modelo con la proa elevada, mientras el agua fluye.

Prueba 3:

Velocidad del flujo: 0,5 m/s en el modelo= 3,1645 m/s en el prototipo = 6,20 nudos

Hidroala de proa: Envergadura: 65 mm, Cuerda: 40 mm

Hidroala de popa: Envergadura: 65 mm, Cuerda: 40 mm

Ángulos de ataque: proa: 5°, popa: 15°.

Cascos laterales: Largos.

Diedro: 20° app. (variable)

Resultado

Para evitar la inestabilidad, se bajaron los cascos laterales alrededor de 1 cm. La embarcación se despegó un poco más del agua, pero su estabilidad sigue dependiendo de los cascos laterales.



Figura 478. Imagen del modelo con la proa elevada y los cascos laterales más abajo.

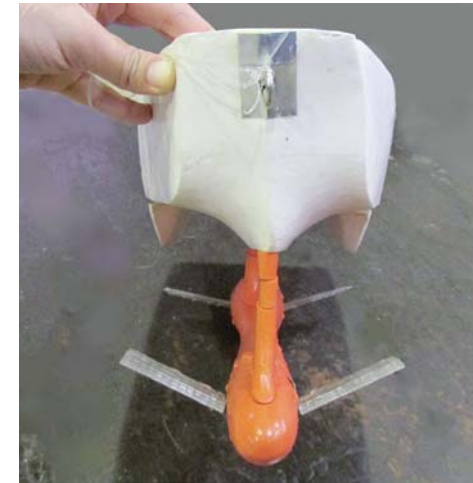


Figura 479. Imagen del modelo y su configuración de las hidroalas.

Los diedros aportan con la estabilidad, ya que cuando se eleva el modelo, tiende a escorarse, y los diedros hacen que vuelva a su estado de adrizamiento. Pero esta respuesta a la escora es muy exagerada, por lo que la nave se escora hacia el otro lado. Y sucede esto repetidas veces.

2. Sesión 2 de pruebas en canal (11.07.2013)

Prueba 1:

Velocidad del flujo: 0,69 m/s en el modelo=4,34 m/s = 8,52 nudos en el prototipo

Hidroala de proa: Envergadura: 35 mm, Cuerda: 40 mm

Hidroala de popa: Envergadura: 100 mm, Cuerda: 40 mm

Ángulos de ataque: Varios, de 0° a 15°.

Cascos laterales: Cortos.

Diedro: de 0° a 20° (variable)

Resultado

Se aumenta la envergadura del perfil de popa para ver si gana sustentación y estabilidad. Además aumentó la velocidad del flujo. Estos dos factores hacen que aumente la sustentación que proveen las alas. Se mantiene estable mientras sus cascos laterales estén en contacto con el agua, cuando se eleva, pierde estabilidad. Se mantiene este comportamiento a pesar de haber alargado las alas.



Figura 480. Imagen del modelo en el canal. Se observa que la nave gana sustentación, pero se mantiene la inestabilidad dinámica cuando se eleva.

3. Sesión 3 de pruebas en canal (24.07.2013)

Prueba 1:

Se mantienen los mismos parámetros de la sesión anterior. Se observó específicamente el comportamiento del agua entorno al casco. Identificando la formación de olas los arbotantes y bulbo. Cuando se levanta manualmente el casco, y el agua queda al nivel de los arbotantes, se observa la formación de olas.

Resultado



Figura 481. Se observa la formación de olas en los arbotantes.

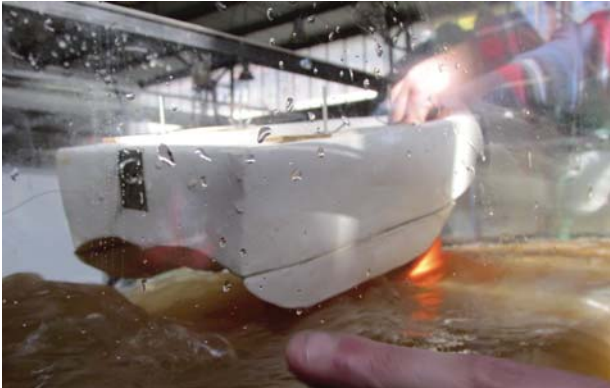


Figura 482. Se observa la turbulencia en la popa.

Formación de olas en el casco

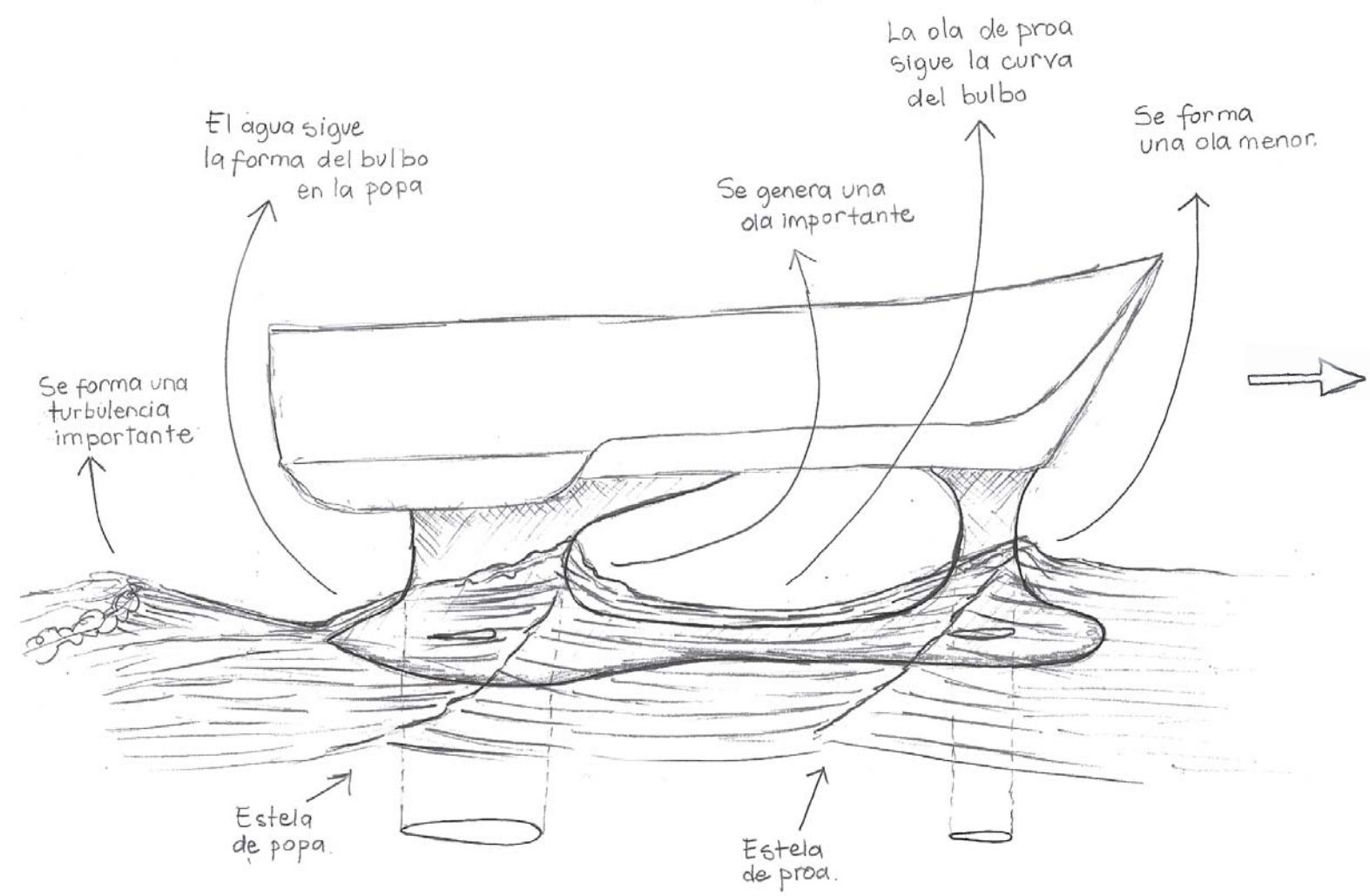


Figura 483. Esquema del modelo y la formación de olas.
Fuente: Elaboración propia.

Estela en el casco

Se observan las estelas que se forman en el casco. Se precisan tres formaciones, una menor en el arbotante de proa, otra, que es la mayor en el arbotante de popa, y la tercera en la parte de popa. Esta última estela podría afectar el rendimiento de la hélice.

Cuando el casco superior está tocando la superficie del agua, la estela del arbotante de popa choca con los cascos laterales, formándose una ola mayor.



Figura 484. Imagen de las estelas que se forman en el casco.

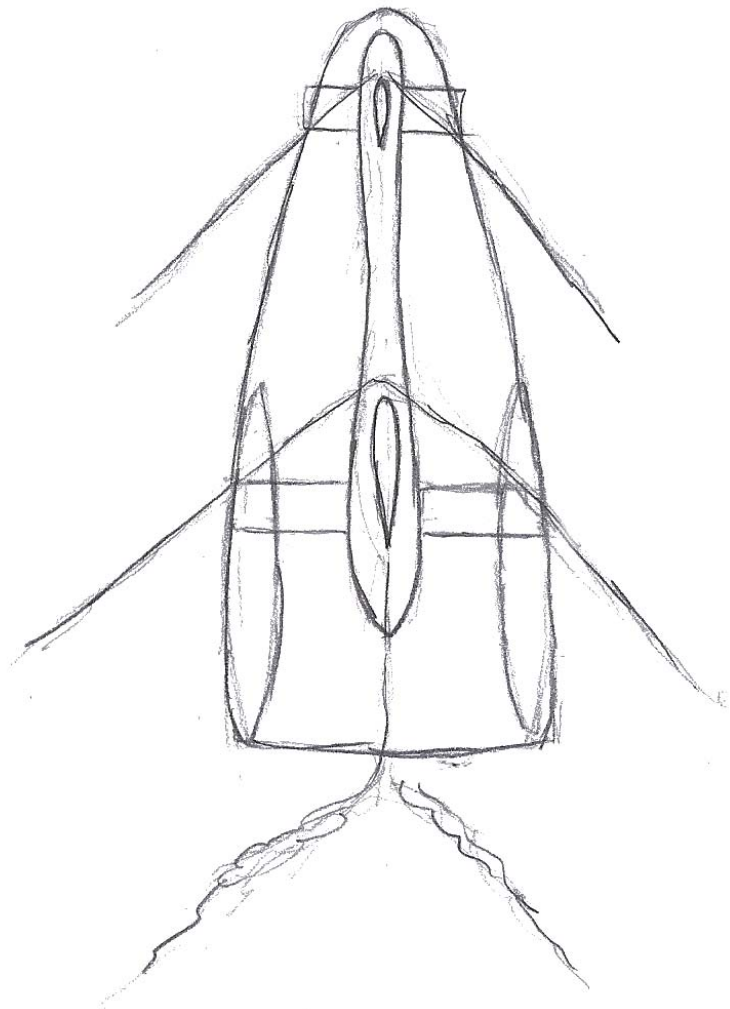


Figura 485. Imagen de las estelas que se forman en el casco.
Fuente: Elaboración propia

4. Sesión 4 de pruebas en el canal (06.09.2013)

a) Prueba 1:

Se arregla el perfil del arbotante trasero, se agudiza levemente el sector de “ataque”, y se suaviza la unión del arbotante con el bulbo. Esto para que no produzca una ola tan importante.



Figura 486. Imagen de la intervención de la unión entre el arbotante y el bulbo. Se rellena ese espacio con “masilla mágica”. Fuente: propia

Además se corrigen detalles de las hidroalas. Se piensa que la inestabilidad dinámica, se puede deber a que las alas no estaban perfectamente iguales entre ellas. Es por esto que se perfeccionan sus medidas.

La otra medida que se toma es que se trazan líneas guías en el bulbo, para guiar los ángulos de las hidroalas, para que queden perfectamente transversales al bulbo, para medir el diedro, etc.



Figura 487. Imagen de la “grilla” que se marca en el bulbo y en las alas. Se trata de líneas de color negro. Fuente: Elaboración propia

Por último, se agregaron dos bombas pequeñas al sistema del canal. Con los que se aumentó su caudal a 90 lt/s app., y por lo tanto su velocidad a 0,84 m/s: 10,42 nudos en el prototipo.

Velocidad del flujo: 0,84 m/s en el modelo=5,31 m/s en el prototipo = 10,42 nudos

Hidroala de proa: Envergadura: 65 mm, Cuerda: 40 mm

Hidroala de popa: Envergadura: 97 mm, Cuerda: 40 mm

Ángulos de ataque: de 0° a 15° (variable)

Cascos laterales: Largos.

Diedro: de 0° a 10° app. (variable)

Resultados

Se mantiene bastante estable, más que en las pruebas anteriores, sin embargo cuando los cascos laterales no tocan el agua, tiende a escorarse igual que en pruebas anteriores. Basta con que posea una mínima parte de sus cascos laterales en contacto con el agua, para que el modelo se estabilice. La mayor estabilidad se atribuye a la corrección de las medidas de las alas.

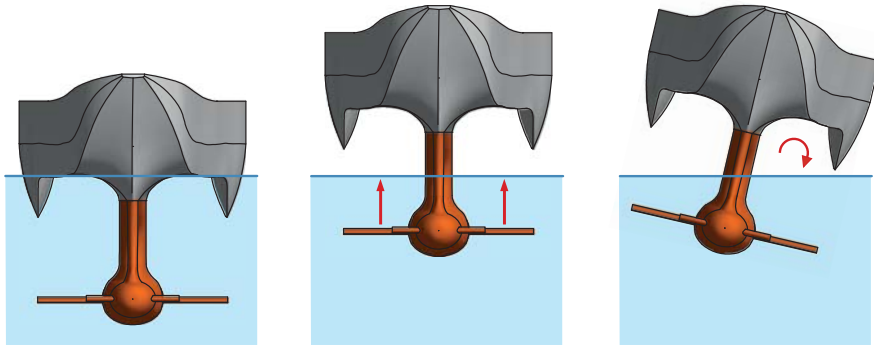


Figura 488. Secuencia de la caída o escora del casco cuando se eleva por la sustentación de las alas.
Fuente: Elaboración propia.

En segundo lugar, la ola producida en el arbotante trasero sigue estando presente, formando una estela bastante importante. No fue suficiente la intervención que se hizo en él.



Figura 489. Se mantiene muy estable con los cascos laterales en contacto con el agua.



Figura 490. Se produce igualmente el choque del agua en el arbotante de popa.

5. Sesión 5 de pruebas en el canal (16.10.2013)

a) Prueba 1:

Insistiendo con perfeccionar el ajuste de los ángulos de ataque de las hidroalas y también el ángulo de diedro, se diseña un sistema simple de fijación del ángulo de las hidroalas. Se hace a través de alambres que salen de las hidroalas y que se unen a través de pernos a un riel que está en la cubierta.



Figura 491. Sistema de fijación del ángulo de las hidroalas.



Figura 492. Se produce igualmente el choque del agua en el arbotante de popa.

Además se afinó aún más la zona de “ataque” del arbotante de popa, para evitar formación de olas.



Figura 493. Se agudiza el arbotante de popa, para que éste corte el agua mientras navega.

También se le agregó un timón en la popa, según sugerencia del Profesor Ramiro Mege. Esto para estabilizarlo. El timón se construye con la misma técnica que las hidroalas.

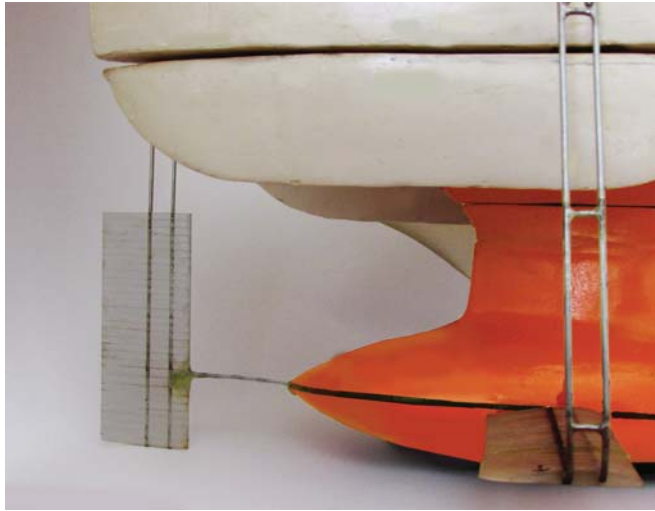


Figura 494. Timón en la popa.

Velocidad del flujo: 0,84 m/s en el modelo=5,31 m/s en el prototipo = 10,42 nudos

Hidroala de proa: Envergadura: 65 mm, Cuerda: 40 mm

Hidroala de popa: Envergadura: 97 mm, Cuerda: 40 mm

Ángulos de ataque: proa: 10°, popa: 5°

Cascos laterales: Cortos

Diedro: de 20°

Resultados

Se mantiene en general el comportamiento. Mientras los cascos laterales tocan el agua, es muy estable. Cuando se eleva, pierde estabilidad, escorándose de lado a lado, ya que tiende a recuperarse exageradamente después de cada escora.



Figura 495. Cuando se despegan los cascos laterales, pierde estabilidad. En esta imagen, el modelo está apoyado a la pared del canal y se mantiene estable.



Figura 496. Cuando se eleva, pierde estabilidad, escorándose de lado a lado, ya que tiende a recuperarse exageradamente después de cada escora.

Por otro lado, se reduce notablemente la ola en el arbotante de popa, gracias al afinamiento de su geometría. Este resultado es muy favorable. La turbulencia que se producía en popa disminuyó bastante, esto se puede atribuir a la presencia del timón o la eliminación de la ola del arbotante de popa.



Figura 497. Se elimina la ola del arbotante de papa.



Figura 498. Se observa la estela en la popa, la cual es menor a la de las pruebas anteriores.



Figura 499. El agua se adecúa a la forma del arbotante de popa y éste la corta. No se produce la ola en este sector.



Figura 500. Estela desde la popa.

6. Sesión 6 de pruebas en el canal (23.10.2013)

Se vuelve al análisis de estabilidad, desde la estabilidad estática. Pensando que la estática puede favorecer o perjudicar el comportamiento dinámico. Se intenta bajar aún más el centro de gravedad, para ver qué pasa.

Se descarta el casco superior en estas pruebas y se reemplaza por una plataforma de poliestireno expandido (plumavit) sin ningún empaste ni barniz. Por lo que es muy liviana. Sólo cumple un labor de flotabilidad y boyantez, para que el modelo no se hunda ni se escor. Gracias a esta medida se baja el centro de gravedad.

Además se le agrega peso al bulbo. Se le adhiere externamente unas láminas de plomo, con huincha aisladora. Este peso adicional es de 320 gramos. Esto para bajar el centro de gravedad.

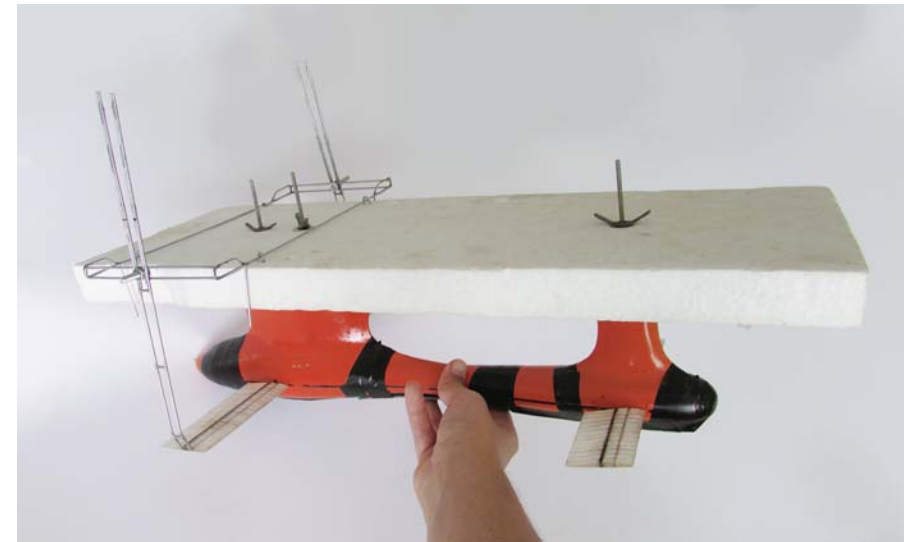


Figura 501. Modelo sin el casco superior. Éste se reemplaza por una plancha muy liviana de plumavit. Además se agregan pesos al bulbo. Todo esto para bajar el centro de gravedad.

Velocidad del flujo: 0,84 m/s en el modelo=5,31 m/s en el prototipo = 10,42 nudos

Hidroala de proa: Envergadura: 65 mm, Cuerda: 40 mm

Hidroala de popa: Envergadura: 97 mm, Cuerda: 40 mm

Ángulos de ataque: de 0° a 15° (variable)

Diedro: de 0°

Peso adicional de plomo: 320 gr de plomo en el la curva inferior del bulbo.

Resultados



Figura 502. Modelo sin el casco superior. Éste se reemplaza por una plancha muy liviana de plumavit. Además se agregan pesos al bulbo. Todo esto para bajar el centro de gravedad.

Se mantiene la inestabilidad cuando se eleva. Es un movimiento de escora de un lado a otro, sin embargo es más lento que en la prueba pasada.

Se podría decir que el hecho de bajar el centro de gravedad ayuda al sistema.

G. Pruebas posteriores en el “Canal de arrastre” (15.11.2013)

1. Pruebas de arrastre en el estero con peso adicional

Velocidad del flujo: desconocida.

Hidroala de proa: Envergadura: 65 mm, Cuerda: 40 mm

Hidroala de popa: Envergadura: 97 mm, Cuerda: 40 mm

Ángulos de ataque: de 0° a 15° (variable)

Diedro: de 0° a 20° (variable)

Peso adicional de plomo: Se comenzó con 320 gr. hasta llegar a los 500 gr.

Resultados

En la primera prueba con 320 gr. de peso adicional, resulta que el modelo se escora inmediatamente al momento de elevarse gracias a las alas. Ocurre lo mismo que en el “Canal de ensayo de cascos”. A la leve escora, se mantiene ahí.



Figura 503. Modelo en movimiento, se escora y se queda así hasta que disminuye su velocidad.

En las siguientes pruebas se fueron agregando pesos en la curva inferior del bulbo. A medida que se fue aumentando el peso, adquiere mayor estabilidad. Le cuesta más escorarse y cuando lo hace, tiende a volver a su posición de adrizamiento, pero no es totalmente efectivo.

En la última prueba (con 500 gr de peso adicional) demora mucho más desde que empieza a navegar hasta que se escora.

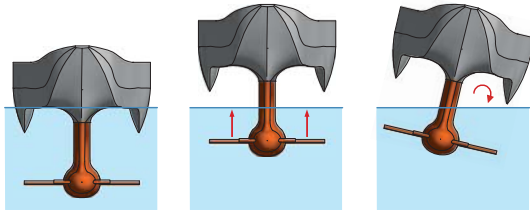


Figura 506. Secuencia de la escora del casco cuando se eleva.
Fuente: Elaboración propia.

Se repite el mismo comportamiento que en las pruebas anteriores, pero esta vez es más lento, porque la escora no es inmediata al elevarse, sino que se mantiene adrizado unos segundos, luego se escora.



Figura 504. Secuencia de navegación del modelo con 500 gr de peso adicional, visto desde proa.



Figura 505. Secuencia de navegación del modelo con 500 gr de peso adicional, visto longitudinalmente.

Gráfica del comportamiento en las pruebas:

En estas pruebas el centro de gravedad del modelo se encontraba a la altura del arbotante. Al analizar la estabilidad estática cuando se eleva la nave, sucede lo siguiente:

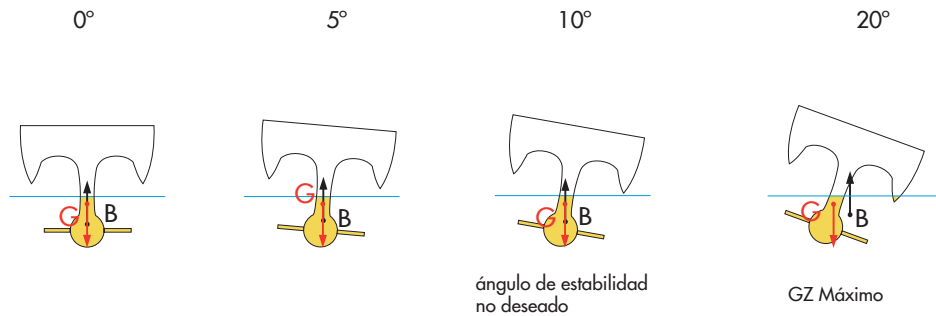


Figura 507. Gráfica del comportamiento del modelo de las pruebas.

A los 10° los puntos de boyantes y gravedad se alinean, por lo que se mantiene “estable” el sistema de fuerzas, pero no favorable para la navegación.

Gráfica del comportamiento con el centro de gravedad más abajo:

Entonces lo que se quiere ahora es seguir bajando el centro de gravedad, para que, durante la navegación, la estabilidad estática ayude a que se mantenga adrizado.

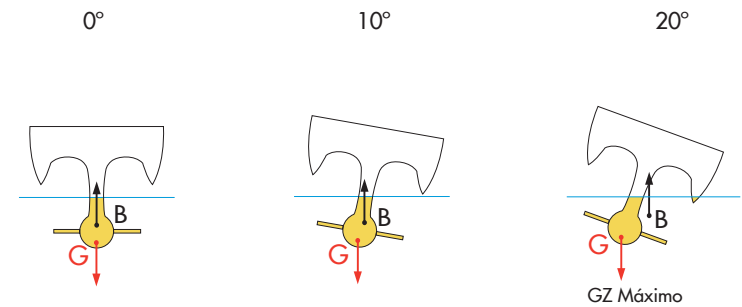


Figura 508. Gráfica del comportamiento del modelo con el centro de gravedad más abajo.

Se experimenta la estabilidad con una figura de cartón similar a la cuaderña del modelo, se le agregó un eje a la altura del centro de boyantez y se le agregó peso lo más abajo posible para que sea un “mono porfiado”



Imagen del experimento de estabilidad. Se le agregó abajo un peso cinco veces mayor que el peso de la figura de cartón de la cuaderña maestra del modelo.

H. Pruebas posteriores en el "Canal de ensayo de cascos" (25.11.2013)

Se insiste en controlar la estabilidad estática, bajando el centro de gravedad. Para ello se incrementa el peso con láminas de plomo. La idea es darle la forma a este metal para que se ajuste al bulbo y no afecte la hidrodinámica ni la boyantes.



Figura 509. Lámina de plomo plegada y curvada para que adquiera la forma del bulbo.

Se le agrega el plomo en la curva inferior del bulbo, pegándolo con huincha aisladora color negro.



Figura 510. Imagen del modelo con los pesos incluidos. Fuente: propia

Velocidad del flujo: 0,78 m/s en el modelo= 4,93 m/s en el prototipo = 9,67 nudos

Hidroala de proa: Envergadura: 65 mm, Cuerda: 40 mm

Hidroala de popa: Envergadura: 97 mm, Cuerda: 40 mm

Ángulos de ataque: de 0° a 15° (variable)

Diedro: de 0° a 20° (variable)

Peso adicional de plomo: Se comenzó con 1 kg, luego se disminuye a 715,1 gr

Resultados

En la primera prueba con 1 kg de peso adicional y probando con todos los ángulos de ataque y diedro, no se eleva. No hubo suficiente fuerza de sustentación de las alas para la velocidad existente.

Luego, se le fue quitando poco a poco peso en la proa para que comenzara a elevarse desde la proa. Se le quitaron 100 gr. Resultó no ser suficiente y no se elevó.



Figura 511. Imagen del modelo en el canal de flujo. Se observa que no se levanta lo suficiente.

Después se le quitan 185 gr, (quedando 715 gr de plomo en el plomo) con lo que mejoró notablemente, ya que comienza a elevarse. Se probó un ángulo de ataque en proa de 10 ° y diedro de 20°. En la popa ángulo de ataque de 10° sin diedro. Sin embargo comienza a cabecear.



Figura 512. Imagen del modelo en el canal de flujo. Se observa que se levanta levemente. Es muy estable.

Después de probar distintos ángulos de ataque, se logra estabilizar con:

Hidroalas de proa: 10°, con diedro de 5°

Hidroalas de popa: 15°, sin diedro. Sin embargo no se eleva lo suficiente, ya que sólo se levanta 2 cm.

Se le quitan los cascos laterales para disminuir el peso. Se sigue elevando prácticamente lo mismo, pierde estabilidad, ya que ahora los cascos laterales no están para entregar boyantes. Sin embargo al elevarse esta pequeña altura, el casco no se escora como en las pruebas anteriores. Esto es un gran logro, ya que se corrobora que la estabilidad mejora al bajar el centro de gravedad.

Conclusiones

A. Conclusiones Generales

1. Antes de pensar el objeto a diseñar se estudia el territorio y sus características. Lo que permite tener un planteamiento integrador y sistémico del proyecto. Éste ha abierto la visión de ciudad y del territorio en general.
2. Se ha desarrollado una solución a una problemática económica y social, desde la mirada del diseño. A la hora de planificar o dar solución a problemas sistémicos de toda índole, el diseño trae a presente con mayor lucidez lo que parece complejo.
3. A la hora de desarrollar el sistema planteado en este proyecto, se hace necesario la integración de otros profesionales que estudien su factibilidad en otros ámbitos, como el económico, comercial, mediambiental, transporte, etc.
4. Para llevar a cabo el sistema de transporte se hace necesario rediseñar las caletas como puntos paraderos, para que se compatibilicen ambos ámbitos. Lo que se puede desarrollar arquitectónicamente en futuras tesis.
5. Sobre la embarcación, se trata una idea de diseño de casco poco convencional, del cual no hay mucha información técnica disponible en documentos digitales. Lo que posibilita plantearse el problema desde lo desconocido. Lo cual abre las posibilidades de diseño. Además obliga a un mayor estudio y entendimiento de los fenómenos que intervienen en el objeto.
6. Normalmente el casco responde sólo a requerimientos de eficiencia energética, sin embargo en esta investigación se diseñó el casco fundamentalmente desde la habitabilidad, desde lo que percibe la persona al navegar. En este caso, el casco pasa a ser la interfaz entre el objeto-embarcación y la persona.

B. Conclusiones sobre la estabilidad estática

1. Se comprueba que es necesario que el centro de gravedad se ubique lo más abajo posible para efectos de estabilidad. Al tomar esta medida, el modelo quedó totalmente estable estáticamente.
2. A pesar de agregar pesos al bulbo, los porcentajes de boyantez con respecto al total del peso, se mantuvieron cercanos a la proporción 80 y 20%. Por lo tanto, se podría ir jugando con los porcentajes sin influir en la estabilidad. En cambio, sí se debe procurar que el centro de gravedad esté lo más abajo posible.

C. Conclusiones sobre las pruebas en el “Canal de ensayos de cascos”

1. Se logra disminuir notablemente la formación de olas en el casco, gracias a la intervención que se hizo en el arbotante de popa.
2. A la hora de hacer modelos a una escala tan reducida (1:40), la sensibilidad del modelo es mayor. Por lo que se hace necesario construir muy precisamente los elementos, ya sea por su geometría y por la distribución de pesos.
3. El “Canal de ensayo de cascos” cumple ampliamente con los requerimientos de las pruebas. Sin embargo, sí posee una limitación de velocidad dada por las bombas. Y, por otro lado el agua que se utilizó no estaba limpia, situación que impidió observar el flujo bajo la superficie del agua.
4. La hipótesis de la geometría del bulbo fue correcta. La ola inicial que se forma en la proa se encausa naturalmente por la estrechez central del bulbo hacia popa. Sin embargo en la popa del bulbo, al terminar en una punta, el flujo sigue esta geometría con una capa delgada de agua, sin formarse una columna de agua favorable para la hélice. Esta zona habría que replantearse para que no suceda lo anterior.

5. Dinámicamente el modelo no se pudo estabilizar en un inicio, ya que los principios de estabilidad estática no estaban favoreciendo al sistema de fuerzas. Finalmente al bajar el centro de gravedad mejoró mucho la estabilidad cuando navega y se eleva. Sobre todo en las últimas pruebas.

6. En las últimas pruebas, se estabilizó el modelo mientras navegaba, pero sin elevarse tanto, en este momento los ángulos de ataque de los perfiles fueron los siguientes:

Hidroalas de proa: 10° , con diedro de 5°

Hidroalas de popa: 15° , sin diedro

7. Para que el modelo se eleve a los 10 nudos de velocidad, se debe aumentar la superficie alar de las hidroalas. Este sería el siguiente paso a seguir en esta investigación. También se podría probar angulando las hidroalas hacia popa, como en forma de flecha, para disminuir los vórtices que se producen.

8. Desde la primera prueba del “Trimarán de cascos gruesos” hasta el del “Hyswas final” se pudo ver el beneficio que significa sumergir el bulbo, que trae por consecuencia la mínima formación de olas y que la embarcación no se deja mover por éstas. A pesar de que no se estabilizaba dinámicamente, se podía ver que no se movía al ritmo de las olas, sino que se escoraba producto de la inestabilidad de fuerzas propias del casco.

Bibliografía

Fundamento Teórico

Sernapesca (2011)

Cuenta Pública 2011, Chile. Disponible en: http://www.sernapesca.cl/index.php?option=com_remository&Itemid=246&func=startdown&id=6054

Fundación para la Superación de la Pobreza (1999)

Diagnóstico y Propuestas, Visión del Sector Pesquero Artesanal, Bases de una Propuesta para su Desarrollo, Chile. Disponible en: http://www.superacionpobreza.cl/descarga-archivo/vision_del_pesquero_artesanal_1.pdf

Sernapesca (2008)

Ficha Socio - Productiva 2008, Chile

Mercurio (2012)

Collect. Estudio "Veraneo de los Chilenos" 2002, Chile

GIZC e Instituto de Geografía PUCV (2008)

Diagnóstico Base de la Zona Costera de la Región de Valparaíso, Chile

Sectra (2007)

Situación Base 2007, Secretaría de Planificación de Transporte, Chile

Bussenius (2011)

Clasificación y Relación entre el nivel de desarrollo y el potencial ocio-turístico de las caletas artesanales de la Región de Valparaíso, Chile. Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Barragán (2003)

Medio Ambiente y Desarrollo en Áreas Litorales. Editorial: Aenor ediciones, 2003.

Cruz (1953).

Achupallas. Enfoque urbanístico que supone la tesis, a propósito de una población obrera de 50.000 personas en Viña del Mar - Chile. En: Fundamentos de la Escuela de Arquitectura, Universidad Católica de Valparaíso 1971. Consejo de Rectores de la Universidades Chilenas. Santiago, Región Metropolitana de Santiago. Chile

Conama

Principales Ecosistemas Naturales de la V Región y su Estado - Quinta Región de Valparaíso, Chile
Disponible en: http://www.conama.cl/educacionambiental/1142/articles-28830_recurso_2.pdf

Harrison y Swain (2003)

Guía de Diseño del Espacio Público, Chile
Disponible en: Biblioteca Especializada de Arquitectura y Diseño PUCV

Carr, Francis y Rivlin (1993)

Public Space, USA

Astilleros Dalmau (2013)

Catamaranes de pasaje. Disponible en : <http://www.astillerosdalmau.com/es/62063/embarcaciones/Catamaranes-pasaje/De-151-250-plazas/BAHIA-CADIZ-CUATRO.htm>

Consorcio de Transportes Bahía de Cádiz (2013)

Disponible en: <http://www.cmtbc.es/>

New York Water Taxi (2013)

Disponible en: www.nywatertaxi.com

Lomocean (2013)

Water taxi. Disponible en: <http://www.lomocean.com/projects/commercial/11.1m++water+taxi>

Water Taxi Rotterdam (2013)

Onze boten. Disponible en: [www.watertaxirotterdam.nl /home/index_1.hp?page=onze%20boten](http://www.watertaxirotterdam.nl/home/index_1.hp?page=onze%20boten)

Chicago Water Taxi (2013)

Disponible en: www.chicagowatertaxi.com

Sistema de Transporte Fluvial en Valdivia (2013)

Disponible en: http://www.wikilosrios.cl/index.php/Sistema_de_Transporte_Fluviaal_en_Valdivia

Ortega

Sumario, Revista Liga Marítima de Chile, Disponible en: <http://www.ligamar.cl/revis8/7.htm> y en <http://cl.fotolog.com/pinceladaspuerto/49531044/>

Bravo (2007)

El Argonauta, Revista Liga Marítima de Chile, Edición: N° 193 Disponible en: <http://www.ligamar.cl/revis8/75.htm>

Datos del Mundo y de Chile (2013)

El Argonauta, Disponible en: <http://historiadelmundoydechile.blogspot.com/2013/07/el-argonauta.html>

Planether (2008)

Seguros y rápidos. Trimaranes. Disponible en: <http://cabinasubmarina.wordpress.com/2008/10/13/seguros-y-rapidos-trimaranes/>

Fred Olsen Express (2010)

Trimarán Benchijigua Express. Disponible en: www.flickr.com/photos/fredolsenexpress/sets/72157623439748162/

Austal (2013)

Photo Gallery and video, Disponible en: <http://www.austal.com/en/products-and-services/commercial-products/ferries-vehicle-passenger/benchijigua-express.aspx?source=category>

Corazón de las Arribes Paseos en Barco

Corazón de las Arribes Paseos en Barco en imágenes. Disponible en: www.yumping.com/paseos-en-barco/corazon-de-las-arribes-paseos-en-barco-e19633143

Motores futuro (2011)

BoatBoat. Barco de hidrógeno. Disponible en: <http://motoresfuturo.wordpress.com/2011/03/04/172/>

One2three Naval Architectures

55m Passenger Ferry. Disponible en: www.one2three.com.au/t55.html

Ivelic (2006).

Embarcación Amereida y la épica de fundar el mar patagónico. Valparaíso, Chile

Kai Levander (2012)

Passenger Ship Architecture, Aalto University.

Clark, Ellsworth y Meyer (2004)

The Quest for Speed at Sea, Disponible en: http://foils.org/02_Papers%20dnloads/041115NSWCTD_QuestSpeed.pdf

Pérez (2000)

Estudio Hidrodinámico de un Catamarán Tipo Swath, Departamento de Arquitectura y Construcción Navales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. Disponible en: <http://oa.upm.es/888/1/08200101.pdf>

Lang, Semi-Sumerges Ship Corporation, California and Jolyon Sloggett Associates, U.K, (1985)

Swath developments and performance comparisons with other craft, Paper N°1, Inglaterra, presentado a International Conference on Ship and Advanced Multi-Hulled Vessels

Lovie and Lang (1988)

Commercial Opportunities for SWATH Vessels, Inglaterra, presentado a International Conference on Ship and Advanced Multi-Hulled Vessels

Polmar (2005)

The Naval Institute Guide to the Ships and Aircraft of the U.S. Fleet, EE.UU, Disponible en: http://books.google.cl/books?id=8MwyTX-iA2wC&pg=PA348&lpg=PA348&dq=Kaimalino+swath&source=bl&ots=J1AFzqmX_h&sig=B_ls_b8lIMVLb8yqiNbKDoPpaPg&hl=en&sa=X&ei=Xu2zULjBO4q88AScglHwDQ&ved=0CCgQ6AEwAA#v=onepage&q=Kaimalino%20swath&f=false

Abeking & Rasmussen (2012)

Revista "MCMV & Patrol Craft", Alemania

Estudio Mar

Barcos Sorprendentes, Disponible en: <http://www.estudiomar.org.es/Disenos%20de%20Barcos.html>

Lockheed Martin

Semi-SWATH Small Ferry. Disponible en: <http://www2.borough.kenai.ak.us/AssemblyClerk/assembly/Info/2010/092110/Fast%20Ferry%20Presentation.pdf>

Toppan (2003)

World Aircraft Carriers List Photo Gallery, Aviation Oddities, Part III: Barges, Landing Ships, and Other Platforms. Disponible en: <http://www.hazegray.org/navhist/carriers/odd/index3.htm>

Cruz (2012)

Marines, Disponible en: <http://sfcitizen.com/blog/tag/marines/>

Brizzolara & Curtin & Bovio & Vernengo (2011)

Concept design and hydrodynamic optimization of an innovative SWATH USV by CFD methods, Este artículo es parte de "the Topical Collection on Maritime Rapid Environmental Assessment"

China Classification Society (2005)

Guidelines for Small Waterplane Area Twin Hull Craft

Beena, Subramanian (2002)

Parametric studies on seaworthiness of SWATH ships. Department of Ocean Engineering, Indian Institute of Technology Madras 600 036, India.

PetroServ (CY) International.

Disponible en: <http://www.petroservint.com/petroserv-interviews.html>

Periódico "El Venezolano"

Sección "Entorno Energético", Miami, USA. Disponible en: http://www.soberania.org/Articulos/articulo_5795.htm

Talleres Navales de Valencia S.L.

Buque Swath de Bajura, Disponible en: http://www.halios9.com/prod_01.html

Navatek (2013)

Stable Ship Design, Swath. Disponible en: <http://www.navatekltd.com/swath.html>

Asia Cruiser.

Disponible en: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Exterior_day3.jpg

Lee, Waters and McCreight (1977)

Preliminary Investigation of roll controllability of a hydrofoil Small Waterplane Area Ship (Hyswas). David W. Taylor Naval Ship Research and Development Center.

International Hydrofoil Society

International Hydrofoil Society Photo Gallery. Disponible en: <http://www.foils.org/gallery/next.htm>

Flickr (2013)

Adrian Dutch. Disponible en: <http://www.flickr.com/photos/littledutchboy/8648880145/>

Goubault y Allison

Advanced Marine Surface Craft, Capítulo 44. Disponible en: www.sname.org

Digitalwave publishing (1993)

Construction of two Technosuperliner begin. Disponible en: <http://www.digitalwavepublishing.com/pubs/NWM/maritimereporter/199309/?pgno=155>

Open cage (2012)

Techno super liner TSL-F. Disponible en: http://opencage.info/pics.e/large_79.asp

Kawasaki

Techno Superliner. Disponible en: <http://www.khi.co.jp/ship/company/history/index.html>

Marine Log (2006)

Innovative ferry concept. Disponible en: <http://www.marinelog.com/>

Visco (2007)

Anno 2007 Aliswath, l'evoluzione dell'aliscafo. Revista Porto di Porto. Disponible en: http://www.portoediporto.it/DEF/?page=reader&the_sect=CANTIERISTICA&my_year=&my_month=&my_art=308&my_act=1

Dagradi (2006)

L'ali-traghetto. Revista Focus. Disponible en: <http://www.focus.it/Allega>

Boote y Mascia

Structural Design of Innovative Passenger Vessel. Departamento de Ingeniería Naval y Tecnología Marina de la Universidad de Génova, Italia. Disponible en: <http://www.icmr07.unina.it/Proceedings/Papers/B/04.pdf>

Ingeniería Naval (2005)

Noticias, Revista del Sector Marítimo. Disponible en: <http://www.ingenierosnavales.com/docurevista/NOTICIAS%20MAR.%2005.pdf>

Stevenson Projects

The Interflight Hydroflier. Disponible en: <http://www.stevproj.com/Carz/XBoats2.html>

Fundamento Técnico

Gudmundsson (2009)

Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. Servicio de Tecnología Pesquera, División de Productos e Industria de la Pesca, Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Área de Mecánica de Fluidos, Departamento de Tecnología, Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales Universitat Jaume I (2004)

Estática de Fluidos. Castellón de la Plana, España. Disponible en: http://www.amf.uji.es/Teoria_Tema2_910.pdf

Marín (2007)

Análisis de la estabilidad de Catamaranes. Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, ESPOL I Jornadas Técnicas de Diseño y Arquitectura Naval, Colegio de Ingenieros Navales del Ecuador, Guayaquil. Disponible en: www.dspace.espol.edu.ec/bitstream

Marchaj´s

Sailing Theory and Practice. Disponible en: <http://www.sailingcatamarans.com/stability2.htm>

OMI (1977)

Código de Seguridad para Naves de Sustentación Dinámica. Resolución 373 (X)

OMI (1993)

Código de estabilidad sin averías para todos los tipos de buques regidos por los instrumentos de la OMI. Resolución A. 749 (18)

OMI (2000)

Adopción del código internacional de seguridad para naves de gran velocidad (Código NGV). Resolución MSC. 97 (73)

Armada de Chile (2006)

Circular O-71/010

Armada de Chile

TM-010. Reglamento para la Construcción, Reparaciones y Conservación de las Naves Mercantes y Especiales Mayores y de Artefactos Navales, sus Inspecciones y su Reconocimiento.

Fernandez (2006)

Ola, Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Ola>

Aiken (2008)

A simulation of the Chilean Coastal Current and associated topographic upwelling near Valparaíso, Chile. Estación Costera de Investigaciones Marinas, Center for Advanced Studies in Ecology and Biodiversity, Pontificia Universidad Católica de Chile. Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia. Disponible en: <http://www.bio.puc.cl/caseb/pdf/prog6/Aiken%20et%20al.%20CSR%2008.pdf>

Cartes-Zurita (2005)

Análisis Espacial y temporal de la dinámica de las corrientes en la Bahía de Valparaíso. Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería, Programa de Gestión y Ordenamiento Ambiental (PROGOA)

Leyton & Andrade (1987)

Morfología de Cavidades en la Costa de Chile Central, Instituto Geografía Pontificia Universidad Católica de Chile. Revista de Geografía Norte Grande, 14: 21-34 (1987). Disponible en: http://www.geo.puc.cl/html/revista/PDF/RGNG_N14/art03.pdf

Avaria (1989)

Revisión sobre aspectos oceanográficos físicos, químicos y planctológicos de la bahía de Valparaíso y áreas adyacentes. Biol. Pesq., 18: 67-96.

Vidal (2008)

Teoría de Olas y Comportamiento del Buque en la Mar. Disponible en: www.enavales.com

SHOA (2013)

Carta N° 3 "Estado del Mar y Fuerza Beaufort".

D.Bravo (2008)

Propuesta de generación de energía mediante olas. Valdivia, Chile. Escuela de Ingeniería Naval, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile.

Alaez (1991)

Catamaranes de Alta Velocidad. Madrid, España. Publicación num. 130, Canal de Experiencias Hidrodinámicas, El Pardo, Ministerio de Defensa.

Marchant (2008)

Diseño de una lancha rápida con hidroalas para los mares de la patagonia occidental. Chile, Escuela de Arquitectura y Diseño Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Universidad de Santiago de Chile, Ingeniería Civil Mecánica

Arrastre y sustentación sobre cuerpos aerodinámicos. Chile. Asignatura Mecánica de Fluidos II, Nivel 03, Experiencia C901. Disponible en: http://www.fem.unicamp.br/~phoenics/EM974/PROJETOS/PROJETOS%201%20SEM-10/TURMA%20A/G7/FEM%20-%20USACH%20-%20C901%20-%20ARRASTRE_Y_SUSTENTACION SOBRE CUERPOS AERODINAMICOS.pdf

Jeria (2010)

Embarcación de asistencia con hidroalas para los Habitantes de la Patagonia Occidental Sistemas de accesos y propulsión para el desembarco en todo tipo de orillas. Chile, Escuela de Arquitectura y Diseño Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Airfoil Tools (2013)

Disponible en: <http://www.airfoiltools.com/>

Brizzolara y Chrysosostomidis (2013)

The Second Generation of Unmanned Surface Vehicles: Design Features and Performance Predictions by Numerical Simulations. Virginia, EE.UU. ASNE Day 2013, "Engineering America's Maritime Dominance". Massachusetts Institute of Technology Department of Mechanical Engineering and MIT Sea Grant College Program, Cambridge (MA).

Brizzolara, Bovio, Federici y Vernengo (2011)

Hydrodynamic Design of a Family of Hybrid SWATH Unmanned Surface Vehicles. 11th International Conference on Fast Sea Transportation, FAST 2011, Honolulu, Hawaii, USA.

Brizzolara y Villa (2009)

Hydrodynamic Assessment and Optimization of Slice Hull Forms. Italia, University of Genova – Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, DINAV.

Lockheed (1994)

SLICE Lines and Offsets, Lockheed Missile and Space Company, Inc.

Stadt (2013)

Stadt Electric Propulsion. Noruega. Disponible en: www.stadt.no

TEMA LPMR, (2013)

Your permanent power. Disponible en: <http://www.tema.hr/lpmr/>

Ostornol (2012)

Material bibliográfico de clases.

Escuela de Arquitectura y Diseño PUCV (2013)

Infraestructura de laboratorios de modelos. Valparaíso, Chile. Disponible en: <http://www.ead.pucv.cl/postgrado/magister-nautico-y-maritimo/infraestructura/>

Anexos

A. Análisis de estabilidad estática de un bongo de pescador

1. Introducción del estudio de estabilidad

Como parte del estudio del programa de Magister, se realizó un estudio de la estabilidad de una embarcación. En este caso, al no haber formulado la hipótesis de esta tesis aún, se optó por estudiar un “Bongo de pescador”.

El Bongo Pescador, es una embarcación que se ha utilizado desde que el hombre se dedica a la pesca artesanal en Chile. En sus inicios eran pequeños bongos, hechos de madera de monte por destacados artesanos de ribera y se manejaban a remo. Hacia los años 1960, se comienza a industrializar la construcción de embarcaciones, surgen empresas como Star-Line y se funda ASMAR- Astilleros y Maestranzas de la Armada. Starline, por ejemplo, comenzó construyendo botes de madera, para rápidamente pasar a la construcción de bongos en fibra de vidrio. Esta tradicional embarcación se utiliza en gran parte de Chile por los pescadores artesanales, es por esta razón que se realizó un estudio de sus características náuticas, específicamente su estabilidad estática y flotabilidad. A partir de este estudio se ha confeccionado este anexo donde se exponen las características náuticas principales de esta embarcación.

El proceso de estudio que se expondrá a continuación sirve de ejemplo para aplicarlo al casco de la hipótesis final de esta tesis o de cualquier otro casco.

El estudio se realiza a través del programa “TARVAL”, confeccionado por el Ingeniero Naval Mecánico y académico de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Don Boris Guerrero.

2. Medición y digitalización del casco

El bongo que se analiza en el estudio náutico mide alrededor de 8 m de eslora y 2 m de manga. Sólo su casco pesa 560 kg y es de fibra de vidrio. El Bongo analizado se encuentra operando actualmente en la Caleta Portales, ubicada en Valparaíso. Para estudiar la estabilidad de una embarcación es preciso estudiar fundamentalmente el casco de la nave, ya que su geometría es la que nos indica cómo se comportará en ciertas circunstancias.

Este análisis se lleva a cabo en primer lugar midiendo el casco de un modelo de bongo. Una vez teniendo las medidas, se traspasan estos datos al software Autodesk AutoCad. Realizando un modelo digital en tres dimensiones del casco.



Figura 513. Imagen del Bongo de pescador analizado. Fuente: Propia.



Figura 514. Render del Bongo de pescador analizado. Fuente: Elaboración Propia.

3. Realización de Curvas Hidrostáticas

En segundo lugar se confeccionan las curvas hidrostáticas de la embarcación. Las curvas hidrostáticas son una forma gráfica que sirve para obtener de forma rápida informaciones complejas de una nave para cada calado de la embarcación, suponiendo que la nave puede estar más o menos sumergida dependiendo de sus pesos. Se calculan distintas variables como volumen, la posición longitudinal o vertical del centro de boyantez, las toneladas por centímetro de inmersión, etc., todas para distintos calados. El cálculo de éstas y otras variables se realiza cortando el casco horizontalmente, dejando sólo el volumen del casco supuestamente sumergido, como el que se muestra a continuación.

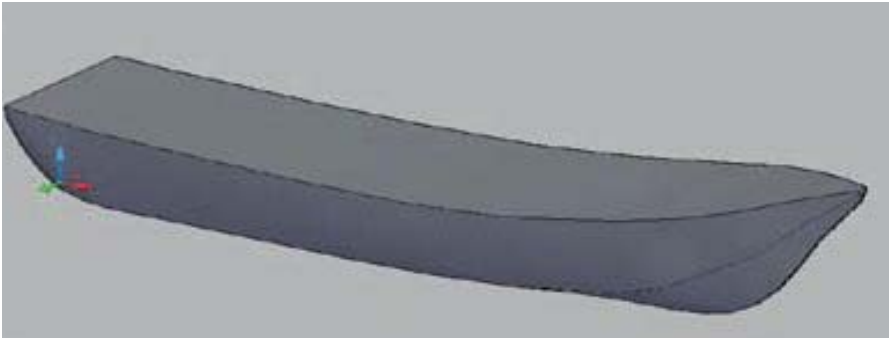


Figura 515. Vista isométrica del Bongo de pescador. Fuente: Elaboración Propia.

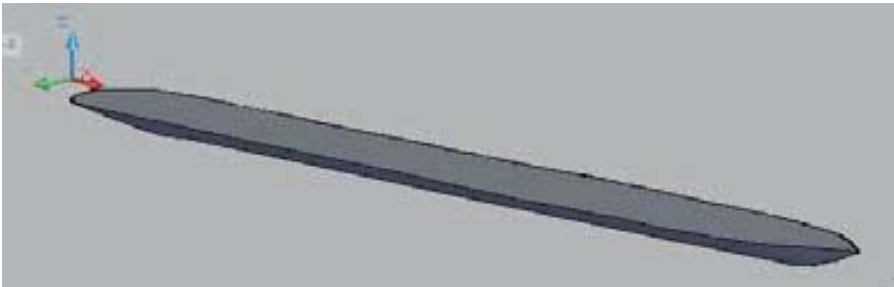


Figura 516. Fragmento del casco que corresponde al volumen sumergido, es decir el del calado. Fuente: Elaboración Propia.

Por ejemplo, se mide el volumen para cada calado resultando un gráfico así:

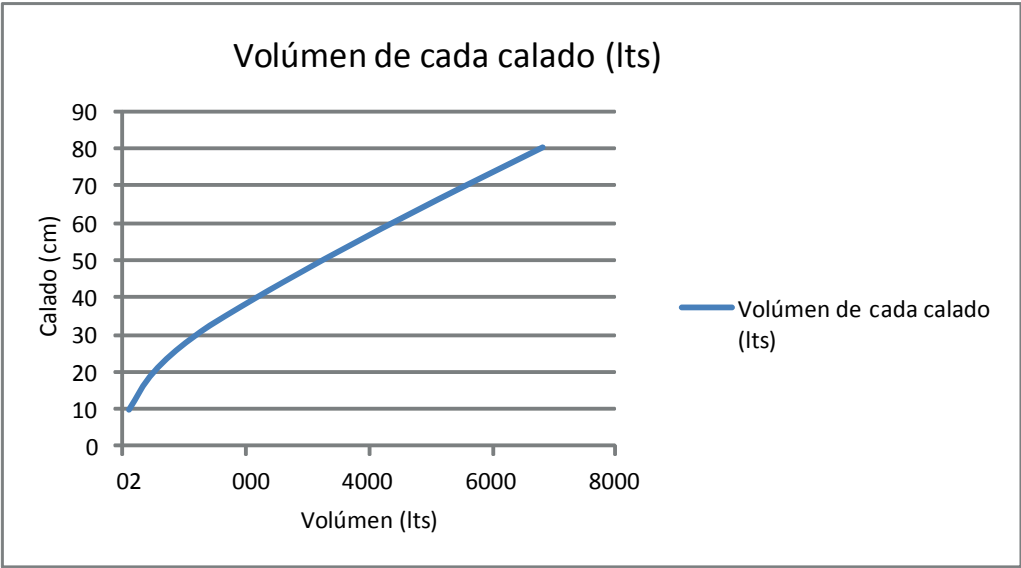


Figura 517. Curva hidrostática de volumen para distintos calados del Bongo de pescador. Fuente: Elaboración Propia.

4. Realización de Curvas Cruzadas

A continuación se realizan las curvas cruzadas de la embarcación. Las curvas cruzadas son un gráfico plano que contienen la proyección de un gráfico tridimensional que indica el valor del Brazo de Adrizamiento KN en función del Desplazamiento “W” y del Ángulo de Escora.

Para construir las curvas cruzadas del bongo pescador se realizan cortes horizontales del casco igual como en el caso de las hidrostáticas, sólo que esta vez el casco estará escorado a diferentes ángulos, luego se mide el brazo de adrizamiento KN.

Se mide la distancia entre la quilla y la proyección vertical de B. Esta distancia es KN.

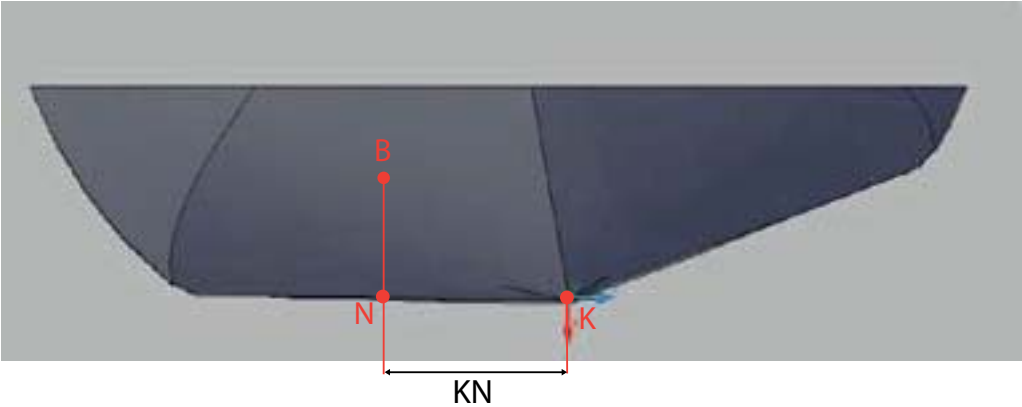


Figura 518. Medición del brazo de adrizamiento KN del bongo de pescador escorado.
Fuente: Elaboración Propia.

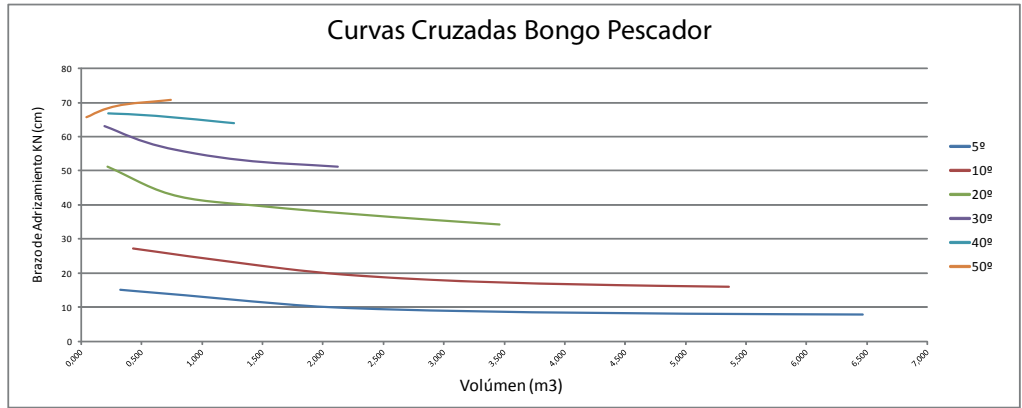


Figura 519. Curvas cruzadas del Bongo de pescador.
Fuente: Elaboración Propia.

5. Realización de la Curva de Estabilidad Estática Inicial y Corregida

A través de todos estos cálculos basados en la geometría del casco se puede crear un programa en el software Excell, en el cual el diseñador de la embarcación introduce datos de pesos que se le agregan a la embarcación y podemos ver cómo va cambiando la estabilidad de la nave. A grandes rasgos se evalúa la llamada curva de estabilidad estática que es como la “radiografía” de la estabilidad de una nave. Por ejemplo, con ciertos pesos normalmente dispuestos en el bongo, la curva de estabilidad queda así:

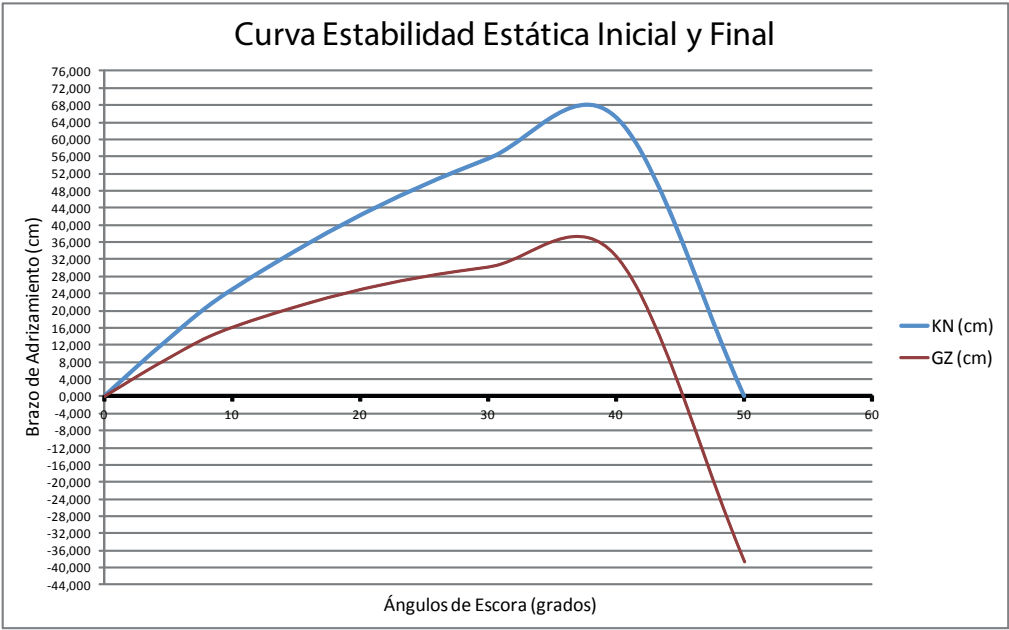


Figura 520. Curva de estabilidad estática inicial y corregida del Bongo de pescador.
Fuente: Elaboración Propia.

El bongo pescador cargado con ciertos pesos especificados en el procedimiento en Excell, cumple con las normas OMI, lo que lo hace una nave estable y segura en estas circunstancias de peso.

6. Realización del Cuadro de Carga

Carga	Pesos (Toneladas)	Pesos (kg)	LCG (m) según eje popa	Mto Longitudinal (m4)	KG (m)	Mto Vertical (m4)
Peso liviano						
Peso casco	0,560	560,000	3,726	2,087	0,376	0,211
motor fuera de borda 60 hp	0,101	101,300	0,000	0,000	0,700	0,071
Peso variable				0,000		0,000
tanque combustible 24 lt	0,023	22,800	0,000	0,000	0,960	0,022
2 personas	0,170	170,000	0,500	0,085	0,800	0,136
redes de pesca	0,020	20,000	2,000	0,040	0,300	0,006
jibia u otros recursos pesqueros	0,050	50,000	2,500	0,125	0,400	0,020
SUMATORIAS	0,924	924,100	2,53	2,337	0,504	0,466
g.e agua de mar	1,025		LCG: sum mto long/sum pesos (m)		KG (m)	
Volumen total (m3)	0,902		2,529		0,504	
Volumen total (dm3 o lt)	901,561					
			NOTA : Distancias longitudinales			
			son medidas desde el espejo			
			de popa hacia proa.			

Figura 521. Cuadro de carga del Bongo de pescador. Fuente: Elaboración Propia.

7. Cumplimiento de las normas OMI (utilizando regla de Simpson para áreas bajo la curva)

1.- El área bajo la Curva de Estabilidad Estática final (GZ) entre 0° y 30° debe ser igual o superior a 0,055 [m rad].		
Área (m rad)	0,084	CUMPLE
2.- El área bajo la curva de Estabilidad Estática corregida (GZ) entre 0° y 40° (o 0° y el ángulo de inundación θ_f , si $\theta_f < 40^\circ$) debe ser igual o superior a 0,090 [m rad].		
Área (m rad)	0,156	CUMPLE
3.- El área bajo la curva de Estabilidad Estática corregida (GZ) entre 30° y 40° (o 30° y el ángulo de inundación θ_f , si $\theta_f < 40^\circ$) debe ser igual o superior a 0,030 [m rad].		
Área (m rad)	0,037	CUMPLE
4.- El Brazo de Adrizamiento GZ debe ser a lo menos 0,20 m a un ángulo de escora igual o mayor de 30°.		
Ángulo	GZ	CUMPLE
30º	0,303	
40º	0,328	
5.- El máximo Brazo de Adrizamiento debe ocurrir a un ángulo de escora que exceda 30°, pero nunca menor de 25°.		
Mayor brazo de adrizamiento:		
Ángulo	GZ	CUMPLE
40	0,328	
6.- La Distancia Metacéntrica GM no debe ser menor de 0,15 m.		
KG (m):	0,504	CUMPLE
KM (m):	1,041	
Calado	25,000	
GM (m):	0,537	

Curva Estabilidad Estática Inicial y Final

Ángulo (grados)	KN (cm)	GZ (cm)
0	0	0
10	15.000	10.000
20	35.000	20.000
30	55.000	28.000
38	68.000	35.000
40	65.000	30.000
50	0	-25.000

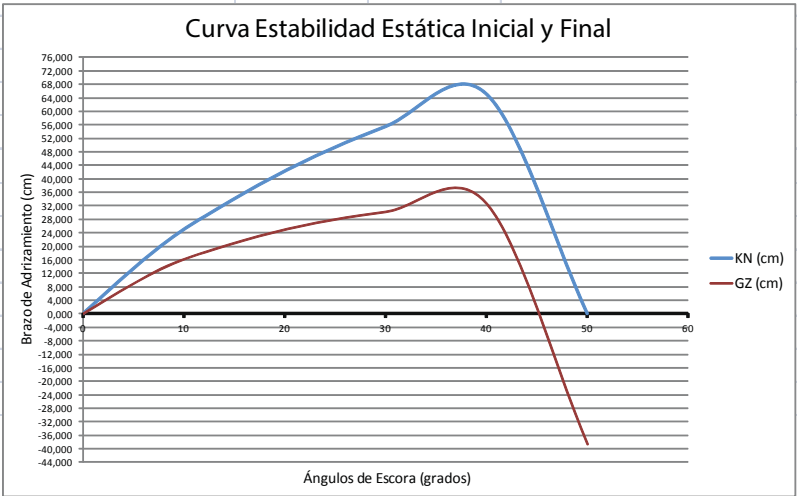


Figura 522. Cumplimiento de las normas OMI. Fuente: Elaboración Propia.

8. Calado de la embarcación según cuadro de carga y tabla de hidrostáticas.

Datos extraídos de la tabla de Hidrostáticas para el Volumen que nos dio el cuadro de carga										
Calado (cm)	Volumen (lt)	KB (m)	TPC (ton/cm inm)	LCF (m)	I long (m4)	I transv (m4)	BM (m)	KM (m)	LCB (m)	W (kg)
25	901,561	0,171	0,070	3,211	22,920	0,797	0,870	1,041	3,212	924,100

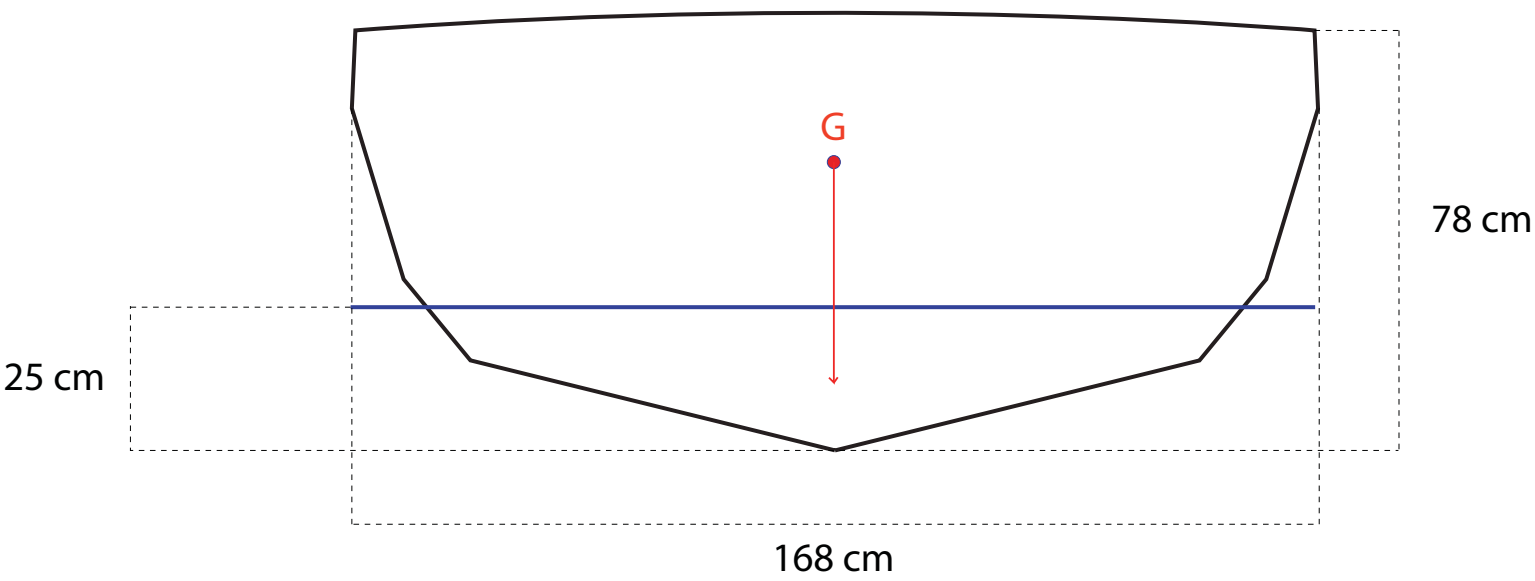


Figura 523. Esquema cuaderna maestra con el calado correspondiente al cuadro de carga y la altura del centro de gravedad. Fuente: Elaboración propia.

En las condiciones de peso que se pone a prueba el bongo, resulta que la embarcación se hunde sólo 25 cm. Esto ocurre porque la nave posee un casco muy recto, no posee una quilla muy marcada, esto para tener menos roce con el agua y poder planear cuando aumenta su velocidad.

9. Ventajas del casco casi plano del Bongo

Esta embarcación posee un casco bien plano en la zona de popa y esta característica se extiende unas tres cuartas partes de la embarcación. Luego en la zona de proa se comienza a agudizar para ser más hidrodinámico. Pero en general, tiene poca resistencia hidrodinámica, lo que permite instalar a popa motores de baja potencia para obtener una marcha constante. Además posee buena maniobrabilidad. Tienen una buena estabilidad transversal, porque poseen mayor manga y mayor brazo de adrizamiento en caso de escorarse. Por ejemplo poseen buena resistencia a desequilibrios de pesos laterales, muy importante para el trabajo a bordo, porque permite por ejemplo a los pescadores desplazarse. Despega rápidamente la embarcación del agua, lo que disminuye la superficie mojada, por lo que le permite planear en pocos segundos, reduciendo el consumo de combustible.

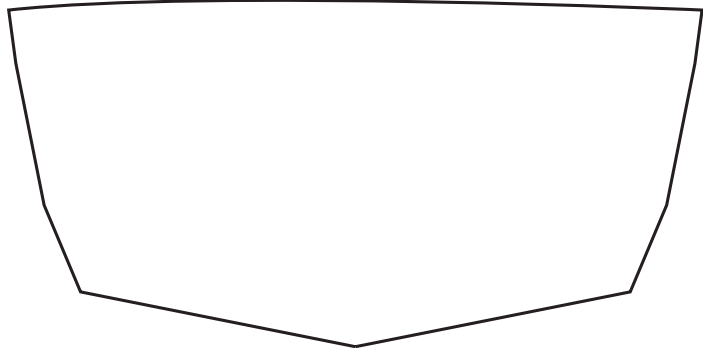


Figura 524. Esquema cuaderna de popa, se puede ver lo plano que es el casco.
Fuente: Elaboración propia.

10. Gran Estabilidad transversal

Este es un esquema de la cuaderna maestra, suponiendo que la embarcación está escorada. Posee un gran brazo de adrizamiento en proporción a sus medidas de manga y puntal. El centro de gravedad se encuentra a la altura que el programa excell arrojó una vez hecho el cuadro de carga. En el caso de que bajara el centro de gravedad. La estabilidad sería mejor.

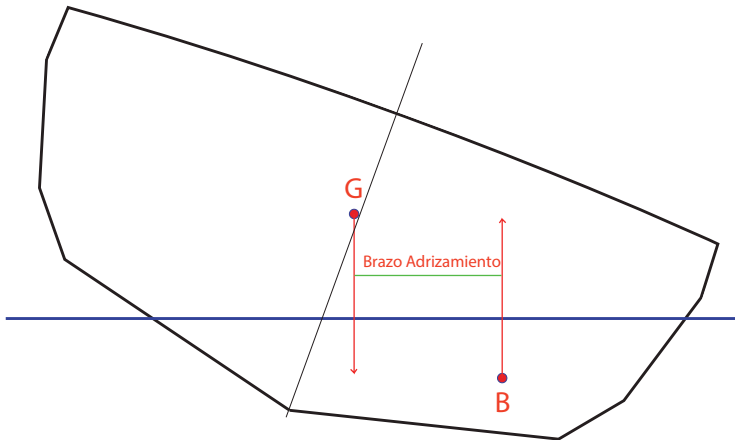


Figura 525. Esquema cuaderna maestra de embarcación escorada. Se ven los centros de gravedad y boyantez. Fuente: Elaboración propia.

Colofón

La presente edición titulada “Conectividad en las ciudades costeras y su extensión hacia el mar, Sistema de transporte colectivo de pasajeros, mediante embarcación tipo Hyswas para el territorio marítimo de Valparaíso” muestra el proyecto de tesis de Magister de Diseño, mención Náutico y Marítimo, de Carolina Chávez, el cual se desarrolla desde Noviembre 2011 a Diciembre 2013.

La presente edición fue impresa en Viña del Mar, en la impresora HP Officejet 4500 Desktop, en papel hilado de 106 grs.

Las fuentes utilizadas fueron Futura Lt Bt, con variables de tamaño entre 8 y 24 pt.

Los ejemplares fueron impresos el 9 de Diciembre del año 2013.