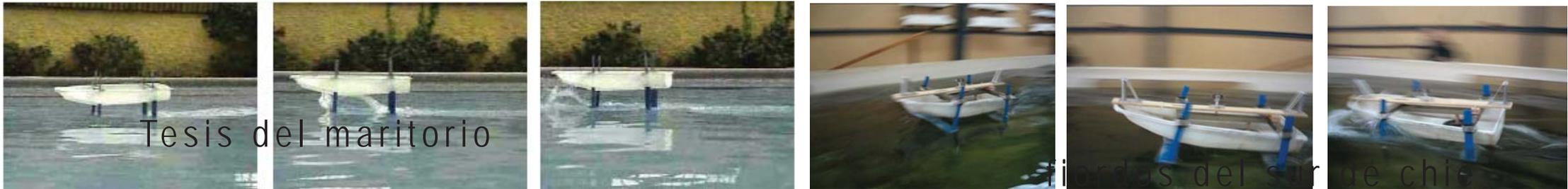


e.[ad.]
Escuela de Arquitectura y Diseño
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

DISEÑO DE UNA LANCHA RÁPIDA CON HIDROALAS para los mares de la patagonia occidental



Tesis para optar al grado de Magister en Arquitectura y Diseño
Mención Náutico y Marítimo
Candidato a magister Marla Marchant Vásquez.
Director Tesis Boris Ivelic K.

Índice

Resumen		Militares	21
Índice		Recreativa	22
Encargo	1	De uso individual con propulsión humana	22
Propósito	3	De uso individual con motor	22
Fundamento	4	Veleros con hidroalas	23
Estudios de la zona	4	Lanchas con hidroalas	23
Ubicación	4	Deportes extremos	24
Hornopirén, comuna da Hualaihue	5	Desarrollo reciente de embarcaciones con hidroalas	25
Vías y transportes	6	Hysucat	25
Actividad económica	7	Swath	26
Embarcaciones de la zona	8	Hyswas	27
Construcción lanchas de aluminio	10	Desarrollo de embarcaciones con hidroalas en Chile	27
Embarcación con hidroala	11	Hysucat Molly	27
Definición	11	Hysucat, Ferry 54F4 (Fiordos del Sur)	28
Historia	12	Hidroala como embarcación tradicional	29
Primeras embarcaciones con hidroalas	12	Plegabilidad	29
Embarcaciones con hidroalas para transporte de pasajeros	13	Rotabilidad	29
Embarcaciones con hidroalas para uso militar	14	Desarmabilidad	30
Tipos de hidroalas usadas en embarcaciones	15	Componentes de una embarcación con hidroalas	31
Embarcaciones con hidroala de superficie perforada	15	Casco	31
Hidroala en forma de escalera	15	Perfil sustentador	31
Hidroala en forma de "V" o "W"	16	Perfil vertical	32
Embarcaciones con hidroala de superficie completamente sumergida	16	Consideraciones de diseño	33
Hidroala en forma de "T" invertida	17	Peso	33
Configuración de las superficies sustentadoras	17	Propulsión	33
Superficies sustentadoras en forma de "V"	17	Estabilidad	34
Superficies sustentadoras en forma de "V" y "T" invertida	17	Oleaje	36
Superficies sustentadoras en forma de "T" invertida	17	Cavitación	36
Superficie sustentadora en forma de "T" invertida, en embarcaciones semisustentadas	18	Interferencia	37
Configuración de acuerdo a la distribución de cargas	19	Estudios teóricos	39
Embarcación convencional	19	Magnitudes físicas	39
Embarcación Canard, Embarcación Tandem	19	Unidades y dimensiones de las magnitudes físicas	39
Tipo de embarcaciones con hidroalas	20	Magnitudes adimensionales	39
Transporte de pasajeros	20	Número de mach	39
		Número de Reynolds	40
		Propiedades geométricas de las magnitudes físicas	40

Simetría de escala	40	Fuerzas ejercidas	53
Semejanza geométrica	40	Sustentación	53
Semejanza física	40	Resistencia	53
Teoría de modelo	41	Consideraciones de diseño	54
Perfil alar	42	Diagrama polar	55
Principios físicos	42	Sustentación	55
Teorema de Bernouilli	42	Resistencia al avance y sus consecuencias	55
Efecto Venturi	42	Relación C_l / C_d	55
Leyes de Newton	43	Desplazamiento del centro de empuje	56
Capa límite	44	Ubicación del centro de empuje	57
Capa límite laminar	44	Planta del ala	58
Punto de transición	44	Forma en planta de las alas	59
Capa límite turbulenta	44	Elíptica	59
Introducción a los perfiles hidrodinámicos	45	Rectangular	59
Perfil hidrodinámico	45	Trapezoidal o ahusada	59
Perfil alar	45	Intermedia	60
Tipos de perfiles	46	Trapezoidal con flecha	60
Simétrico o biconvexo-simétrico	46	Ala en flecha invertida	60
Asimétrico	46	Diedros	61
Cóncavo-convexo	46	Estabilidad	62
Doble curvatura	46	Principios de estabilidad	62
Semi-simétrico	46	Principio de Arquímedes	62
Plano-convexo	46	Definiciones	62
Inestable	47	Puntos importantes en una nave	63
Auto-estables	47	Curvas Hidroestáticas	65
Alto espesor	47	Volumen desplazado	65
Bajo espesor	47	Desplazamiento	65
Crítico	47	KB	65
Nobles	48	KM	65
Clasificación Naca	49	BM	65
Serie 4 dígitos	49	Mid B	65
Serie 5 dígitos	50	Mid F	65
Modificaciones posteriores para las series 4 y 5	50	TPC	66
Serie 6	50	Coeficiente prismático	66
Características y aplicaciones	51	Coeficiente de Block	66
Ángulo de ataque	52	Línea de agua	66

Coeficiente de cuaderna maestra	66	Doble curvatura	90
Área mojada	66	d. Matricería	91
Curvas cruzadas	67	Construcción	92
Metacentro para cualquier ángulo de escora	67	5. Pruebas del modelo	94
Curvas de estabilidad estática	67	a. Pruebas realizadas en piscina	94
Curvas cruzadas	67	Pruebas perfil Naca Munk-6	95
Corrección de la curva de estabilidad	68	Pruebas perfil Eppler 818	96
Cuadro de cargas	68	Pruebas con pesos	98
Experimento de inclinación	69	b. Pruebas en estero	99
Traslación de pesos	69	4. Segundo modelo	100
Hipótesis	70	a. Configuración de las alas	100
Metodología	71	Alas de popa	100
Resultados	72	Ala con flecha negativa	100
1. Espiral de diseño	72	Perfil recto	100
2. Desarrollo de planos	74	Diedro	101
a. Plano de líneas	75	Perfiles verticales	101
b. Curvas Hidrostáticas	76	b. Perfiles alares	102
c. Curvas cruzadas	77	Eppler 818	102
Curvas de estabilidad estática inicial	78	Naca Munk-6	103
3. Estabilidad	79	Speer H105	104
a. Ubicación de los pesos	79	Posición longitudinal de las alas	105
Experimento de inclinación	80	c. Planos del modelo	106
Ubicación horizontal del centro de gravedad	80	Sistema de ajuste de variable	107
Ubicación vertical del centro de gravedad	81	Altura regulable	107
Centro de gravedad, de boyantez y $\text{mid } F$	82	Ángulo de ataque variable	107
b. Corrección de curvas de estabilidad	83	d. Construcción	108
Cuadro de cargas	84	5. Pruebas del modelo	111
4. Primer modelo	85	b. Pruebas en estero de Ritoque	111
a. Perfiles alares	85	Primer grupo de pruebas	111
b. Cálculo de sustentación	86	Segundo grupo de pruebas	112
Eppler 818	86	Tercer grupo de pruebas	113
Naca Munk-6	87	Cuarto grupo de pruebas	114
c. Modelo a escala	88	Quinto grupo de pruebas	115
Planos del modelo	89	Sexto grupo de pruebas	116
Superficie alar del modelo	90	Pruebas en el canal de la Universidad Austral de Valdivia	117
Eppler 818	90	Primer grupo de pruebas	118

Segundo grupo de pruebas	119
Tercer grupo de pruebas	120
Cuarto grupo de pruebas	121
Quinto grupo de pruebas	122
Sexto grupo de pruebas	123
Séptimo grupo de pruebas	124
Octavo grupo de pruebas	125
Noveno grupu de pruebas	126
Décimo grupo de pruebas	127
6. Planos constructivos del casco del prototipo	128
Prototipo, despliegue de proa	129
Conclusiones	130
Referencias bibliográficas	132

Resumen

Encargo

Actualmente las islas de los canales del sur de Chile están siendo despobladas. Sus escasos habitantes están abandonando sus asentamientos para formar parte de una comunidad mayor. Se sienten confinados porque no tienen una vía que los conecte con los centros urbanos más próximos.

Objetivos

Para evitar el despoblamiento se propone un nexo entre los asentamientos y centros urbanos, mediante una embarcación de velocidad y emergencia, que disminuya los tiempos de navegación.

Teoría

La tecnología proporcionada con el desarrollo de hidroalas permite un incremento en la velocidad, evitando el daño ocasionado en los casco, reduciendo el roce, con ello aumenta el rendimiento y crear una navegación más cómoda para sus usuarios.

Hipótesis

Considerando las condiciones climáticas, los sedimentos en suspensión y la ola corta, se considera adecuado incorporar la navegación con hidroalas en la zona. Obteniendo una configuración de perfiles capaz de sustentar un casco, por medio de modelos a escala con mecanismos que permitan calibrar los perfiles alares en todos sus rangos de

variabilidad, mediante ensayo y error, a través de remolque del modelo en el canal de pruebas.

Metodología

Mediante observaciones en la zona, se realizan planos y maquetas que cumplan los requerimientos formales. Las hidroalas se desarrollan en base a cálculos matemáticos verificados inicialmente a través de modelos cualitativos en el estero en Ritoque y posteriormente cuantificados en el canal de pruebas de Valdivia.

Resultados

Los resultados en el canal de pruebas de la Universidad Austral, miden las velocidades en que emerge el casco del agua, las cuales se aproximan a lo proyectado. Al alcanzar velocidades mayores se produce exceso de sustentación, el ala sube hacia la superficie, pierde sustentación y cabecea.

Conclusión

Se concluye que la velocidad de despegue debe ser cercana a la velocidad máxima buscada. Hay que considerar la incorporación de alerones para variar la sustentación a distintas velocidades, evitando el cabeceo y mejorando la estabilidad.

Encargo

Origen del encargo

Esta Tesis y proyecto nacen de las travesías realizadas por la Escuela de Arquitectura y Diseños de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, desde 1984 a la fecha. En estos viajes se ha podido estudiar y observar en terreno, la realidad geográfica, climática y humana de los fiordos del sur de Chile.

Asimismo la Tesis se origina desde un proyecto interdisciplinario del Fiordo Comau, llevado a cabo con la participación de las escuelas de Ciencias del Mar, Ingeniería Mecánica, Geografía y Arquitectura y Diseño de la Universidad. Desde la especialidad de cada disciplina, se estudia la realidad de todos los poblados del Fiordo, basado en la Tesis de "Maritorio" (UCV, Escuela de Arquitectura, 1971).

Ella plantea que para que se pueda fundar un poblado, es necesario la existencia de cuatro realidades: "a. La fuente económica; b. La vivienda y su equipamiento; c. La energía; d. La circulación." (Ivelic, 2005)

Esta tesis se basa en las realidades distintas. A partir de la segunda mitad del siglo XX empezó el desarrollo práctico de la utilización de la fuerza de sustentación generada sobre un perfil hidrodinámico (ala) por una corriente de agua. Colocando perfiles hidrodinámicos debajo del casco de una embarcación se puede lograr que a partir de una cierta velocidad, la sustentación generada sobre el ala logre levantarlo completamente. Diminuyéndose así la fuerza de arrastre sobre la embarcación, Se evita además el golpeteo de las

olas de corta longitud de onda sobre ella. Partimos en este encargo sobre el supuesto de adoptar las hidroalas, que serían la tecnología más adecuada para la realidad de la región.

Actualidad del Encargo

Hornopirén está ubicado a 109 kilómetros de Puerto Montt, para llegar al pueblo hay que trasladarse por caminos de tierra y cruzar en transbordador el estuario de Reloncaví lo que demora aproximadamente cinco horas.

De Hornopirén zarpan todas las embarcaciones a las islas aledañas, ya que es el poblado más cercano que cuenta con la infraestructura mínima para abastecimiento.

A pesar de esto, el transporte marítimo no tiene el desarrollo adecuado, no hay muelles ni embarcaciones públicas.

Las dificultades que presenta el aislamiento, han generado que la población tienda a abandonar sus asentamientos en el fiordo, trasladándose a Hornopirén donde cuentan con escuelas, atención básica de salud y supermercado.

La población ha tenido un importante crecimiento en los últimos años, debido a la instalación de empresas salmoneras. Si bien estas instalaciones son las que generan empleo y crean infraestructura como muelles, casas, bodegas y oficinas flotantes, tienen un carácter netamente privado, industrial y no fundacional.

En esta región la cordillera se funde en el mar, disgregando la tierra con abruptos acantilado, lo

que imposibilita unir por carreteras las múltiples islas, y así el territorio nacional.

Existe un proyecto para construir la parte faltante de la carretera austral, pero se encuentra suspendido y no se ha llegado a acuerdo por discusiones de carácter medioambiental.

Otra forma de unir la población es por medio de transporte marítimo, pero sólo cuentan con las embarcaciones que posee cada familia, por lo general chalupones, embarcaciones de gran capacidad, que no necesitan de mantención constante, pero son extremadamente lentas. Las lanchas de velocidad no están al alcance económico de los colonos, además son muy maltratadas por la ola corta y materiales en suspensión.

En la información disponible en Chile no hay antecedentes sobre la utilización de hidroalas en monocascos, sólo embarcaciones semisumergidas utilizadas con fines turísticos. Tampoco, sobre el comportamiento de una embarcación con hidroalas para las condiciones típicas de la región austral.

Se requiere optimizar el diseño de un perfil hidrodinámico a través de un modelo: probar diferentes tipos de curvatura, explorar la posibilidad de utilizar alerones delanteros o de cola, determinar las orientaciones de los perfiles bajo el casco para garantizar la estabilidad de la embarcación, hasta una velocidad de navegación máxima requerida y por último determinar los requerimientos de potencia para generar esta velocidad, etc.

Importancia de resolver el problema

Para evitar el despoblamiento de los asentamientos en los fiordos y que no se convierta en sólo zona industrial, que será olvidada y abandonada con la desaparición de las salmoneras. "Jamás un campamento podrá ser ciudad. Un campamento por definición encierra una sola empresa guiada por una sola intención. Todo estas provisto por la empresa. La escuela, el hospital. La casa, la comida, la diversión, el trabajo, el salario y el ahorro." (Varios autores,1986)

Es necesario crear vínculos que faciliten la vida a las personas que aún habitan el fiordo, con la obtención de suministros, educación y asistencia médica.

"Por eso un campamento nunca podrá ser ciudad. Lo propio de ella es la multiplicidad, lo ordinario con lo extraordinario, la posibilidad, la inestabilidad, el negocio y el ocio." (Varios autores, 1986)
El mar es el único medio en que se pueden comunicar a los colonos.

Al incorporar la navegación con hidroalas los tiempos de viajes disminuirían considerablemente, solucionando en gran medida los problemas de transporte, especialmente en casos de emergencia. Se introduciría una tecnología prácticamente inexistente en nuestro país, a una embarcación menor pensada para responder a la problemática planteada, que se cree, será la más adecuada para la Patagonia Occidental.

Esta tesis quiere demostrar estos supuestos.

Propósito

Propósito general

Diseñar y equipar una lancha de alta velocidad, para navegar por los fiordos del sur de Chile. Adecuada a las condiciones climáticas, a la ola corta, a los sedimentos y polifuncional para las necesidades de sus habitantes.

Propósitos específicos

1. Introducir en Chile la tecnología de embarcaciones con hidroala.
2. Desarrollar modelos a escala para realizar pruebas de funcionamiento de una embarcación con hidroala.
3. Diseñar una embarcación permita llegar a cualquier borde costero, ante la carencia de infraestructura portuaria.

Fundamento, estudio de la zona.

Ubicación

El Fiordo Comau, ubicado en la región de los lagos, se extiende al sur de Hornopirén en dirección norte sur. Es parte de una falla estructural longitudinal de 68 kilómetros y su ancho varía entre 1 y 3 kilómetros.

La profundidad del fiordo es mayor a 250 m, con un máximo de 490 m. en su centro.



Mapa de la región.

Se trata de un área en que la Cordillera de Los Andes se une con el mar, con elevados acantilados. No hay costa, sino que quebradas abruptas y rocosas. No hay islas en el interior del fiordo, sólo las que se encuentran en la boca del canal.



La morfología del fiordo es abrupta con elevados acantilados que continúan bajo el mar.

La costa del canal, por lo general, aumenta abruptamente a más de 1900 m sobre el nivel del mar, continuando esta pendiente bajo el agua, con muros empinados que rápidamente aumentan en profundidad.

Los acantilados que bordean el fiordo son ocasionalmente interrumpidos por barrancos o valles con una pequeña bahía producida por el flujo de un estero o río caudaloso, es aquí donde se ubican los asentamientos.

Las mareas son muy variables, la amplitud diaria puede cambiar de 7 metros a 2 metros en un mes, según la fase lunar. Esto permite a los lugareños, varar y flotar sus botes fácilmente. Además, las aguas cubren y descubren grandes porciones de costa, permitiendo que se origine una variada gama de organismos adaptados a cambios ambientales extremos.



La magnitud de las mareas descubre grandes porciones de costa.

En condiciones normales las corrientes causadas por el oleaje tienen escaso efecto, variando en velocidad entre uno a dos nudos. Durante los meses de invierno, la corriente saliente puede aumentar levemente en intensidad por el aumento de agua dulce desde los ríos y canales que entran en el brazo del estuario.

Las marejadas desde el mar abierto son casi inexistentes por la interferencia de la isla de Chiloé y la orientación del Fiordo.

Las aguas son normalmente tranquilas, a excepción de la presencia de las olas trocoidales, de pequeña altura y largo, causadas por el viento. Éstas se producen principalmente por los vientos encauzados por las empinadas paredes rocosas del fiordo.

Las marejadas producidas por este viento tienen su máxima altura en la boca del Canal Comau, alcanzando 5 a 6 metros de largo y 60 a 80 centímetros de altura. Ocasionalmente, los vientos pueden golpear la zona con gran violencia y producir riesgo para las embarcaciones menores. Normalmente la velocidad del viento es de 5,4 km/h. En días con más viento, las ráfagas podrán exceder los 65 km/h.

Estas condiciones cambian radicalmente en caso de temporal, ocasionando incluso el cierre de puertos por días.

Hornopirén, comuna de Hualaihué.

La Comuna de Hualaihué, es una de las más extensas de la Provincia de Palena y da inicio a la carretera austral. Tiene una superficie de 2788 km² y el total de la población de la comuna es de 8452 habitantes, de este un total de 70.92% corresponde a población rural, mientras que el 29.08% lo constituye población urbana. Hornopirén es la capital administrativa de la comuna, se ubica a 109 kilómetros al sur de la ciudad de Puerto Montt.



Hornopirén capital administrativa de la comuna.

En Hornopirén no existen bancos, cajeros automáticos, farmacias, ni hospital. Pero cuenta con atención básica de salud pública. Tenencia de

Carabineros, iglesia, internado, minimarket, vulcanizaciones y bencinera. Desde Hornopirén zarpan todas las embarcaciones ya que es el lugar más próximo para los pescadores artesanales que viven en pequeñas caletas ubicadas a lo largo del borde costero e islas aledañas, que cuenta con la infraestructura mínima para abastecerse o poder llegar a Puerto Montt por vía terrestre.



Muelles y sitios donde llega parte importante de las embarcaciones del lugar.

Vías y transporte.

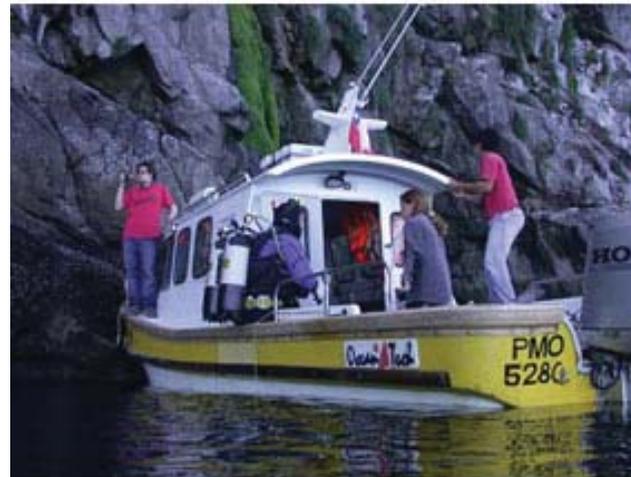
Para acceder al pueblo en forma terrestre desde Puerto Montt, es necesario trasladarse por el inicio de la carretera austral, sobre superficie de asfalto al principio y luego grava, pasando por las localidades de Chamiza, Quillaípe, Metri, Lenca, Chaicas, hasta llegar a caleta La Arena en donde se debe cruzar el estuario de Reloncaví en transbordador. Son aproximadamente 30 minutos de navegación, llegando hasta Caleta Puelche lugar en donde comienza la comuna y renace la carretera.



Cruce en transbordador del estuario de reloncaví.

El tramo Puerto Montt-Hornopirén está cubierto por dos empresas de buses en un trayecto de hasta 5 horas en llegar a destino.

Los trasbordadores que cruzan de Caleta La Arena a Caleta Puelche zarpan de 7:15 a 20:00 horas, interrumpiendo el servicio en casos de temporal. Otra alternativa para cruzar hasta Caleta Gonzalo son los transbordadores Maillén y Tehuelche, que operan sólo en verano. No existe un medio de transporte público por lo que los habitantes se deben transportar en sus propias embarcaciones o lanchas pertenecientes a la fundación Huinay o de Douglas Thompkins. Estos salen dos veces por semana, pero dependiendo de la disponibilidad que tengan.



Lancha de la fundación Huinay que ofrece transporte a los habitantes en sus recorridos semanales.

El camino que bordea la costa fue creado en los años 60 gracias al aporte de la empresa privada. Actualmente se intenta retomar el proyecto

suspendido en el año 1981. Por lo tanto no se ha construido los 64 kilómetros de camino faltante entre el fiordo Quintupeu-Vodudahue y Vodudahue-El Peñón, ya que la Carretera Austral llega solamente hasta Pichanco, poblado distante 27 kilómetros al sur de Hornopirén.

Se discute si se tratará de un camino costero o por el interior. En ambos casos tendría que pasar por el Parque Pumalín, futuro Santuario de la Naturaleza. Pero el gestor y financista del Pumalín, Douglas Tompkins se opone tenazmente a su concreción sustentado en razones medioambientales.



Los principales caminos son de grava en su mayoría.

Si bien es imposible trazar una carretera que conecte las múltiples islas, el transporte marítimo público es inexistente, considerando que gran parte de los poblados se encuentra en la costa.

Las embarcaciones con que cuentan los colonos, se denominan “chalupones”, son construidos por ellos mismos y con materiales del lugar, sin alto nivel de mantención y pueden ser utilizados todo el año. Sin embargo son extremadamente lentas, tardando entre 1 y 5 horas. A esto se suma la falta de una carretera pavimentada hasta Puerto Montt. Quedan así completamente desamparados ante cualquier emergencia y sus necesidades básicas se ven limitadas.



Chalupones, medio de transporte de los colonos.

Las salmoneras han de introducir lanchas de alta velocidad a la zona. Pero la ola corta del fiordo, produce daños en el casco y los motores, reduciendo su vida útil y obligando a bajar la velocidad, también es imposible el uso de waterjets por los sedimentos que obstruyen las turbinas. Las embarcaciones de fibra de vidrio, se ven dañada por la ola corta, fracturándolas con facilidad. Por otra parte la radiación ultravioleta

fragiliza aún más este material y no se cuenta con personal especializado para su reparación. La importancia de introducir en la zona una embarcación que sea rápida, eficiente, económica y cómoda es de vital importancia, ya que el mar es el único medio por el cual se pueden conectar los colonos que aún viven en la zona.



Centro de engorda de las salmoneras, estructura flotante en red con las bodegas, oficinas y casas flotantes construidas en ferrocemento.

Actividad económica.

Las principales actividades económicas de la localidad son el turismo, sólo por temporada de verano, los servicios y el cultivo de especies marinas, principalmente de salmón.

La instalación de salmoneras constituye un importante aporte al crecimiento de la población, sólo una salmonera trae consigo a 400 personas. En los últimos 16 años la población ha aumentado en un 800%, y una parte importante se debe a las salmoneras.

Con ello ha aumentado el número de embarcaciones e infraestructura, introduciendo nuevos materiales a la zona, además de casas, oficinas y bodegas flotantes construidas en ferrocemento.

Embarcaciones de la zona

Embarcaciones de los colonos

Existen principalmente Chalupones, embarcaciones de madera utilizadas por los habitantes de la zona dedicados a la pesca. La configuración de ésta varía respecto a la ubicación de la cabina, pudiendo estar ubicada en la Proa o Popa, dependiendo del uso que se le de a la embarcación y el tipo de transmisión que utilice el motor y su ubicación. El transporte por este medio es bastante lento, pues la velocidad promedio que alcanzan es de 5 a 6 nudos.



Embarcación utilizadas y construídas por los habitantes.

Otro uso de estas embarcaciones es en el transporte de pasajeros y cargas, absolutamente

necesarias para que los colonos puedan llevar los enseres necesarios al lugar en que habitan desde Puerto Montt.

Este tipo de embarcaciones fabricadas en su mayoría de madera, soportan fuertes esfuerzos mecánicos. Pueden llegar fácilmente a la orilla de la playa y varar gracias a la amplitud de marea. Pero su velocidad de desplazamiento se ve afectada por tener un sistema de impulsión inadecuado, tanto el diseño y tamaño de la hélice, como la poca potencia del motor.



Los chalupones varan en la playa zarpando con facilidad por la amplitud de marea.

Embarcaciones de trabajo en pvc

Las embarcaciones de pvc tienen un costo similar a las de fibra de vidrio. Son más pesadas pero más resistentes. Se utilizan para transportar el personal y los materiales de mantenimiento de las jaulas salmoneras. Solamente se mueven entre las plataformas flotantes, de engorda, bodega, casas y casino.

La reparación es más fácil, ya que se emplea soldadura por inyección de calor. Tienen por lo general 8 metros de eslora, 3 metros de manga y 80 centímetros de calado, pesa 800 kilogramos y puede cargar 1.3 toneladas. Utilizan motores fuera de borda de 50 hp de potencia y desarrollan 3.5 nudos de velocidad.



Lancha de pvc usada en salmoneras.

Embarcaciones rápidas

Las lanchas rápidas, son en su mayoría utilizadas por las salmoneras y suelen ser de aluminio, construidas en los astilleros de la zona. Son de planeo para mejorar su velocidad y rendimiento.



Lancha rápida utiliza por las salmones

Su eslora de 8.30 metros, 2.40 metros de manga, 30 centímetros de calado y 90 centímetros de puntal. Se diseñan para transportar 10 personas o una carga máxima de 2.5 toneladas. Cuentan con dos motores fuera de borda de 100 hp cada uno. Estos motores son adaptados para ser utilizados con gas y que disminuyen el costo y la contaminación, pero pierden entre un 20 y un 25% de su potencia, desarrollando 18 nudos como máximo. Estas lanchas son equipadas con dos bombas de achique, una manual y otra automática.

automática. Además cuentan con sonda, radar y radio de dos bandas. El asiento del piloto es con amortiguación, ya que la parte delantera de la embarcación, es la zona más afectada por el golpe de la ola. El costo de esta embarcación es de 12 millones de pesos y de 4 millones cada motor.



Otras embarcaciones de la zona

También existen embarcaciones de transporte de pasajeros, las que no pueden circular siempre a máxima velocidad, debido a la ola corta, que produce molestas vibraciones en la lancha. Para evitarlas, navegan a velocidades cercanas a los 20 nudos, nunca sobrepasando los 30 por motivos de seguridad.

Estas embarcaciones por lo general no son de uso público, de modo que los horarios y la frecuencia de viajes que realizan a la semana, por lo general 2; depende exclusivamente de las empresas o de sus dueños.



Embarcaciones de la fundación Huinay.

Construcción lanchas de aluminio

Sitecna es un astillero dedicado a la fabricación de lanchas de aluminio, de gran versatilidad. Las lanchas se construyen dependiendo de su tamaño y las especificaciones del comprador demorando de dos semanas a cuatro meses.



Lancha de velocidad en aluminio construida por Sitecna.

El proceso constructivo de la lancha consiste en placas de aluminio cortadas de forma manual, siguiendo matrices previamente diseñadas para cada casco y tamaño. Estas planchas son soldadas posteriormente para configurar el casco, primero se unen algunos puntos con soldadura y una vez que las piezas están en la posición correcta, se hace una unión continua.



Armado del casco.



La ventaja de la aleación de aluminio utilizada (aleación aluminio magnesio, de la serie 5000) es que permite la soldadura y ésta tiene las mismas propiedades mecánicas del aluminio en sí. Por lo que una lancha se fabrica íntegramente por la unión del aluminio con la soldadura, sin el uso de remaches u otro tipo de uniones.

Este tipo de construcción permite que para reparaciones, el trozo dañado de la embarcación pueda ser extraído y reemplazado por uno nuevo sin mayores complicaciones, así también se pueden alargar los cascos de un modelo de lancha determinado e incluso en casos específicos se puede ensanchar.

Las embarcaciones de aluminio pueden ser lanzadas al mar, inmediatamente terminadas, sin necesidad de pintura, pues este material es inmune a la corrosión, sólo se ve afecto por corrosión galvanica. Incluso la fauna que suele adherirse a los cascos se puede remover fácilmente. La empresa entrega las embarcaciones con todos los sistemas operativos incluidos, esto es motor, radares, radios y equipamiento interior. Las embarcaciones salen de la empresa en remolques y están listas para ser echadas al mar.

El sistema de propulsión más usado sigue siendo el de motores fuera de borda, de unos 100 HP. Aunque se han tratado de introducir los waterjets, estos no han proliferado debido a la alta sedimentación de las aguas lo que termina tapando y dañando los propulsores.

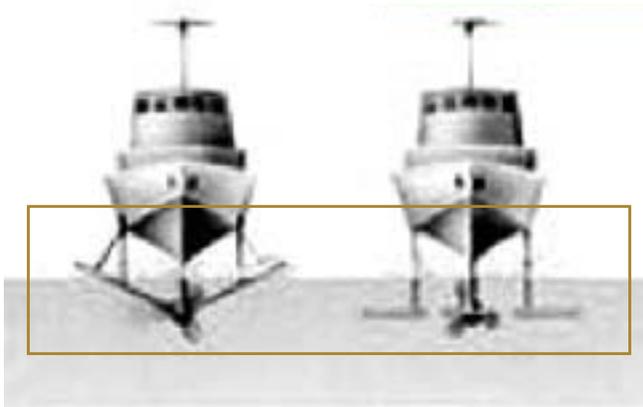


Sistema de propulsión por water jets.

Embarcación con hidroalas

Definición

Una embarcación con hidroala, es una embarcación que cuenta con un perfil hidrodinámico bajo el agua que le permite mejorar su desempeño, aumentando la velocidad y disminuir el roce.



Hidroalas

La hidroala es una estructura semejante a un ala de avión, que se coloca bajo el agua, actúa levantando el casco.

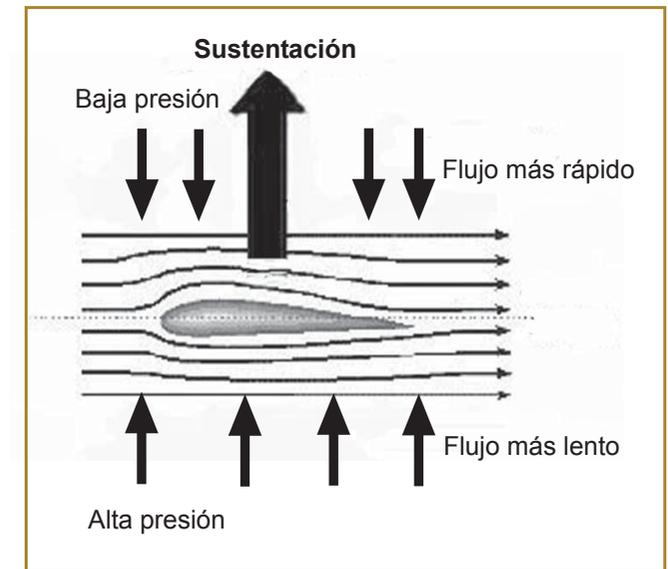
Esta ala tiene un perfil hidrodinámico que crea una diferencia de presión entre las superficie superior e inferior, cuando se desplaza de forma paralela al flujo.



Perfil hidrodinámico

Perfil hidrodinámico

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 produce la sustentación perpendicular al flujo y la fuerza de arrastre paralela a él. Esta sustentación permite levantar el casco del agua, haciendo que este se deslice solo sobre las hidroalas. Al reducir la superficie de la embarcación que esta en contacto con el agua se disminuye notablemente el roce y se puede aumentar la velocidad. La razón arrastre/sustentación en las embarcaciones normales es mucho mayor que la de una con hidroalas.



Historia

Primeras embarcaciones con hidroalas

A principios del siglo XX se comenzó a experimentar con embarcaciones con hidroalas. Esto con la finalidad de mejorar el desempeño de las embarcaciones.

El primero en lograr éxito en el desarrollo de las embarcaciones con hidroalas fue Enrique Forlanini en 1906, demostrando el desplazamiento de una embarcación de 1.65 toneladas, que alcanzó la velocidad de 38 nudos con un motor de 75 HP. Forlanini utilizó un perfil en forma de escalera con cero ángulo diedro.



Embarcación con hidroala diseñada por Forlanini

Uno de los pioneros en el desarrollo de estas embarcaciones y que mayor éxito consiguió fue Alexander Graham Bell quien junto a Casey

Baldwin construyeron el HD-4, una embarcación con hidroalas en forma de escalera con tres puntos de apoyo y un poco de ángulo diedro, la razón sustentación/arrastre de los perfiles era de 7/8. Y el 19 de Septiembre de 1919 alcanzó una velocidad de 61.6 nudos.



Embarcación con hidroala HD-4

Los mayores logros los obtuvo Von Schertel, quien entre 1927 y 1937 desarrolló el sistema de perfil de superficie perforada con configuración Tandem. Este modelo de hidroala sería desarrollado, posteriormente, por la firma Supramar de Suiza a principios de 1950.

Durante la Segunda Guerra Mundial, varios tipos de embarcaciones de este tipo se desarrollaron, tanto para el uso civil como militar.



Embarcaciones diseñadas por von Schertel

Posteriormente se desarrollaron embarcaciones con perfil perforado en proa y perfil completamente sumergido en popa. Para finalmente llegar al diseño más reciente de embarcaciones que funcionan con perfiles completamente sumergidos.

El mayor apogeo de las embarcaciones con hidroalas se logró entre las décadas del 70 y el 80.



Embarcaciones con hidroala para transporte de pasajeros

El primer país en operar embarcaciones con hidroala fue Italia, quien el 15 de mayo de 1953 puso en servicio una pequeña embarcación de la clase PT10, construida por el astillero Rodríguez, la cual era capaz de transportar a 3 pasajeros a una velocidad de 40 nudos. Esta embarcación operada por Supramar navegaba en el lago Maggiore, lago Italiano-suizo ubicado en los alpes. Los italianos instauraron una flota de ferry con hidroalas para el transporte de pasajeros en la zona de los alpes, de los cuales el ultimo en ser retirado del servicio lo hizo en el 2003.



Freccia d'Oro, primera embarcación con hidroala para transporte de pasajeros utilizada en Italia



Freccia di Gard, 1958

Otro de los países pioneros en la implementación de ferry con hidroalas fue Noruega. En mayo de 1960 fue puesto en servicio la primera embarcación con hidroala para unir los pueblos de Stavengen y Bergen. Se instauró también un servicio de ferries con hidroalas que resultó bastante más eficiente que el servicio prestado por embarcaciones tradicionales. El último ferry con hidroala en ser sacado del servicio fue el "Tiesten" en 1987.



Embarcación con hidroalas noruega

La Unión Soviética experimentó extensamente con embarcaciones con hidroala, construyendo embarcaciones de este tipo para ríos y como ferry, especialmente durante los años 70 y 80. Estas embarcaciones incluyen la Raketa (1957) y otras de las clases Meteor y Voskhod.

En América Latina también se emplearon ferry con hidroala, el primero en ser puesto en servicio lo hizo en 1963 para cubrir la ruta Buenos Aires, Argentina y Colonia, Uruguay. Esta embarcación de la clase PT50 tuvo gran éxito, por lo que se incorporaron tres más al servicio, estas permanecieron activas por cerca de 35 años.



Embarcación con hidroala clase meteor

Embarcaciones con hidroala para uso militar

Los primeros en tratar de introducir embarcaciones con hidroala como embarcaciones de combate fueron los alemanes, antes de la Segunda Guerra Mundial de la mano de Von Schertel. Más adelante crearon una flota de patrulleras con hidroalas para operar en el Rin, estas embarcaciones de la clase PT3 construidas por Supramar entraron en servicio a finales de la década de los 70s y operaban a una velocidad cercana a los 57 km/h, con un desplazamiento de tres toneladas.



Posteriormente la armada estadounidense decidió incorporar embarcaciones de este tipo a su flota. La primera embarcación con hidroala en entrar en servicio fue el High Point (PCH1) en 1962 y más tarde se construyó el Plainview.



Plainview

Luego se construyeron dos misileras la Flagstaff y la Tucumcari que sirvieron en Vietnam.



Tucumcari

En la década del 70 las marinas de Estados Unidos, Reino Unido, Italia y Alemania se unieron para compartir los gastos en el desarrollo de una flota de embarcaciones de combate con hidroalas.

Finalmente sólo Estados Unidos permaneció en el proyecto y la primera de estas embarcaciones en entrar en servicio fue el USS Pegasus en 1974. A todas las embarcaciones de combate con hidroala se les asignó la clase Pegasus (PHM) y fueron retiradas del servicio en 1993.



Pegasus

Otros países que incorporaron hidroalas a sus flotas fueron Italia, Canadá y Rusia.



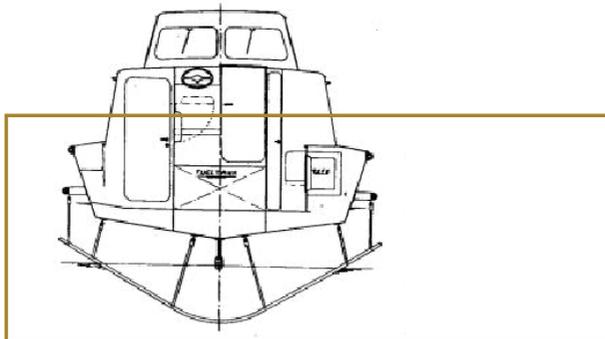
Embarcación con hidroala de la marina italiana.

Tipos de hidroalas usadas en embarcaciones

Embarcaciones con hidroala de superficie perforada

Esta denominación se le da a las embarcaciones cuya hidroala esta diseñada para funcionar tanto en el agua como en contacto con el aire. Una parte de ella permanece siempre en el agua mientras se desplaza, sin embargo, otra parte puede estar en contacto con el aire sin afectar la sustentación de la embarcación.

Una de las ventajas de esta configuración de hidroala es que pueden auto estabilizarse gracias al ángulo diedro, tanto en el giro como al momento del despegue. Pero son altamente sensibles al oleaje, por lo que solo pueden operar en aguas calmas como lagos, ríos o bahías protegidas.

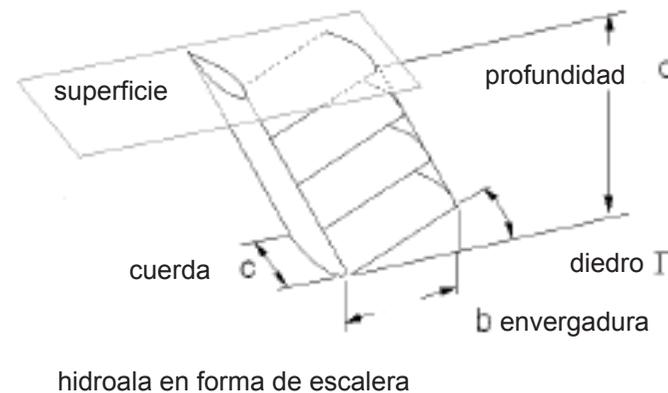


Hidroala de superficie perforada.

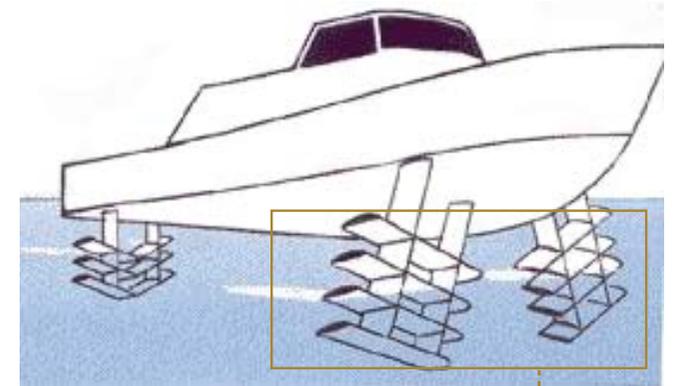
Hidroala en forma de escalera (Ladder foil)

Reciben este nombre pues están constituidas por una serie de perfiles hidrodinámicos puestos a igual distancia, lo que le da una forma similar a una escalera.

Esta configuración de hidroala fue la primera en desarrollarse, pero resultó ser la más inestable y la que generó más arrastre. Su comportamiento es similar a un perfil en "V" cuando se encuentra parcialmente sumergido y similar a un perfil en T cuando se encuentra totalmente sumergido. Fue esta configuración de hidroala la que utilizaron Bell y Baldwin al diseñar el HD-4, embarcación que alcanzó una velocidad de 61.6 nudos en 1919.



hidroala en forma de escalera

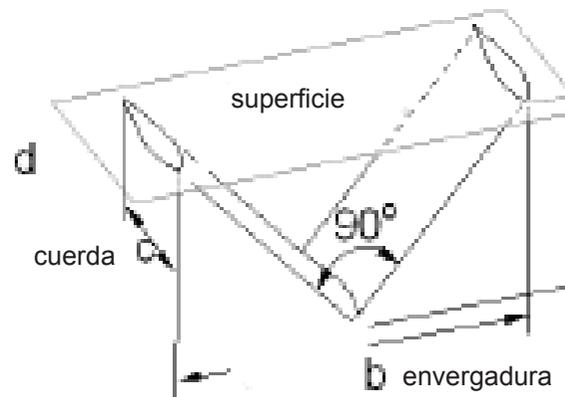


Hidroala de superficie perforada en forma de escalera

Hidroala en forma de "V" o "W"

Esta configuración de hidroala ha sido ampliamente usada en embarcaciones de transporte de pasajeros y cuenta con la ventaja de auto estabilizarse gracias al ángulo diedro que forman sus perfiles alares.

Su mayor efectividad se da en aguas calmas y profundas, donde la presencia de olas sea casi inexistente. La profundidad es necesaria, debido a la gran envergadura de estos perfiles, a mayor profundidad mayor sustentación logra el hidroala.

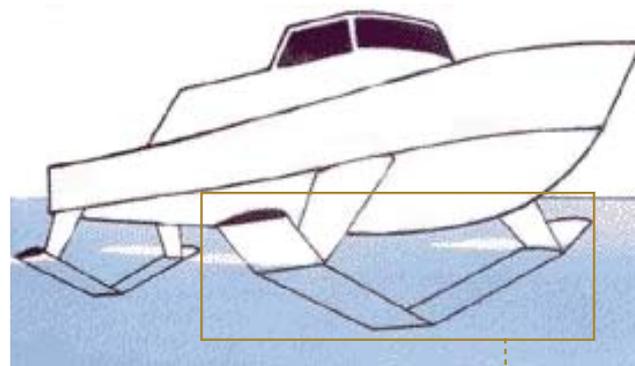


Hidroala en forma de V

Los efectos negativos de las olas sobre este tipo de hidroalas se da de dos maneras:

a. Cuando entra en una ola, la profundidad del agua sobre el perfil aumenta por lo tanto hay una

mayor superficie mojada, produciendo mayor sustentación. Pero esto no es un efecto deseado, el aumento de sustentación impulsa la embarcación fuera del agua, incluso en ocasiones la hidroala puede salir completamente del agua creando una repentina pérdida de sustentación de la embarcación, haciendo que esta caiga violentamente. b. En tanto que al enfrentarse la embarcación al valle de una ola ocurre lo contrario, la disminución de agua sobre la hidroala hace que esta pierda sustentación y no sea capaz de levantar el casco por sobre el agua. Estas constantes variaciones en la sustentación, al someter la embarcación al oleaje, hacen que la navegación sea bastante incómoda para los pasajeros.



Hidroala de superficie perforada en forma de "V"

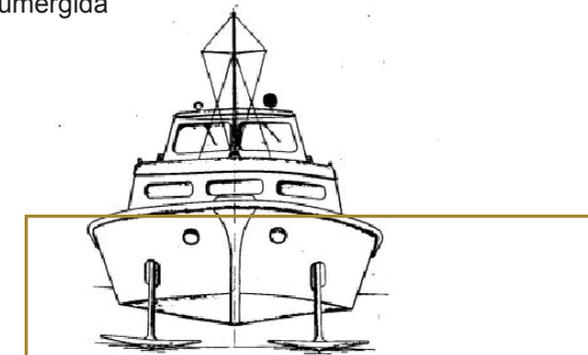
Embarcaciones con hidroala de superficie completamente sumergida

Esta clasificación se le da a las embarcaciones cuya hidroala está diseñada para funcionar únicamente en un medio líquido, sin interactuar con el aire. Dentro de este tipo de hidroalas encontramos las en forma de "T" invertida. El hecho de estar completamente sumergida proporciona una navegación mucho más placentera y le permite operar en aguas más turbulentas, ya que no se ve afectada por las olas.

Su desventaja es la incapacidad de auto-estabilizarse y fue este mismo hecho lo que retrasó su desarrollo; hasta que se desarrollaron las tecnologías necesarias para lograr su óptimo funcionamiento.

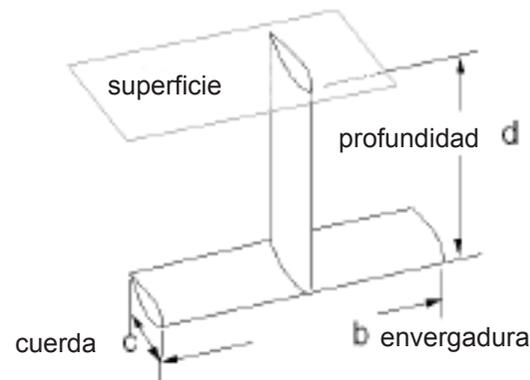
Se utilizan principalmente, en embarcaciones menores de velocidad y en embarcaciones de guerra.

Hidroala de superficie completamente sumergida



Hidroala en forma de "T" invertida (T-foil)

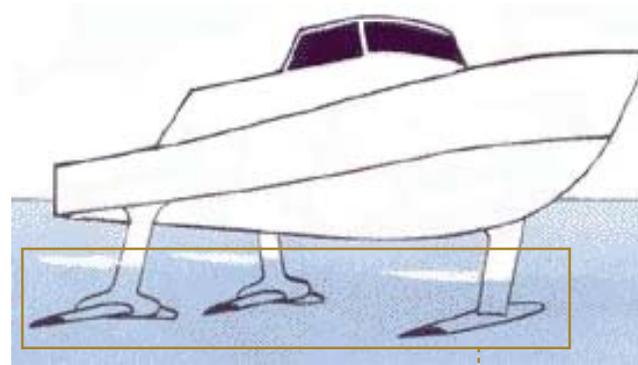
Este modelo de hidroala es insensible a la profundidad por lo que se le deben agregar sensores para determinar a que profundidad se encuentra y de esa manera regular el ángulo de ataque para poder producir la sustentación deseada, así la embarcación funcione de manera optima. Sus ventajas son las de navegar en aguas turbulentas, pues no son afectados por las olas, además al estar completamente sumergida reduce el cabeceo y es el modelo de hidroala que menor arrastre produce.



Hidroala en forma de T

El mayor problema al que pueden enfrentarse este tipo de hidroalas es al contacto con el aire, esto se puede producir por una excesiva sustentación

o a una falla en la regulación del ángulo de ataque, como resultado la embarcación pierde inmediatamente sustentación al estar en contacto con el aire y se produce una brusca caída al agua.



Hidroala de superficie completamente sumergida en forma de T

Configuración de las superficies sustentadoras

Superficies sustentadoras en forma de "V"

Las hidroalas de la embarcación tienen forma de "V" tanto en proa como en popa. Esta configuración fue ampliamente utilizada para embarcaciones de transporte de pasajeros en los años 70 y 80 y aún hoy en día sigue utilizándose en los grandes ferry de pasajeros. Su principal ventaja es que se auto estabilizan.



Superficies sustentadoras en forma de "V" y de "T" invertida.

La embarcación consta de una hidroala en forma de "V" en la proa, en tanto que en la popa el hidroala tiene forma de "T" invertida. Esta configuración de superficie sustentadora se utiliza para

embarcaciones que distribuyen la mayor cantidad de su peso en popa. Fueron utilizadas principalmente por las embarcaciones militares rusas.



Superficies sustentadoras en forma de "T" invertida.

Tanto en proa como en popa las hidroalas de la embarcación tienen la forma de una "T" invertida, esta configuración solo se pudo implementar cuando se dispuso de un sistema de sensores adecuado para regular el ángulo de ataque de los perfiles sustentadores. Hoy en día son la configuración más utilizada de hidroala y su mayor éxito se obtuvo en embarcaciones militares.



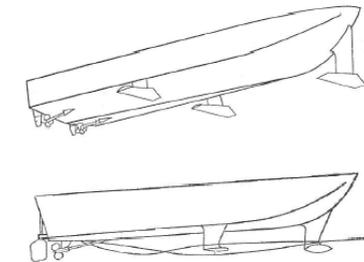
Superficie sustentadora en forma de "T" invertida, en embarcaciones semisustentadas.

Las embarcaciones asistidas por hidroalas, donde el peso es solo parcialmente sustentado por perfiles alares, se han vuelto muy populares. Este tipo de embarcaciones usa perfiles sustentadores en forma de "T" invertida y una parte del casco está siempre en contacto con el agua, simplificando los sistemas de propulsión.



Volga 70

Estas embarcaciones cuentan con un perfil ubicado en la proa y dos perfiles centrales ubicados a cada lado de la embarcación. Una de sus ventajas es la mejora de la estabilidad durante el giro. Además, la distribución del soporte hidrodinámico es uniforme a lo largo de la estructura de la embarcación, reduciendo la inclinación del casco y mejora la reacción al movimiento de las olas.



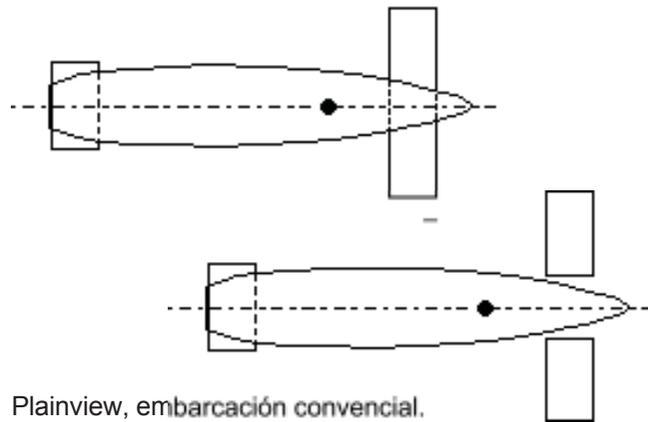
Posición de los perfiles hidrodinámicos en las embarcaciones semisustentadas.

Configuración de acuerdo a la distribución de cargas

Las embarcaciones con hidroalas también se clasifican de acuerdo a la distribución de cargas. Independiente del tipo de hidroala que utilice, dependerá de la sección de la embarcación que soporta la mayor cantidad del peso de ésta. Lo que puede o no coincidir con la ubicación de una de las hidroalas.

Embarcación convencional

El peso de la embarcación se distribuye mayormente en la proa, siendo su porcentaje de un 65% o superior. El peso puede descansar en una hidroala o en dos.

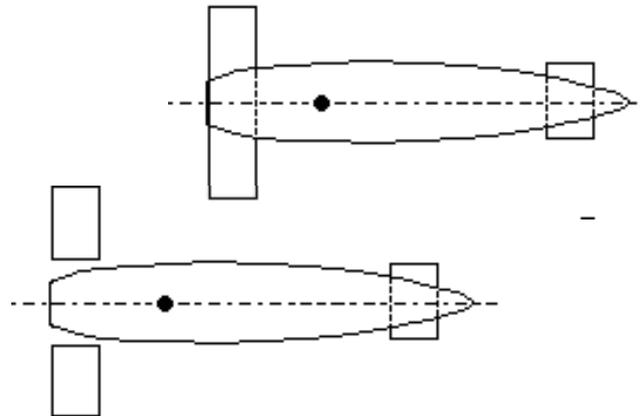


Plainview, embarcación convencional.



Embarcación Canard

Tienen un 65% o más de su peso en la popa de la embarcación distribuido en una sola hidroala o en dos.

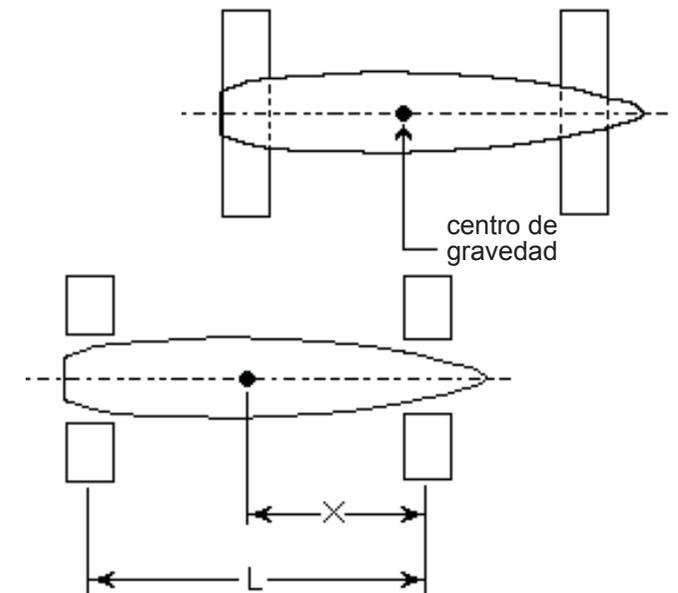


Tucumcari, embarcación tipo Canard.

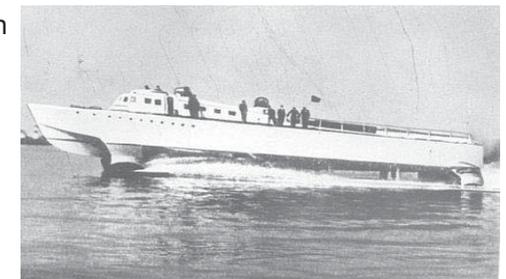


Embarcación Tandem.

Tiene su peso repartido de forma homogénea en las hidroalas de proa y popa. Las hidroalas pueden estar unidas o no.



Embarcación tipo Tandem.



Tipos de embarcaciones con hidroala

Transporte de pasajeros

En distintos países del mundo se establecieron sistemas de transporte público de pasajeros, operados por embarcaciones con hidroalas. Este es el caso de Italia, Noruega y Hungría. En estos países los ferry con hidroalas para el transporte de pasajeros en fiordos y lagos, tuvieron gran éxito durante las décadas del 50 al 70.

Hoy en día este tipo de embarcaciones se siguen utilizando en Holanda, son del tipo "Voshod-2M", operadas por la compañía Connexion Fast Flying Ferries en la ruta entre Viensen y Ámsterdam central, transportando cerca de 700 pasajeros, es el medio de transporte más eficiente para unir estos dos puntos.



Eslora: 27.6 m
 Manga: 6.4m
 Calado desplazándose como embarcación tradicional: 2.1m.
 Calado desplazándose sobre las hidroalas: 1.1m.
 Velocidad máxima: 33 nudos.
 Capacidad: 71 pasajeros.

En Italia se siguen operando este tipo de embarcaciones por la compañía Ustica en la región de Sicilia. Las embarcaciones más importantes con las que cuenta esta empresa son las de tipo "Foilmaster" con capacidad para 240 pasajeros y capaces de navegar a velocidades de 40 nudos.



Embarcación operada por Ustica

También se encuentran en servicio embarcaciones con hidroala para unir las rutas entre Hong Kong y Macav en China.



Embarcación operada por Mahart

En Rusia para conectar las islas Peterhof y San Petersburgo. Hungría también cuenta con embarcaciones con hidroala para conectar Viena con Budapest operadas por la compañía Mahart Passve llevan cerca de 43 años operando este tipo de embarcaciones en el río Danubio durante los meses de marzo a octubre.



Embarcación con hidroala en funcionamiento en Rusia

Militares

Las embarcaciones con hidroala de uso militar más conocidas son las de la clase Pegasus. El primero en entrar en servicio fue el USS Pegasus (PHM-1) el 9 de julio de 1974 y comenzó oficialmente sus funciones en la marina en 1977. Ese mismo año la marina encomendó a la compañía Boeing la construcción de 5 naves más para formar una flota de embarcaciones con hidroala que entrarían en servicio en 1983. El primero en estar listo fue el USS Taurus (PHM-3) el 10 de octubre de 1981, el 18 de diciembre de 1982 se terminó el USS Hercules (PHM-2), el USS Aquilla (PHM-4) se terminó el 26 de Junio de 1982, el 18 de septiembre de 1982 estuvo listo el USS Aries (PHM-5) y finalmente el último en entrar en servicio fue el USS Gemini el 13 de noviembre de 1982.



Embarcaciones de la clase Pegasus

Especificaciones técnicas.

Eslora: 40.5 m.

Manga: 8.5 m.

Propulsión desplazamiento como embarcación tradicional: dos motores diesel de 1600 hp que alcanzaban una velocidad de 12 nudos

Propulsión desplazamiento como embarcación usando las hidroalas: dos turbinas a gas que le permitían alcanzar 48 nudos.

Armamento: baterías de misiles Arpón y ametralladoras de 76 mm.

Tipo de Hidroala: Hidroala completamente sumergida con perfil en forma de T invertida.



USS Taurus PHM-3

La marina canadiense construyó una embarcación con hidroala anti-submarinos, la que llevó el nombre de "Bras d'Or" en 1960, su desplazamiento era de 200 toneladas y era capaz de alcanzar los 63 nudos, las hidroalas de la embarcación eran de superficie perforada.



Embarcación marina Canadiense Bras d'Or

La marina Italiana contaba con 6 embarcaciones de la clase Nibbio a finales de los 70, estas embarcaciones eran capaces de alcanzar los 60 nudos.



Embarcaciones marina italiana

Recreativas

De uso individual con propulsión humana

Usan como medio de propulsión un sistema de transmisión basado en los pedales de bicicleta los que hacen funcionar una hélice de alto rendimiento que mueve a la embarcación, como es el caso del Flying fish diseñado por Allan Abott y Alec Brooks.



Recientemente se han diseñado unas que funcionan sin hélices. El Pumpabike es uno de los modelos con sistemas mecánico de propulsión. El usuario se impulsa mediante saltos, produciendo un movimiento oscilatorio que transmite la energía a la superficie del agua, deslizándose fácil y eficientemente. El diseño portátil, construido en plástico y aluminio, pesa 14 kilos y 2.2 metros de largo. Desarrolla entre 5 y 30 Kph.



Pumpabike

De uso individual con motor.

Son embarcaciones con más estructura que las anteriores, con las que se desea alcanzar mayores velocidades. Por lo general cuentan con un motor fuera de borda o un motor adaptado para funcionar integrado al perfil de popa. El Manta foil es un modelo experimental diseñado por Steve Gresham y Greame Vanner, usa un motor fuera de borda para impulsarse.



Dynafoil es una embarcación para dos personas, usa un motor integrado de 25 hp., pesa 350 lbs. y puede alcanzar 30 mph.



Dynafoil.

Veleros con hidroalas

Corresponden a la clase Moth, que son veleros para una sola persona y cuyas medidas no deben sobrepasar los 3.4m. de eslora, 2.2 metros de manga y pesan 9.5 kilos. Usan hidroalas completamente sumergidas con perfil en forma de "T" invertida, pudiendo sobrepasar los 25 nudos.



Veleros clase Moth.

Los catamaranes C-class son para dos tripulantes, no pueden superar 300 pies cuadrados y 25 pies de eslora. La velocidad máxima lograda por este tipo de embarcaciones es 44 nudos (26).



Catamarán C-class.

Lanchas con hidroalas

Son por lo general embarcaciones menores equipadas con hidroalas las que pueden ser fijas o removibles. Utilizan tanto hidroalas completamente sumergidas como hidroalas de superficie perforada. La propulsión la entregan motores fuera de borda, waterjets o sistemas diseñados especialmente para funcionar integrados a los perfiles de popa.

Talaria IV tiene un casco en V, con un motor de 200 hp., pesa 5140 lbs, logra velocidades entre 25 y 30 nudos. Tiene un sistema hidráulico para plegar las alas, las que utilizan una configuración Canard.



Talaria IV.

Este kit de alas desmontable puede hacer que una embarcación alcance 35 mph. con un motor fuera de borde de 25 hp.



Kit de alas móviles.

Deportes extremos.

A distintos tipos de elementos que permiten practicar deportes extremos se les han incorporado hidroalas para aumentar la velocidad.

Hydro windsurfing es la incorporación de una hidroala en las tabla propulsadas a vela.



Hydro windsurf

Otra modalidad es incorporar elementos a tablas de surf, entre ellas tenemos:
Foilboard, es una tabla con una hidroala integrada, en la que utilizan las olas para deslizarse o ser remolcadas por una embarcación, pesa al rededor de 200 libras.

Foilboard remolcado



Foilboard

Air chair, es una tabla que además de la hidroala cuenta con un soporte para el cuerpo y pies, lo que permite realizar saltos sin desprenderse de ella.
Es producida por la compañía Waterski, pesa entre 9 y 12 libras dependiendo del modelo y puede alcanzar 24 ó 25 mph. con una cuerda de remolque de 75 pies.

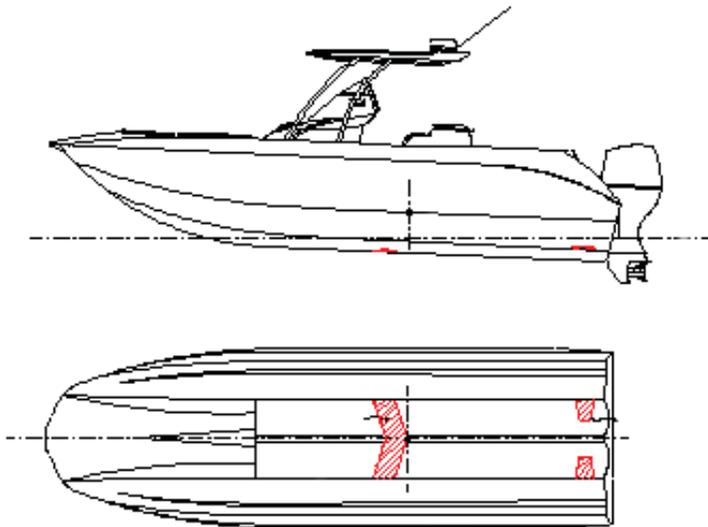


Air chair

Desarrollo reciente de embarcaciones con hidroalas

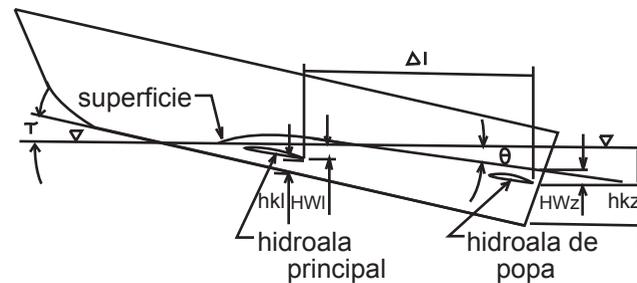
Hysucat

Abreviación en inglés para Catamarán soportado por hidroalas (Hydrofoil supported Catamarán). El principio de esta embarcación es usar un sistema eficiente de hidroalas en el túnel entre los dos cascos del catamarán, donde no afecte la operabilidad de la nave. El sistema de las hidroalas consiste en un perfil principal colocado un poco más adelante que el centro de gravedad, a la altura de las quillas de los cascos y dos perfiles más pequeños ubicados cerca de la popa.



Posición de las alas en el casco.

A velocidad la hidroala crea sustentación dinámica, lo que mantiene el catamarán parcialmente sobre el nivel del agua. De esta forma los cascos del catamarán se mueven a una profundidad menor a través del agua, lo que da como resultado mejor boyantez y fuerzas de sustentación. La resistencia del casco es pequeña. El resto del casco que permanece en contacto con el agua, cuando la embarcación se desplaza a velocidad, proporciona estabilidad transversal y equilibrio.



La configuración de los perfiles es importante para lograr suficiente estabilidad longitudinal y requiere que todos los componentes de las fuerzas del casco y de los perfiles estén en equilibrio alrededor del centro de gravedad a cualquier velocidad. También se han diseñado HYSUCAT para embarcaciones semirígidas. Este sistema fue diseñado por el profesor NG Hoppe en 1997 y reciben el nombre de HYSUCAT RIB (rigid inflatable boat).

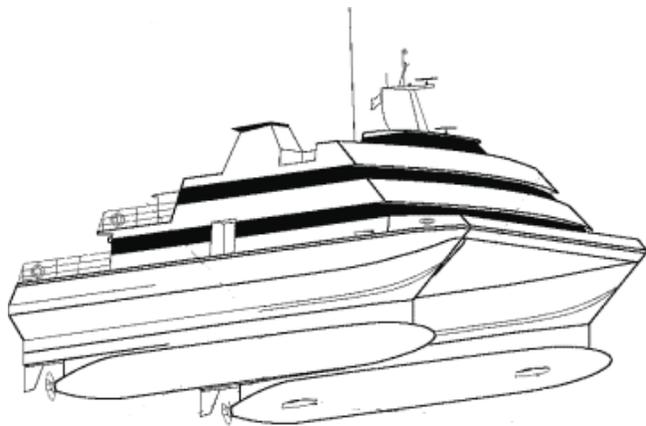


Hysucat RIB.

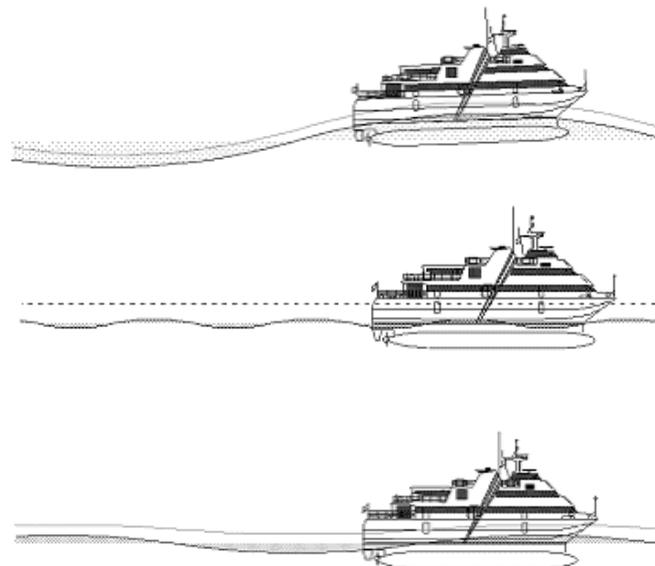
Swath

Las embarcaciones del tipo SWATH (Small waterplane area twin hull) son embarcaciones que llevan la delgada y larga línea de desplazamiento de agua de los catamaranes a extremos, para reducir la resistencia de las olas de forma drástica. Reducen la boyantez de la nave justo por sobre la línea de agua, se minimizan los movimientos verticales de la embarcación y por lo tanto son muy suaves de navegar.

Las embarcaciones Swath tienen por lo general dos cascos con forma de torpedos sumergidos bajo la superficie del agua. Se asemejan a un catamarán, su parte superior está conectada a los cascos sumergidos a través de uno o dos perfiles verticales. La sección de cada perfil vertical es aerodinámica para reducir la resistencia del agua al avance.



Sin embargo, su uso está restringido a embarcaciones de gran tamaño. Restringido por lo delgado que son en la línea de aguas y por toda la maquinaria contenida en los torpedos que forman un casco sumergido, lo que imposibilita una reducción en su tamaño. El acceso a los motores y el espacio para éstos mismos sería inaccesible y por lo tanto no es viable su construcción como embarcación menor de placer. Últimamente una gran cantidad de ferry catamaranes están comenzando a ser fabricados usando la tecnología de los Swath, para reducir el arrastre y alcanzar mayores velocidades.



Desarrollo de embarcaciones con hidroalas en Chile

Hyswas

Abreviación para embarcaciones con hidroala de reducida superficie de agua de planeo (Hydrofoil Small Waterplane Area Ship). Estas naves son una mezcla entre un Swath y una embarcación con hidroala tradicional. La embarcación experimental Quest, es un ejemplo de este tipo de embarcaciones, las que presentan bulbos sumergidos y delgados perfiles verticales que los conectan con la superestructura.

Al estar en puerto o en operaciones a baja velocidad, las Hyswas descansan sobre su casco superior, mientras que a alta velocidad, la línea de agua se mantiene aproximadamente a la mitad de los perfiles verticales, debido a la sustentación proporcionada por las hidroalas sumergidas. Cuando se encuentra en su modo de desplazamiento sobre el agua, la embarcación es inherentemente inestable en el giro y puede ser inestable al cabeceo. Por lo que necesita de un sistema de estabilización para los perfiles, como sucede con las hidroalas de superficie completamente sumergidas.

El rango de velocidad de interés para estas embarcaciones es similar al de las Swath y de las embarcaciones con hidroala. En tanto que mientras se desplaza por sobre el agua, es más fácil de maniobrar que una Swath y tiene mayor rango de maniobrabilidad que una embarcación con hidroalas en aguas agitadas. Sin embargo, a baja velocidad la maniobrabilidad en aguas agitadas es peor que las Swath. Los sistemas de estabilización funcionan de forma más similar a una embarcación con hidroalas tradicional.

Quest, embarcación experimental tipo Hyswas.



La embarcación es sustentada por el bulbo de modo similar a una hidroala.

Hysucat Molly

Es el primer catamarán asistido por hidroalas que se fabricó en Chile, por el astillero Alwoplast. Molly tiene incorporado el sistema diseñado por el profesor Hoppe, el cual fue instalado en enero de 1998.



Sistema de hidroalas incorporadas.

Es una embarcación de 50 pies de eslora diseñada para recorrer los canales de la Patagonia. Después de la instalación de las hidroalas experimentó un incremento en su velocidad de 8 nudos. Durante los primeros 5 años funcionó con Hamilton Jets para mayor velocidad, pero como la alta velocidad

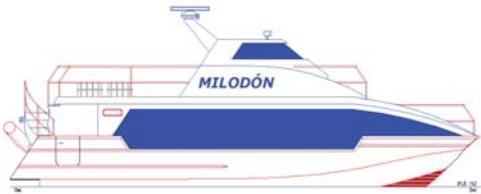
no era una prioridad para la embarcación se cambió a propulsores convencionales dentro de los túneles para ahorrar combustible.



HYSUCAT Molly en funcionamiento.

Hysucat, Ferry 54F4 (Fiordos del Sur)

Este ferry esta basado en un casco en forma de "V" poco pronunciado y asimétrico. Es una embarcación de configuración tandem, donde los perfiles de popa son de ángulo regulable mediante un sistema hidráulico. La embarcación es agradable de navegar y de consumo eficiente de combustible en operaciones a velocidad. Su máxima velocidad es de 50 nudos.



- Eslora: 16.24 m.
- Manga: 5.10 m.
- Puntal: 1.63 m.
- Calado: 0.97 m.
- Desplazamiento liviano: 17.500 kg.
- Desplazamiento máximo: 25.000 kg.
- TRG: 35.67
- Motor: Cummins, modelo QSM-11, rating intermitten.
- Potencia Máxima: 580 HP.
- Warter jets: Hamilton modelo HJ362.
- Tripulación: 4.
- Capacidad de carga: 7.500 kg.

Proceso constructivo

Para la construcción de los cascos de la embarcación se forma un "sándwich" con los materiales, esto es mediante la laminación de dos capas de fibra de vidrio separadas por un alma de espuma u otro material tipo panal de abeja (Honeycomb), lo que permite obtener al final del proceso estructuras más livianas. Con características y propiedades estructurales similares, iguales o

mejores que el acero o el aluminio, pero con un menor peso por metro cuadrado. Además el producto terminado ofrece una estructura altamente resistente al impacto, excelente aislamiento térmico y acústico, además de ser un material autoextinguible. En resumen, los cascos son más flexibles al impacto, son más seguros ya que en caso de tener una ruptura la laminación exterior, la laminación interior e mantiene intacta y la espuma de PCV de celda cerrada, no absorbe el agua. Por lo tanto la embarcación mantiene su capacidad de flotación.



Ferry 54F4 (Fiordos del Sur)

Hidroala como embarcación tradicional.

Una embarcación con hidroala es utilizada, la mayor parte del tiempo, como una embarcación tradicional, sólo cuando se desea alcanzar una gran velocidad es que se emplean las hidroalas. Esto presenta un problema con el aumento del arrastre de la embarcación por parte de las hidroalas. Además cada vez que la embarcación ingresa a puerto o se acerca demasiado al borde costero debe hacerlo como embarcación tradicional para facilitar las operaciones y como medida de protección para las hidroalas.



Uss Pegasus

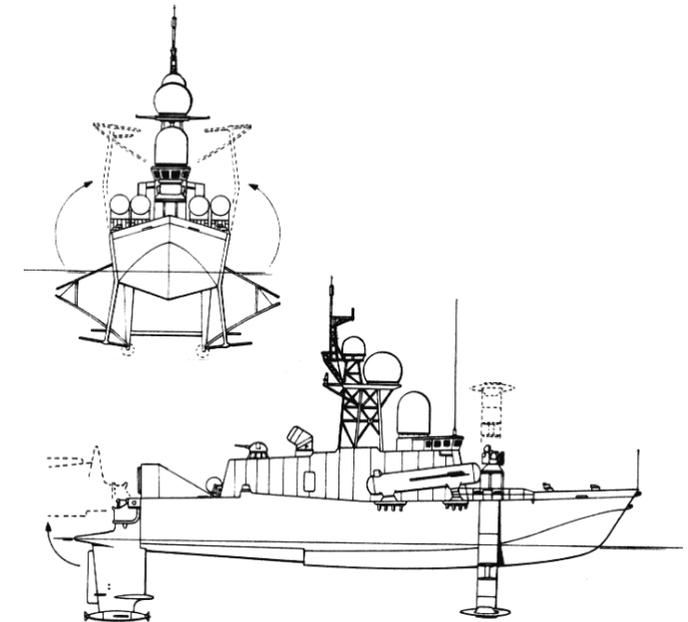
Plegabilidad

Existen embarcaciones con hidroalas que las pliegan para facilitar el uso como embarcación tradicional. Cuando las hidroalas están en desuso,

estas pueden cambiar su posición quedando por sobre la línea de flotación del casco, para no producir así un arrastre adicional. Cuando la embarcación desea desplazarse sobre sus hidroalas, estas vuelven a su posición original. La plegabilidad de los perfiles hidrodinámicos se ha utilizado tanto en embarcaciones de gran tamaño, como menores e incluso en embarcaciones experimentales.



Talaria IV, sus alas se giran sobre la superficie para evitar resistencia en desuso.



Saran, las hidroalas se pliegan al casco, quedando sobre el.

Rotabilidad.

Hidroalas capaces de rotar sobre un eje son otra solución para este tipo de problema. La hidroala esta situada sobre un eje que rota para colocarla por encima del casco. Este tipo de solución resulta altamente eficaz en embarcaciones con hidroalas en forma de "T" invertida.



Plainview, embarcación con hidroalas rotatorias en forma de "T".

Su utilización en hidroalas de superficie perforada dependerá de la ubicación de la hidroala en el casco.



Sistema de giro en embarcaciones de superficie perforada.

Desarmabilidad.

Otra forma de solucionar el problema de la utilización de las hidroalas es que estas puedan montarse y desmontarse. Este sistema de hidroalas diseñado especialmente para un tipo de embarcación, según su capacidad y uso. Pueden armarse y ajustarse cuando se quiera navegar utilizando hidroalas y sacarse para

ser utilizada como embarcación tradicional. Las hidroalas deben ser fáciles de armar y transportar. Las hidroalas desarmables se han utilizado principalmente en embarcaciones menores de tipo recreativas.



Kit de hidroalas desmontable.

Componentes de una embarcación con hidroalas

Casco

La principal razón para usar una embarcación con hidroala es su capacidad de deslizarse por sobre el agua, para reducir los efectos de las olas y el roce. Sin embargo la mayor parte del tiempo estas embarcaciones se desplazan como una embarcación tradicional.

Por lo tanto el casco debe ser hidrodinámico, similar al casco de una embarcación de alta velocidad, esto para poder alcanzar la velocidad suficiente para el despegue y comenzar su desplazamiento sobre las hidroalas.

El casco debe ser capaz de soportar impactos, como el que recibiría en caso de la pérdida de potencia, la repentina pérdida de sustentación o la pérdida de uno de los perfiles, cualquiera de estas situaciones provocaría una brusca caída del casco sobre el agua. También debe soportar los momentos de torsión que ocasionan los perfiles verticales, así como el impacto del agua sobre el casco producto de la estela que generan las hidroalas al desplazarse a velocidad.

Otra factor importante es la distribución de los pesos, el casco debe ser capaz de distribuir las cargas de acuerdo a la configuración con que fue diseñada la embarcación. Esto es Tandem, Canard o convencional.

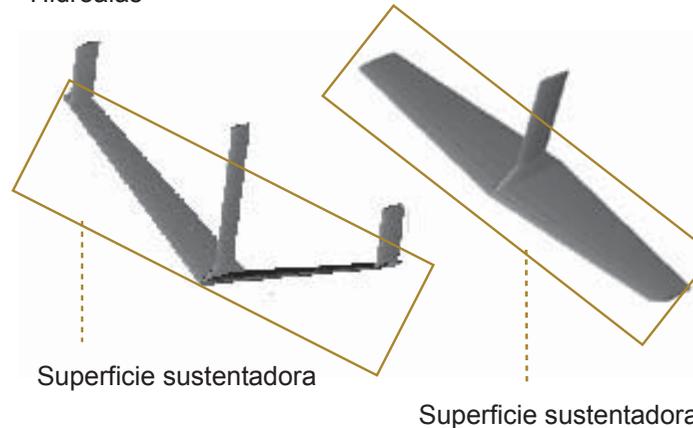
Por lo general los cascos son construidos de Aluminio, debido a que es más liviano que el acero, además de ser altamente resistente a la corrosión y fácil de soldar. Se utiliza aluminio de la serie 5000.



Tipo de casco utilizado en embarcaciones con hidroalas.

Perfil sustentador.

Hidroalas



Es el perfil hidrodinámico que permite levantar la embarcación por sobre el agua. Esto se logra gracias a la sustentación que se produce debido a las diferencias de presión en las caras del perfil, pero la baja presión necesaria para que la sustentación se produzca causa un fenómeno llamado cavitación. La cavitación es altamente dañina para los perfiles llegando incluso a destruirlos.

Es importante considerar la utilización de perfiles “subcavitantes” o “supercavitantes”.

Los perfiles subcavitantes, son muy similares a las alas de un avión subsónico. Su principal problema es conjugar la fuerza suficiente, el peso mínimo y tener la relación más eficiente entre sustentación y arrastre, alcanzando altas velocidades y evitando la cavitación.

La mayoría de estos perfiles se encuentran en las serie 16 ó 23 de la clasificación NACA. Con ellos se puede alcanzar sin riesgo de cavitación una velocidad cercana a los 45 nudos.

Los perfiles supercavitantes, tienen una punta aguzada que genera una burbuja que cubre por completo la superficie del perfil. Esta burbuja colapsa lejos del perfil, por lo que la cavitación no le afecta, pero su mayor problema es la ventilación que puede ocurrir al acercarse a la superficie. Con este tipo de perfiles se pueden alcanzar velocidades cercanas a los 80 nudos.

Otro punto a considerar es el tipo de material que será empleado en su construcción. Estos materiales deben ser resistentes a los impactos, a las torsiones, a la corrosión por efecto del agua de mar y a la erosión producto de la cavitación, además deben tener propiedades aceptables en cuanto a fatiga y ser livianos. Dentro de los

materiales recomendados para la construcción de perfiles se encuentra el titanio, el acero de las clasificaciones HY-80 y HY-100, aluminios de la serie 5000, fibra de vidrio y fibra de carbono.

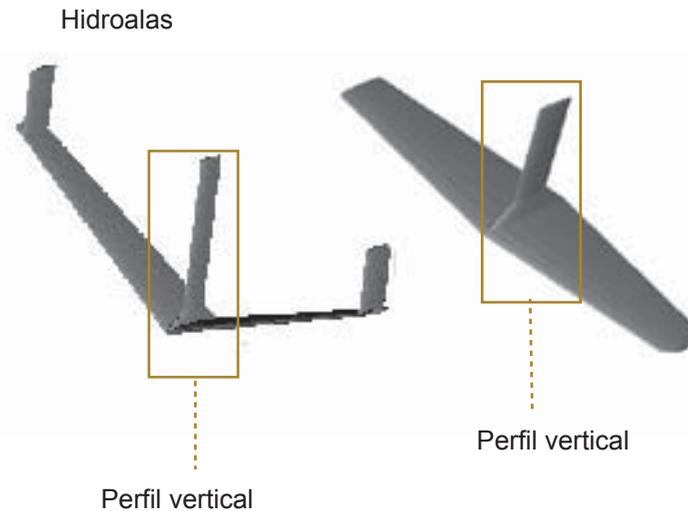
para soportar todo el peso de la embarcación cuando esta se desplaza sobre las hidroalas. Una embarcación tradicional al desplazarse en el agua reparte su peso a lo largo de todo el casco, una embarcación con hidroalas al momento de desplazarse reparte todo el peso en los perfiles verticales por lo que estos se ven sometidos a severos momentos de torsión.

de los pasajeros al subir y bajar las olas con demasiada aceleración vertical. Al calcular la altura del perfil se debe considerar la altura a la que el casco caería en caso de falla de potencia o pérdida de alguno de los perfiles. Así como también la pérdida de potencia debido al roce y al arrastre que ocasionaría un perfil vertical demasiado grande.

Los materiales a considerar para estos perfiles deben cumplir las mismas condiciones que los necesarios para construir un perfil sustentador. Se recomienda además usar un perfil simétrico, que no produzca sustentación y de una serie libre de cavitación (NACA16).



Construcción de perfiles alares.



La localización de los perfiles varía de acuerdo a configuración de la embarcación, pero se deben colocar al menos un perfil delante del centro de gravedad y otro detrás.

La longitud de los perfiles debe permitir levantar el casco por sobre las olas sin que los requerimientos de control sacrifiquen la comodidad



Perfiles verticales para un ala en forma de V.

Perfil vertical

Los perfiles verticales son la sección de la hidroala que conectan la embarcación con el perfil que proporciona la sustentación.

Estos perfiles deben ser lo suficientemente fuertes

Consideraciones de diseño

Peso

La sustentación desarrollada por las hidroalas es proporcional a su área en planta, donde el peso que soportan está relacionado con el volumen de la embarcación. Por lo tanto, a medida que el tamaño de la embarcación aumenta, los perfiles deben aumentar también y muchas veces tienden a extenderse fuera del casco.

El peso se distribuye de manera irregular a lo largo del perfil que proporciona la sustentación. En un perfil con ángulo diedro, la sección central está más cargada que las zonas cercanas a los bordes. La cantidad de peso de la embarcación es crucial al momento de determinar la potencia necesaria para el desplazamiento de la embarcación. Hoy en día existen embarcaciones con hidroala para el transporte de pasajeros que tienen un desplazamiento de 200 toneladas y alcanzan velocidades cercanas a los 60 nudos.

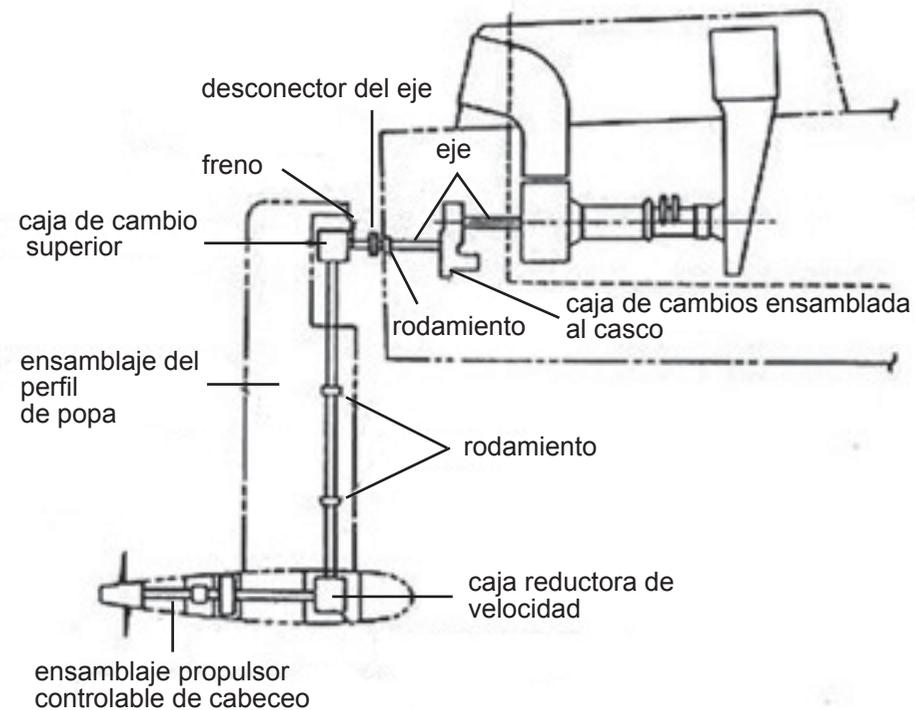
Propulsión.

La principal preocupación al momento de diseñar el sistema de propulsión de una embarcación con hidroalas, es que el motor sea capaz de desarrollar una gran cantidad de potencia en un corto periodo de tiempo. Esta potencia es necesaria al momento del despegue de la embarcación y es recomendable dejar un margen de un 20 a 25% extra, de la potencia requerida para el despegue en aguas calmas.

Actualmente se utilizan motores fuera de borda de pata extra larga o motores modificados para este tipo de embarcación. Es muy importante tener en cuenta que la hélice no puede, bajo ninguna circunstancia, salir del agua, pues esto significaría una brusca pérdida de potencia, lo que haría caer el casco bruscamente. Cualquiera sea el sistema

de propulsión siempre debe ser lo más liviano posible.

Dentro de los sistemas utilizados, se encuentran sistemas de transmisión integrados a los perfiles de popa. Esta transmisión consiste en un sistema de engranajes en ángulo recto, un eje flexible y una caja reductora de velocidad en el eje de transmisión del motor.



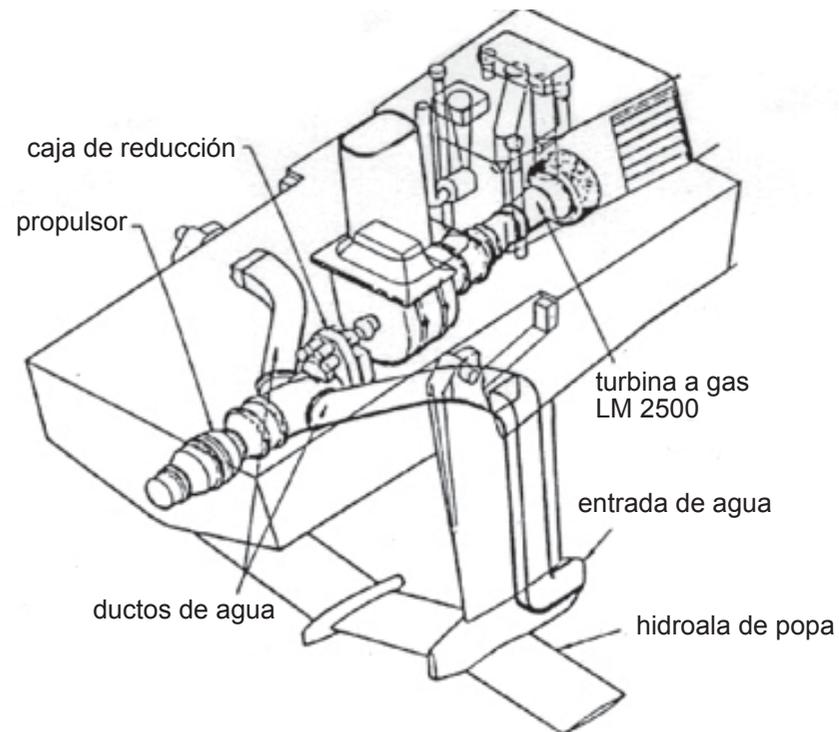
Sistema de transmisión integrados a los perfiles de popa.



Otro tipo de propulsión utilizada son los waterjets. Este sistema es mucho más simple que la transmisión por engranajes, consiste en ductos colocados en la parte inferior de los perfiles para succionar agua, estos ductos transportan el agua a una bomba colocada en la sala de máquinas y a la salida del agua. El problema con este método de propulsión es la disminución en la eficiencia de la propulsión de un 20% a los 40-45 nudos, esta

disminución es mucho mayor al momento del despegue. Otro problema con este sistema de propulsión es el aumento del peso debido al agua necesaria para hacerlo funcionar.

En algunos casos se utilizan sistemas independientes de propulsión, uno para la navegación como embarcación normal y otro para el desplazamiento sobre las hidroalas. Este es el caso de las embarcaciones de la clase Pegasus.



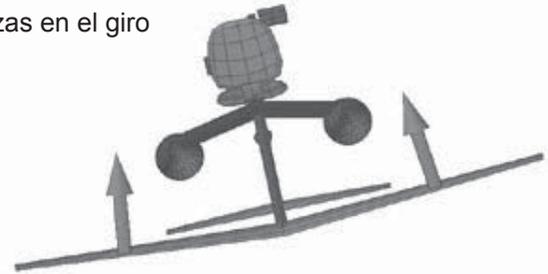
Estabilidad.

Las hidroalas de superficie perforada en forma de "V", "W" o de escalera, logran estabilizarse al sufrir una escora o al girar. Pero este tipo de autocontrol es responsable del movimiento vertical al que se somete la embarcación y lo que les impide navegar en aguas turbulentas. Este movimiento vertical, que se produce cuando la embarcación se introduce en una ola y aumenta su sustentación, pero que al salir de ella la pierde, se puede volver desagradable para las personas a bordo. Este mismo movimiento se produce cuando la sustentación de la embarcación aumenta demasiado, ocasionando la salida de una mayor superficie de la hidroala fuera de agua, generando una pérdida de sustentación. Este tipo de hidroala se regula sola para alcanzar la sustentación óptima. En el giro se logra estabilidad, porque al tener un ángulo diedro, actúan sobre el hidroala fuerzas verticales y horizontales. Al desplazarse sobre las hidroalas de forma equilibrada, los componentes horizontales se cancelan y solo actúa la fuerza vertical (sustentación). Si la embarcación se inclina para girar, la sección que se encuentra levantada tendrá componentes horizontales, lo que hará que la embarcación se deslice hacia un costado, perdiendo sustentación, mientras que el ala que se encuentra totalmente sumergida ganará sustentación, pues no tendrá componentes horizontales, creando un momento de adrizamiento y poniendo así fin al giro de la embarcación.

Fuerzas equilibradas



Fuerzas en el giro



Las hidroalas completamente sumergidas, no producen tanto movimiento vertical, como los de superficie perforada, por lo que tienen mejor desempeño en aguas agitadas. La forma más fácil de controlar hidroalas completamente sumergidas consiste en una especie de esquí montado delante de la embarcación, este esquí recibe el nombre de seguidor de superficie y cambia el ángulo de ataque mediante un brazo que está unido al perfil sustentador. Este tipo de control tiene la desventaja de ser vulnerable a ser dañado por cualquier objeto que se encuentre en la superficie del agua, además su tamaño es proporcional a la

embarcación, por ende a medida que aumenta también lo hace el perfil sustentador, por lo que no pueden ser utilizados en embarcaciones de gran tamaño. Otra forma de controlar este tipo de hidroalas es mediante sensores electrónicos. Entre los más usados se encuentran sensores de presión ubicados en los perfiles verticales y un sistema de sonar ubicado en la proa.

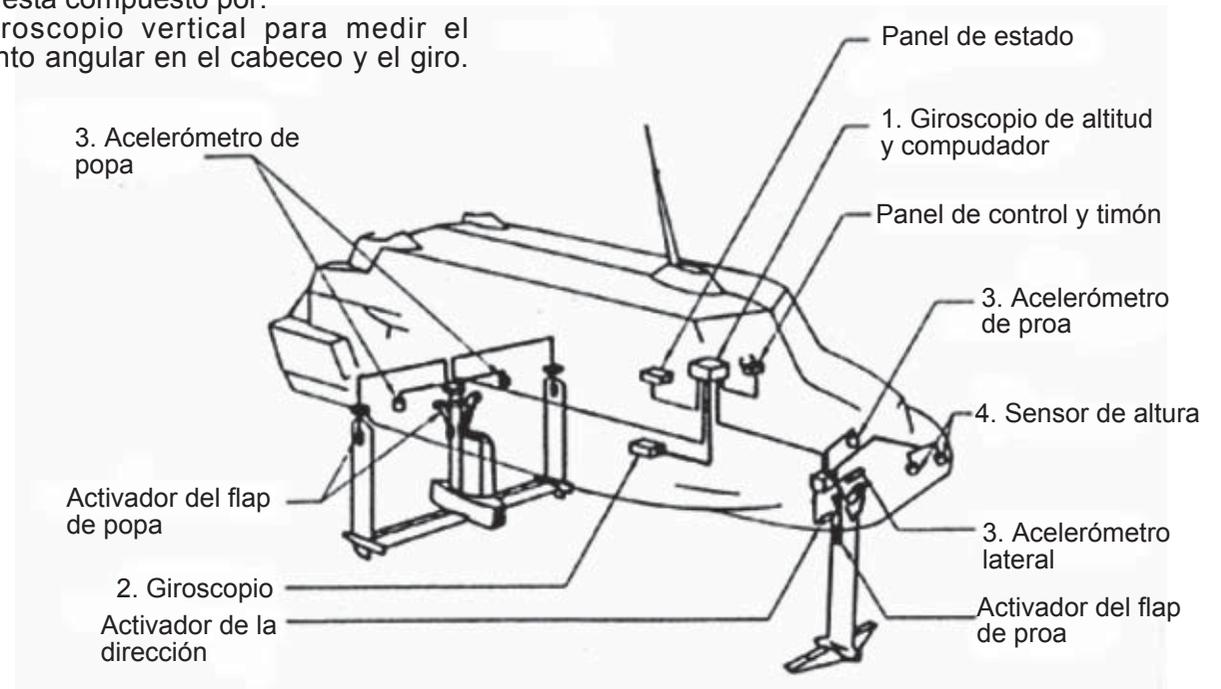
Sistema Automático de control.

Consiste en sistemas de sensores electrónicos que permiten controlar cambios en los perfiles. Este sistema está compuesto por:

1) un giroscopio vertical para medir el desplazamiento angular en el cabeceo y el giro.

- 2) Un giroscopio para medir la guiñada de la embarcación.
- 3) Tres acelerómetros que se colocan sobre cada uno de los perfiles verticales.
- 4) Un sensor de altura, que mide la altura de la proa por sobre el agua.

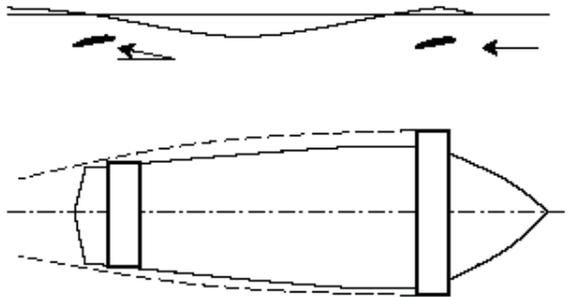
Estos sensores en conjunto permiten controlar la estabilidad tanto del cabeceo, como del giro y asegurar el correcto funcionamiento de los perfiles.



Oleaje

Las hidroalas a diferencia de las alas de un avión, tienen el problema de estar siempre cerca del límite de interactuar en 2 medios distintos, en este caso la interfase agua-aire, se ve incrementado por la presencia de oleaje. Esta interacción del hidroala con dos fluidos distintos generalmente es perjudicial, porque afecta negativamente a la sustentación.

La dirección relativa del flujo es distinta al salir de la ola que al entrar, afectando la sustentación.



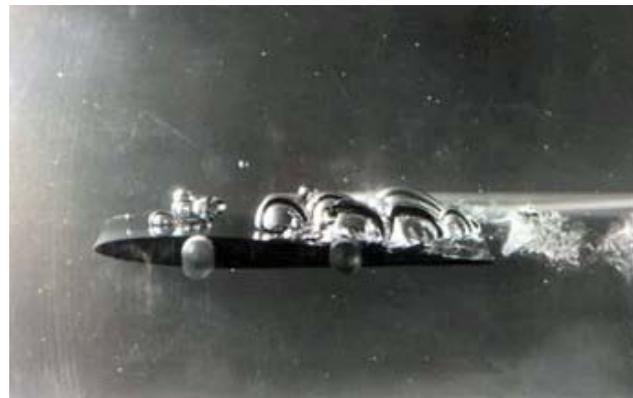
Perfiles enfrentando una ola.

Los perfiles de superficie perforada son especialmente sensibles al oleaje, cuando encuentran una ola en lugar de montarla se internan en ella y a medida que sale de la ola aumenta su sustentación, produciendo así un efecto contrario al deseado, haciendo que la embarcación cabecee

aún más. Los perfiles completamente sumergidos, por el contrario, no son afectados por el oleaje. También se debe tener en cuenta la altura de las olas, pues cuando la altura de éstas es mayor que el largo del perfil vertical, se recomienda usar la embarcación como embarcación tradicional pues los efectos del cabeceo serían demasiado extremos.

Cavitación

Es un fenómeno que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión en el fluido. Puede ser que al acelerarse el fluido y producirse esta descompresión, la presión de la parte superior del perfil alcanza la presión de vapor, por lo que las moléculas cambian a estado de vapor, formándose burbujas o cavidades.



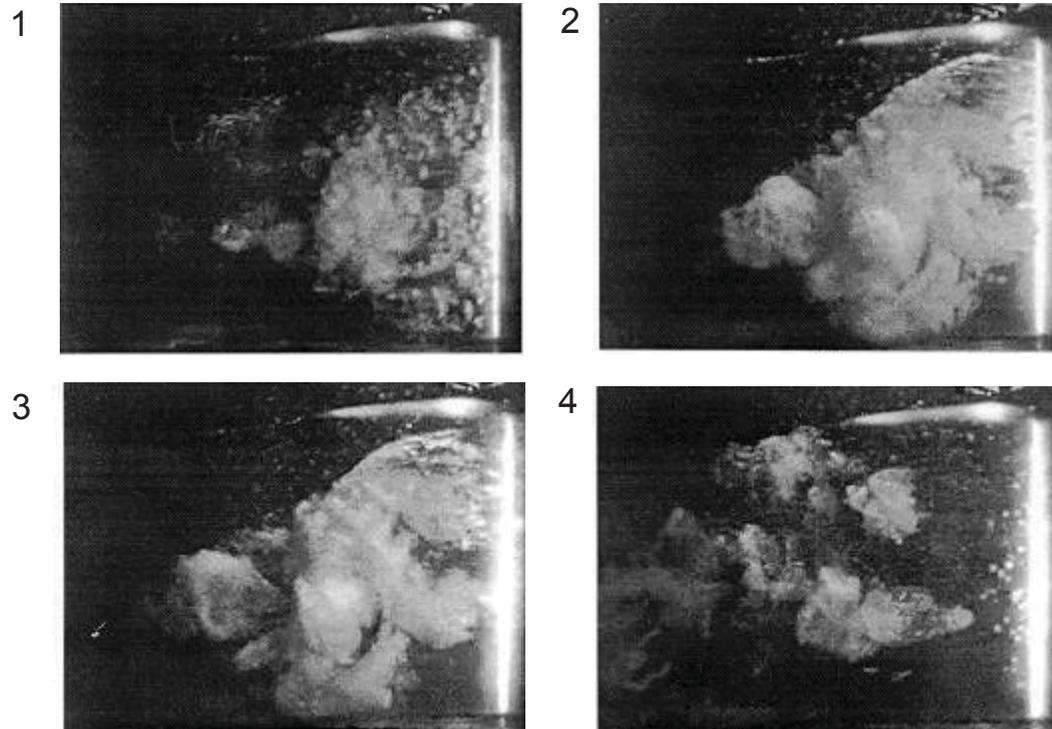
Cavitación en torno a un perfil alar.

Las burbujas viajan a la zona de mayor presión donde implotan, produciendo estelas de gas y un rápido desgaste en la superficie en que se origina el fenómeno. Además va acompañado de ruido, vibraciones y aumenta el arrastre drásticamente.



Corrosión por cavitación.

La cavitación solo debe preocuparnos en el flujo que pasa por el hidroala. Esto se divide en tres etapas. La etapa inicial, de poca importancia. Un estado intermedio de cavitación donde el vapor forma una cavidad adherida al perfil que es menor que la cuerda. Y un estado de total cavitación o supercavitación, en la cual la cavidad de vapor es notoriamente más grande que la cuerda.



Desarrollo de la cavitación en un perfil alar.

El comienzo de la cavitación significa que un nuevo tipo de flujo pasa por el perfil, aumentando la posibilidad de daño del material debido a la erosión que producen estas burbujas, llegando incluso, por ejemplo, a destruir una hélice en unas pocas horas. Para evitar estos efectos dañinos a causa de la cavitación, se recomienda utilizar perfiles cercanos a la serie NACA16.



Perfil alar de la serie naca 16.

Interferencia

Cuando una embarcación con hidroala se mueve en la proximidad de la superficie libre de agua deja una estela de olas tras de sí. El largo de la distancia entre las crestas de las olas que provoca es proporcional a la velocidad y a la raíz cuadrada de la envergadura del perfil de proa. La deformación que se produce en la superficie del agua depende de la geometría del perfil de proa, de su superficie sumergida, de su coeficiente de sustentación y la velocidad de la embarcación. Esta estela de olas es perjudicial para cualquier tipo de embarcación que navegue cerca, pero especialmente, si esta embarcación tiene hidroalas, porque las olas pueden afectar negativamente la sustentación.



Interferencia entre embarcaciones.

Además del efecto de deformación del agua , está la influencia de la hidroala de proa con la de popa, debido a los vértices que genera la hidroala de proa en los coeficientes de sustentación.



Interferencia entre perfiles.

Estudios teóricos. Magnitudes físicas

Estableciendo relaciones entre las magnitudes que caracterizan un sistema, se pueden calcular o predecir valores y su evolución con el correr del tiempo a través de los datos conocidos. Las leyes que rigen un sistema complejo son lógicamente complicados, Para poder abordar el problema se divide el sistema en partes más simples, y se estudia cada uno por separado. Se deducen las propiedades del conjunto a partir de las propiedades de las partes que lo componen y de sus interacciones. Una magnitud se define asociándole valores numéricos, comparándola con otra de la misma clase y tomándola como unidad.

Unidades y dimensiones de las magnitudes físicas

Hay muchas clases de magnitudes físicas, caracterizadas de diferente manera. Algunas se pueden comparar entre si cuando tiene la misma dimensión.

La unidad de longitud puede ser expresada en centímetros, metros, o cualquiera que resulte conveniente según el caso.

$$[\ell] = \text{dimensión de longitud}$$

La superficie o el área de un objeto no se puede comparar con una longitud, ya que son dimensiones diferentes, pero hay una relación de carácter geométrico. Podemos medir un área viendo cuantas veces entra en ella una unidad

definida, por ejemplo centímetros y centímetros cuadrados.

$$[\text{área}] = [\ell \times \ell] = [\ell^2]$$

Generalmente en las dimensiones de las magnitudes diferentes, se pueden establecer relaciones, expresando las dimensiones de una magnitud en los términos de las otras. Relación geométrica entre dimensiones de volumen y longitud.

$$[\text{volumen}] = [V] = [\ell \times \ell \times \ell] = [\ell^3]$$

La densidad de un cuerpo se puede definir como el cociente entre su masa y su volumen.

$$[\rho] = [m]/[V] = [m/\ell^3].$$

Las relaciones entre diferentes magnitudes, son fundamentales o derivadas, y se pueden expresar dimensionalmente en términos de las primeras. Es útil fijar alguna conversión, considerando ciertas magnitudes y unidades como fundamentales y las demás como derivadas, esto dan lugar a los sistemas de unidades.

Los sistemas mas usados son el cgs, MKS. En ambos la longitud, masa y tiempo son fundamentales.

Magnitudes fundamentales	Unidades	
	cgs	MKS
ℓ	cm	m = 100 cm
m	g	kg = 1000 g
t	s	s

Magnitudes adimensionales

Una magnitud adimensional se da a partir del cociente entre dos magnitudes de la misma dimensionalidad, esto es un número puro, se dice que tiene dimensión cero. Tienen el mismo valor en todos los sistemas de unidades.

Número de mach

Es importante en la aerodinámica. Para un avión se define:

$$\mathcal{M} = \frac{\text{velocidad del vuelo del avión}}{\text{velocidad del sonido en el aire}}$$

Cuando $M < 1$ tenemos vuelo subsónico, si $M > 1$ es vuelo supersónico.
El problema físico es distinto para cada caso, al igual que los criterios de diseño.

Número de Reynolds.

Puede considerarse como la razón entre la fuerza de inercia y la de viscosidad. Este número es inversamente proporcional a la fuerza de corte y cuando su valor es relativamente bajo, las fuerzas viscosas sobre las superficies son grandes, siendo despreciables a altos números de Reynolds.

Donde:

Re : número de Reynolds.

v : velocidad

L : longitud

ρ : densidad

μ : viscosidad

Este parámetro es de suma importancia para determinar el tipo de régimen de flujo que impera en alguna situación y poder definir si se trata de un régimen laminar o un régimen turbulento.

$$Re = \frac{v L \rho}{\mu}$$

Propiedades geométricas de las magnitudes física.

Hay magnitudes que quedan especificadas dando su valor en una unidad conveniente, este tipo de unidades son la distancia, volumen, masa, temperatura, presión, etc. Estas magnitudes se llaman escalares, tienen la misma propiedad geométrica que los entes matemáticos del mismo nombre.

Otras magnitudes necesitan datos adicionales para su especificación. Como la velocidad, el desplazamiento que requieren además sentido y dirección. Se denominan magnitudes vectoriales y se representan por vectores.

Simetría de escala

La simetría de los sistemas físicos, es la propiedad de permanecer sin cambios al realizar determinadas transformaciones. Consiste en que la descripción de los fenómenos físicos debe ser invariable respecto a cambios en las unidades de medida o de escala.

La elección de las unidades de medida es arbitraria y no guarda relación con la sustancia de los fenómenos.

Semejanza geométrica

La semejanza geométrica entre dos cuerpos distintos se define como la relación lineal homogénea existente entre dos variables correspondientes.

Dos figuras son semejantes si las razones entre todas las correspondientes longitudes son idénticas. Algunas transformaciones son invariables, no presentan variaciones al transformarse, como los ángulos.

Semejanza física

La semejanza física es análoga a la geométrica, pero se debe tomar en cuenta que las magnitudes físicas se caracterizan por otras dimensiones. Los fenómenos físicos son semejantes, cuando las características de uno se puede tener a partir del otro, por medio de simples cambios de escala. Los invariantes de escala son magnitudes sin dimensión. Se construyen combinando las variables, parámetros y constantes físicas.

Toda relación física se puede expresar como una relación entre invariantes de escala.

Se consideran dos fenómenos semejantes, si todas sus variables y parámetros adimensionales tienen los mismos valores.

Teoría de modelo

La experimentación nos permite estudiar un conjunto de fenómenos, sobre un objeto o conjunto de objetos. Para esto tenemos dos opciones, construirlo a escala 1:1 y medir directamente las variables. Si los resultados son los esperados dejarlo, si no, volver a construirlos considerando los resultados anteriores. La otra opción es construir un modelo a escala y realizar pruebas en un laboratorio, extrapolando los resultados. La mayoría de las veces construir un modelo a escala real es inviable y se tiene que recurrir al modelo a escala.

Se denomina prototipo a la estructura que se desea diseñar y modelo a la maqueta a escala con la que pretendemos encontrar los parámetros de diseño. Para ello debemos relacionar, de alguna manera, el modelo a escala con el prototipo real; y poder predecir el comportamiento de éste a partir de los resultados obtenidos experimentalmente en el modelo a escala.

Para poder extrapolar los resultados el modelo debe ser geoméricamente igual que el prototipo. Las longitudes, superficies y volúmenes deben ser homólogos entre el prototipo y el modelo. Se debe verificar la siguiente relación:

Lp: largo prototipo

Lm: largo modelo

A: area

V: volumen

λ : factor de escala

$$\frac{L_p}{L_m} = \lambda; \quad \frac{A_p}{A_m} = \lambda^2; \quad \frac{V_p}{V_m} = \lambda^3$$

Además el modelo ha de ser dinámicamente semejante al prototipo. Para que los fenómenos en el modelo y en el prototipo sean comparables,

no basta que los modelos sean geoméricamente semejantes a los prototipos, también los flujos tienen que ser semejantes. Siendo necesario que las velocidades, aceleraciones, y fuerzas sean semejantes.

Cuando se cumple la semejanza geométrica y dinámica, el modelo tiene semejanza cinemática con el prototipo.

Por lo tanto, la intervención de todas las fuerzas señaladas, debería cumplir:

$E_{up} = E_{um}$; número de Euler

$F_{rp} = F_{rm}$; número de Froude.

$M_{ap} = M_{am}$; número de Mach

$Re_p = Re_m$; número de Reynolds.

$We_p = We_m$; número de Weber

Esta condición sólo se cumple cuando el modelo y el prototipo tienen el mismo tamaño. Algunos casos pueden prescindir de la influencia de tres de las fuerzas y de sus tres adimensionales correspondientes.

Perfil alar Principios físicos

Teorema de Bernouilli

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:

$$p + \frac{1}{2} \rho V^2 = Cte$$

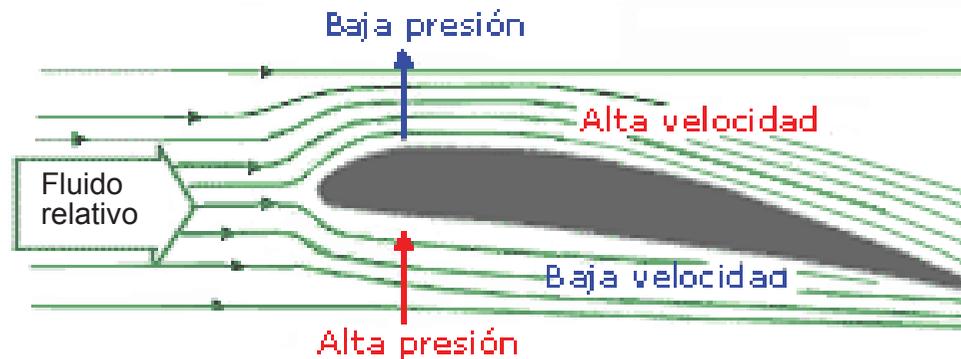
p : presión
 ρ : densidad
 V : velocidad

La suma de la presión estática y la dinámica es constante, definiéndose como presión total. La presión estática se genera de la altura a la que este la partícula dentro de la atmósfera, conocida como presión atmosférica comúnmente. 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.



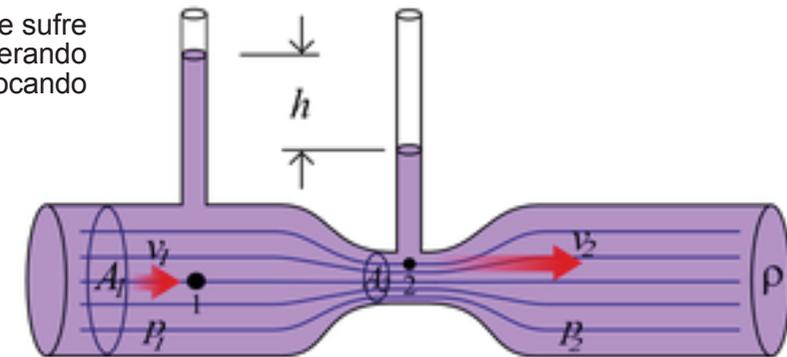
Distribución de presiones en un perfil alar.

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.

El Tubo de de Venturi prueba experimentalmente que al pasar por un estrechamiento las partículas



Tubo de Venturi.

Leyes de Newton

Se establece una conexión entre el cambio en el movimiento de un cuerpo y las fuerzas externas que actúan sobre él.

1. Un cuerpo en movimiento uniforme en línea recta, conservará ese movimiento a menos que actúe sobre él una fuerza externa.
2. La aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza aplicada.
3. Si dos entidades interactúan, a toda fuerza que ejerza la primera sobre la segunda le corresponderá otra igual y de sentido contrario ejercida por la segunda sobre la primera.

Capa límite

La viscosidad es la propiedad del fluido que determina la resistencia que presentan las partículas a deslizar unas respecto de las otras.

Se define como la constante de proporcionalidad, que relaciona el esfuerzo cortante con el gradiente de velocidad en un fluido Newtoniano.

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.

Cada capa induce a la siguiente para que se mueva a la misma velocidad que ella, sin conseguirlo, hasta encontrar capas que se encuentran en reposo, alejadas del sólido. Se puede decir que el desplazamiento de la primera capa, da lugar a una fuerza de rozamiento, que actúa en sentido contrario al movimiento del sólido. Para que el sólido continúe en movimiento, es necesario aplicar una fuerza constante para vencer el roce. Esta fuerza depende de la viscosidad, entre mayor sea ésta, mayor será la fuerza.

La masa de fluido que existe entre la superficie del sólido y donde la velocidad de la capa es prácticamente la misma que el resto del fluido, se denomina capa límite.

El flujo lejos del cuerpo puede considerarse como un fluido no viscoso, en las proximidades a la superficie la viscosidad no puede ser despreciada, y el fluido se estudia con la teoría de la capa límite. Esto permite aplicar Bernoulli, ya que la distribución de presiones se puede determinar de la teoría no viscosa como si la capa límite no existiese.

Capa límite laminar

La capa límite laminar es la que el movimiento se presenta ordenado en forma de capas paralelas. Su existencia se puede comprobar en las gotas de lluvia sobre un auto, no son barridas por la corriente de aire, si no que se desplazan lentamente.

Punto de transición

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 transición.

El punto de transición 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.

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 transición reduce la resistencia. La pérdida de sustentación causada por el desprendimiento de la capa límite, en un gradiente adverso de presión, se produce más 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.

Introducción a los perfiles hidrodinámicos

Perfil hidrodinámico

Los perfiles hidrodinámicos funcionan de igual forma a un perfil aerodinámico. La mayor diferencia en su funcionamiento se presenta por el fluido en el que se desplazan, los perfiles hidrodinámicos al desplazarse por el agua, un fluido más denso que el aire, encuentran mayor resistencia.

Los perfiles hidrodinámicos han sido utilizados en la construcción de embarcaciones para reducir el roce al navegar, permitiendo que el casco de la embarcación se desplace por sobre la superficie del agua, gracias a la sustentación que le proporciona el perfil.

La sustentación que se produce por los perfiles sumergidos, es similar al funcionamiento de las alas de un avión. Esto permite aplicar los principios aerodinámicos, los estudios de las alas y perfiles de los aviones, en las embarcaciones con hidroalas, cambiando solo las condiciones del medio en que se desplazan, como la densidad, viscosidad, etc.

Perfil alar

El ala es responsable de sustentar el avión y su geometría es fundamental. Un perfil alar es una sección transversal del ala. Los perfiles están diseñados específicamente para las características del avión. En el estudio de los perfiles se ignora la configuración en proyección horizontal del ala, como así también los efectos de extremo del ala, flecha, alabeo y otras características de diseño.

Extradós: superficie superior del ala.

Intradós: superficie inferior del ala.

Borde de ataque: arista anterior del ala. Su curvatura corresponde a la del radio del círculo tangente al extradós e intradós.

Borde de fuga: arista posterior del ala donde se unen extradós e intradós. Su radio es el mínimo que permita la construcción del ala.

1- Línea de cuerda: línea recta que une el borde de ataque y el borde de fuga del perfil.

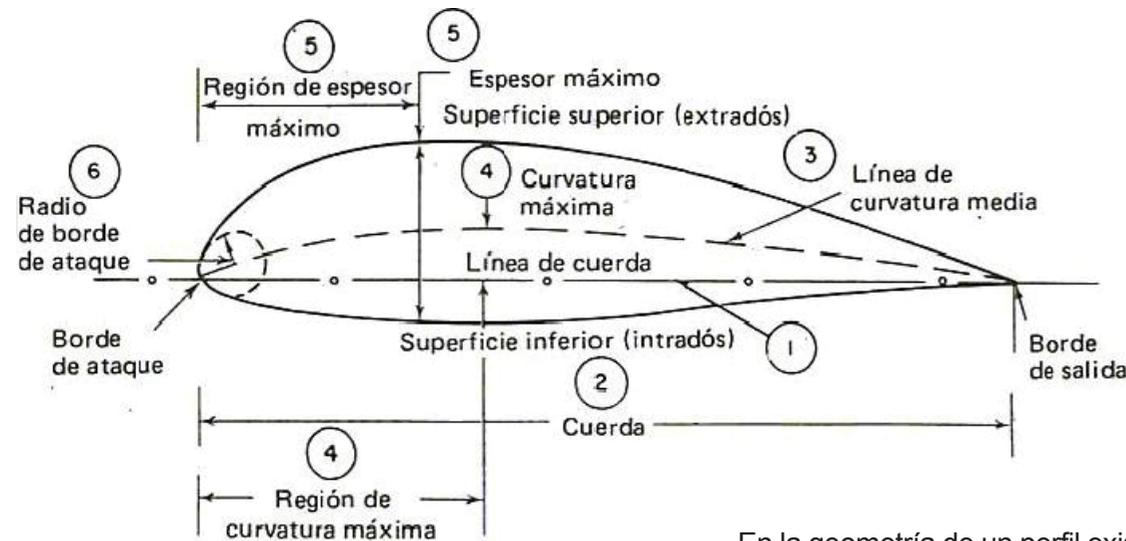
2- Cuerda: longitud de la línea de cuerda. Todas las dimensiones de los perfiles se miden en términos de la cuerda.

3- Línea de curvatura media: línea media entre el extradós y el intradós.

4- Curvatura máxima: distancia máxima entre la línea de curvatura media y la línea de cuerda. La posición de la curvatura máxima es importante en la determinación de las características aerodinámicas de un perfil.

5- Espesor máximo: distancia máxima entre extradós e intradós. La localización del espesor máximo también es importante.

6- Radio del borde de ataque: medida del afilamiento del borde de ataque. Puede variar desde 0, para perfiles supersónicos afilados, hasta un 2 % de la cuerda para perfiles más achatados.



En la geometría de un perfil existen cuatro variables principales; el espesor, la localización del espesor máximo, el radio del borde de ataque y la configuración de la línea de curvatura media.

Tipos de perfiles.

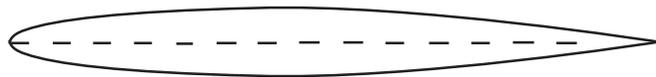
Un perfil aerodinámico es la línea exterior de la sección transversal del ala en el sentido de la cuerda, el cual permite aprovechar las fuerzas generadas por una corriente de aire.

Un perfil alar en una corriente de aire genera fuerzas aerodinámicas, sustentación y resistencia. Estas fuerzas no son de intensidad fija, aumentan o disminuyen según el ángulo de ataque.

Podemos clasificar a los perfiles en relación a su forma.

Simétrico o biconvexo-simétrico

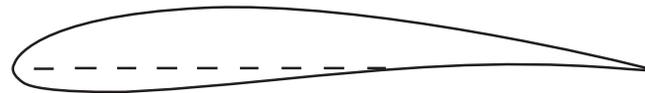
Tanto el intrado como el extrado poseen la misma curvatura, siendo simétricos respecto a su cuerda, no producen sustentación con ángulo de ataque cero. Son los utilizados en estabilizadores y derivas, además de aviones acrobáticos para mejor ejecución de las figuras.



Asimétricos

Tienen diferencias de curvatura entre extrados e intrados. Con ángulo de ataque igual a cero producen sustentación. Son utilizados en las

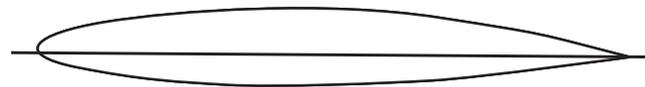
superficies alares de la totalidad de los planeadores actuales.



Entre los perfiles asimétricos podemos encontrar distintos tipos.

Cóncavo-convexo

Tiene el intrado cóncavo y el extrado convexo. Son de bajo espesor y de gran sustentación. Fueron utilizados en aviones de combate, como los biplanos de la primera guerra mundial.



Doble curvatura

El intrado y el extrado poseen doble curvatura, están formados por una línea ondulada con el borde de fuga levantado, de modo que se trata de perfiles

autosustentables, él produce la inmovilidad o el avance del centro de presiones, cuando disminuye el ángulo de ataque. Por esto son ideales para ser usados en alas volantes, y en aviones con alas en flecha.



Semi-simétrico

Son los más usados en la aerodinámica, tienen una curvatura convexa en el intrado. Son utilizados en casi todos los tipos de aviones, son fáciles de construir y pueden ejecutar cualquier figura acrobática, aunque con ciertas limitaciones.



Plano-convexo

Tienen el extrado convexo y el intrado plano casi en su totalidad. Es adecuado para utilizar en aviones entrenadores, en los que debe primar el vuelo lento y seguro.



También se pueden clasificar en relación a su estabilidad.

Inestables

Son los de perfiles asimétricos y tienen tendencia a apartarse de su posición de equilibrio por lo que necesitan de estabilizadores para mantener el vuelo rectilíneo.



Generalmente son perfiles simétricos, que mantienen una trayectoria de vuelo siendo necesaria una corrección para desviarlos de ella.



Auto-estables

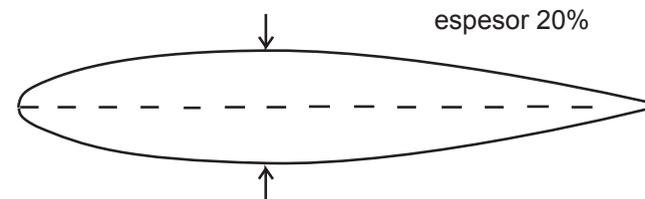
Son los que auto-estabilizan la trayectoria de vuelo.



Otra clasificación es en relación a su espesor.

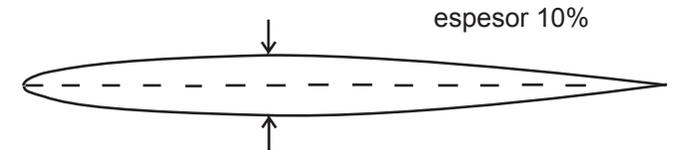
Alto espesor

Su espesor es superior al 15% de su cuerda, producen gran sustentación pero también más resistencia. Son utilizados en aviones de baja velocidad o de gran carga alar, como los de transporte.



Bajo espesor

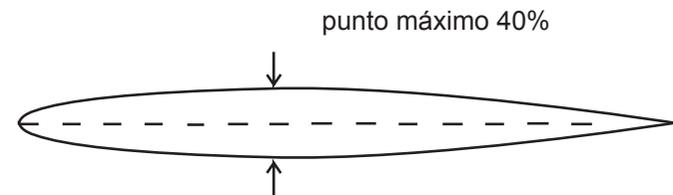
El espesor del ala es menor al 15% de la cuerda, producen menos sustentación y menos resistencia. Son utilizados en aviones de alta velocidad.



También se pueden clasificar de acuerdo a la relación de la posición del máximo espesor.

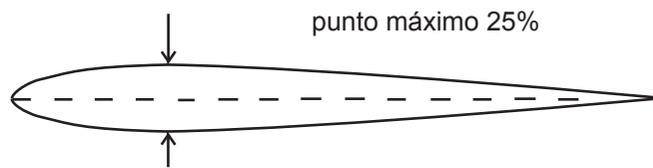
Críticos

El punto de máximo espesor esta atrasado, ubicado entre el 40 y 50% de la cuerda, no admiten ángulos de ataque elevados, ni baja velocidad, son usados en veleros de última generación.



Nobles

El punto de máximo espesor se encuentra adelantado, entre un 25 y 30% de la cuerda, admiten ángulos de ataque elevados, 15 y 18°, teniendo una velocidad de pérdida más baja, permitiendo un pilotaje menos experto.



Clasificación Naca

La mayor parte del desarrollo de perfiles en 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). Clasificándolos en grupos según su geometría y usos. Para esto toma formas conocidas y comienza a hacer variables, las influyentes son la inclinación de la línea de curvatura y el espesor del perfil.

Serie 4 dígitos

Las primeras series estudiadas fueron llamadas cuatro. El número de serie determina la forma del perfil, así podemos obtener un perfil regular con las características deseadas.

El primer dígito (m) es la curvatura máxima expresada en porcentaje del largo del perfil (c). Segundo dígito (p) ubicación de la curvatura máxima en porcentajes de 10 con relación al largo. Últimos dos dígitos (t) porcentaje del largo que indica el espesor máximo del perfil. Los dígitos son valores en función de la cuerda del perfil (c), normalmente para la construcción se utiliza el valor 1 para la cuerda, simplificando la ecuación.

NACA 2415 — p en porcentaje de c.
 — t en porcentaje de c.
 — m en porcentaje de c.

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.

Definiendo los valores de los datos anteriores (c, m, t y p), se puede generar un perfil de forma regular, obteniendo tantos puntos como sea necesario del contorno del perfil, a partir de su línea media.

Utilizando un sistema cartesiano, podemos encontrar los puntos y_t , formados por el par (x_u, y_u) , que determinan el extrado y los puntos formados por (x_l, y_l) , correspondientes al intrado. A su vez los valores de los pares se obtienen de la siguiente fórmula:

$$x_u = x - y_t \cdot \sin(\theta)$$

$$y_u = y_c + y_t \cdot \cos(\theta)$$

$$x_l = x + y_t \cdot \sin(\theta)$$

$$y_l = y_c - y_t \cdot \cos(\theta)$$

Donde,

$$y_c = (m/p^2) (2px - x^2), \quad \text{para } 0 < x < p$$

$$y_c = (m/p^2) (1 - 2p + 2px - x^2), \quad \text{para } p < x < 1$$

Para determinar la línea de curvatura media. Los valores de x varían entre 0 y c.

$$y_t = (t/0.2) \cdot (0.2969x - 0.1260x^2 - 0.3516x^3 + 0.2843x^4 - 0.1015x^5)$$

Determina la distribución de espesor del perfil.

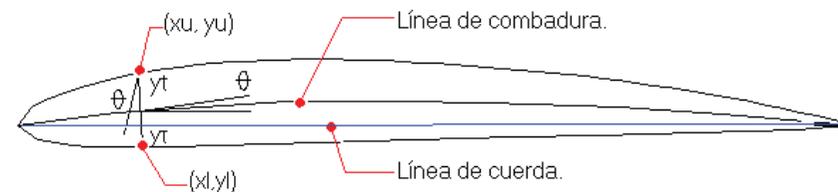
Para determinar el ángulo que forman las tangentes a la línea de curvatura media con la línea de cuerda para cada punto.

$$\theta = \tan^{-1}(\tan(\theta)) = \tan^{-1}((2m/p^2) \cdot (p-x)),$$

para $0 < x < p$

$$\theta = \tan^{-1}(\tan(\theta)) = \tan^{-1}((2m/(1-p)^2) \cdot (p-x)),$$

para $p < x < 1$



Serie 5 dígitos

En la serie 5 dígitos el primero multiplicado por 3/2 determina el coeficiente de empuje en decimales. El segundo y tercer dígito dividido por 2 es el porcentaje del largo en que se encuentra ubicada la curvatura máxima (p).

Los últimos dos (t) es el espesor en relación porcentual al largo.

En este caso los puntos del extrados e intrados se determinan utilizando la misma ecuación para los pares ordenados, dando valores a x, los cuales varían de 0 a c.

$$y_c = (k_1 / 6) [x^3 - 3mx^2 + m^2(3 - m)x],$$

para valores x entre 0 y p.

$$y_c = [(k_1 m^3) / 6] (1-x),$$

para valores x entre p y c.

donde k1 se obtiene de la siguiente tabla:

Mean-line designation	Position of max camber (p)	m	k1
210	0.05	0.0580	361.400
220	0.10	0.1260	51.640
230	0.15	0.2025	15.957
240	0.20	0.2900	6.643
250	0.25	0.3910	3.230

Las variantes que quedan por definir se hacen del mismo modo que en la serie 4 dígitos.

Modificaciones posteriores para las series 4 y 5.

Los dos dígitos que vienen después del punto son los decimales del espesor (t).

El primer dígito después del guión es el radio que determina la curvatura de la punta del perfil, y el que lo sigue la ubicación del este.

Los últimos números son los decimales de la ubicación de la máxima curvatura (p). Las modificaciones solo cambian las ecuaciones para determinar yt.

$$+ y_t = a_0 \sqrt{x} + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3$$

$$+ y_t = d_0 + d_1 (1-x) + d_2 (1-x)^2 + d_3 (1-x)^3$$

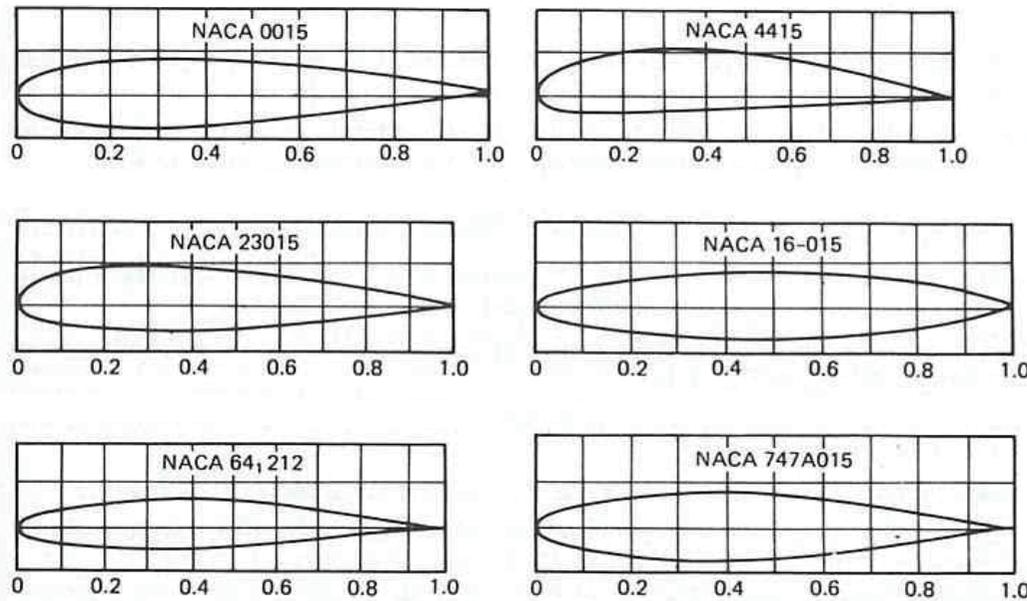
Los valores de la ecuación se obtiene de la tabla:

Airfoil	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	d ₀	d ₁	d ₂	d ₃
0020-62	0.296900	0.213337	-2.931954	5.229170	0.002000	0.200000	-0.040625	-0.070312
0020-63	0.296900	-0.096082	-0.543310	0.559395	0.002000	0.234000	-0.068571	-0.093878
0020-64	0.296900	-0.246867	0.175384	-0.266917	0.002000	0.315000	-0.233333	-0.032407
0020-65	0.296900	-0.310275	0.341700	-0.321820	0.002000	0.465000	-0.684000	0.292000
0020-66	0.296900	-0.271180	0.140200	-0.082137	0.002000	0.700000	-1.662500	1.312500
0020-03	0.000000	0.920286	-2.801900	2.817990	0.002000	0.234000	-0.068571	-0.093878
0020-33	0.148450	0.412103	-1.672610	1.688690	0.002000	0.234000	-0.068571	-0.093878
0020-93	0.514246	-0.840115	1.110100	-1.094010	0.002000	0.234000	-0.068571	-0.093878
0020-05	0.000000	0.477000	-0.708000	0.308000	0.002000	0.465000	-0.684000	0.292000
0020-35	0.148450	0.083362	-0.183150	-0.006910	0.002000	0.465000	-0.684000	0.292000
0020-34	0.148450	0.193233	-0.558166	0.283208	0.002000	0.315000	-0.233333	-0.032407

Serie 6

Esta serie se desarrolla con la llegada de altas velocidades, los denominados de flujo laminar, resultan del desplazamiento hacia atrás del punto de espesor máximo y la reducción del radio de

borde de ataque. De este diseño se obtiene dos resultados principales: se desplaza hacia atrás el punto de presión mínima, aumentando con ello la distancia desde el borde de ataque en la que existe flujo laminar, reduciendo la resistencia; en segundo lugar, aumenta el número crítico de mach, permitiendo incrementar la velocidad del avión sin



la aparición de problemas de compresibilidad. El primer dígito indica la serie. El segundo la posición de presión mínima en décimas de la cuerda. El tercer dígito representa el coeficiente de sustentación en décimas. Los dos últimos dígitos el espesor en porcentaje de la cuerda.

Por ejemplo el NACA 64-212 es un perfil de la serie 6 con el punto de presión mínima en el 40 % de la cuerda, un coeficiente de sustentación de diseño de 0,2 y espesor del 12 % de la cuerda. Para definir los puntos del borde se usa el mismo procedimiento de los anteriores.

Características y aplicaciones

Serie 4 dígitos

Tiene una buena recuperación cuando se va a pérdida.
Pequeño centro de presión en movimiento en un rango libre de velocidad.
La agitación no le afecta mayormente.
Bajo coeficiente de empuje.
Alto momento de cabeceo.
Produce relativamente mucho arrastre.

Se usa en aviones en general, alerón horizontal, jets supersónicos, helicópteros, misiles.

Serie 5 dígitos

Alto coeficiente de sustentación.
Poco cabeceo.
La agitación no le afecta mayormente.
Mala recuperación cuando se va a pérdida.
Relativamente pone mucha resistencia.
Se usa: aviones en general, jets comerciales.

Serie 16

Evita la baja presión en el punto más alto.
Pone poca resistencia en alta velocidad.
Produce relativamente poco empuje.
Se usa en propulsores para embarcaciones y aviones.

Serie 6

Alto coeficiente de empuje.
Poco arrastre.
Óptimo para alta velocidad.
Fuera de las condiciones óptimas de operación produce mucha resistencia.
No tiene buena recuperación cuando se va a pérdida.
Momento de cabeceo alto.
Susceptible a la agitación.
Se usa en jets comerciales, supersónicos.

Serie 7 y 8

Tienen poco uso.

Ángulo de ataque

El viento relativo es la corriente de aire producida por el ala al desplazarse. El viento relativo es paralelo a la trayectoria y dirección opuesta. Su velocidad es la relativa del ala con respecto a la velocidad de la masa del flujo en que se mueve.

El ángulo de ataque es el ángulo formado por la cuerda del perfil y la dirección del viento relativo. Este ángulo puede variar por diversas causas, por acción de los mandos, diseño de las alas o por las corrientes.

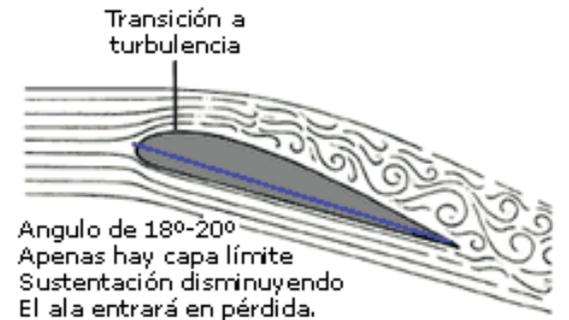
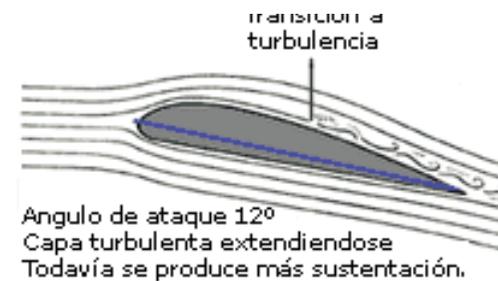
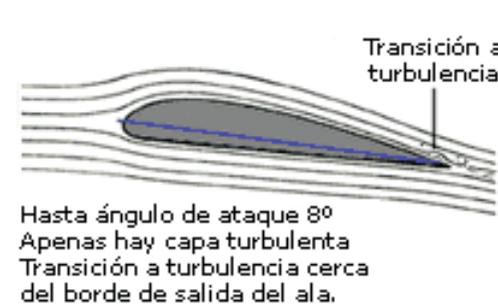
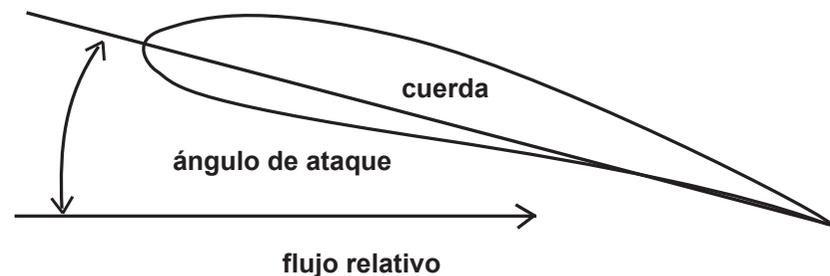
Cuando el flujo es estacionario el recorrido de las partículas coincide con las líneas de corriente. Cuando el ángulo de ataque es nulo, igual a cero, las líneas de corriente rodean perfectamente el contorno del perfil, juntándose en la zona más

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 extradado, 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 extradado. A este valor se le denomina ángulo de ataque crítico y determina la pérdida de sustentación.

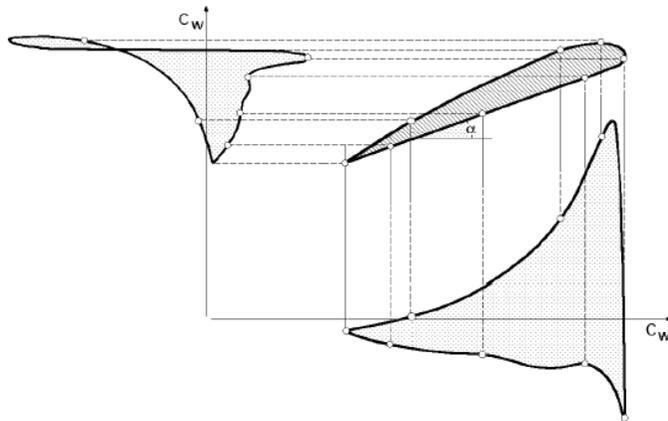


Sustentación respecto al ángulo de ataque.

Fuerzas ejercidas

Sustentación

Para el caso del perfil de un ala de avión inmersa en un fluido, en el extradós se produce una fuerte depresión, aspiración, y en el intradós se produce una pequeña presión que se extiende hasta el borde de ataque, parte frontal del ala.



Coefficiente aerodinámico para el perfil de un avión.

El valor medio de la diferencia de presiones entre intradós y extradós, para una superficie de ala S ($L_{\text{cuerda}} \times 1$ metro lineal de ala). La sustentación es la fuerza que el flujo ejerce sobre el cuerpo en dirección perpendicular al flujo.

El coeficiente de sustentación está definido como:

$$C_L = \frac{F_L}{\rho V^2 A_p}$$

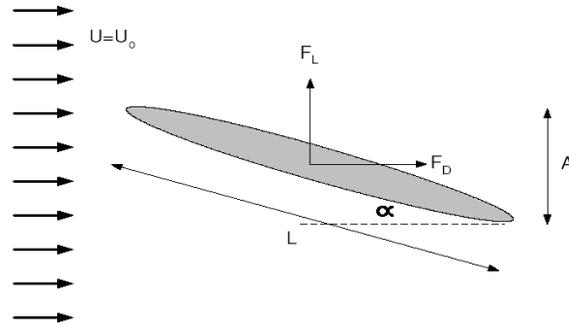
Donde A_p es el área proyectada del objeto frente al flujo.

V es la velocidad.

F_L es la sustentación.

C_L es el coeficiente de sustentación.

ρ es densidad del fluido en que se desplaza el ala.



Podemos decir que tanto el coeficiente de arrastre como el de sustentación son funciones del número de Reynolds, $Re = LU_0/\nu$. También dependen de la geometría, son funciones importantes del ángulo de ataque, α . Este ángulo está definido como el ángulo entre la cuerda del perfil y el vector velocidad de la corriente libre. Debe notarse que el área proyectada es también una función de α . C_L aumenta en función de α , hasta llegar a un valor máximo. Si se continúa aumentando el ángulo de ataque, el coeficiente de sustentación decrece rápidamente para ángulos entre 12° a 16° .

El ala finita puede considerarse equivalente a un ala infinita con el mismo perfil, pero con una

incidencia reducida, y puesto que para el ala infinita la sustentación es función lineal de la incidencia, teniendo el ala finita una sustentación menor.

Resistencia

Para un ala infinita, la resultante aerodinámica es perpendicular a la velocidad, es decir la resistencia es nula, pero para un ala finita se origina una resistencia inducida R_i , que se añade a la resistencia de perfil R_p debida al rozamiento y la falta de recuperación de presiones provocada por la separación de la corriente; la suma de estas dos resistencias es R .

R : resistencia

C_d : coeficiente de roce

A_p : área en planta del ala

V : velocidad

ρ : densidad

$$R = C_d \rho A_p V^2$$

Donde C_w es el coeficiente de resistencia que depende de la forma del perfil y del ángulo. Como el ala es finita, para obtener la resistencia total, es necesario añadir a la resistencia del perfil deducida anteriormente, la resistencia de rozamiento, como la que se tiene sobre una cara de una superficie plana lisa y cuyo coeficiente de arrastre. El coeficiente de arrastre (C) se determina:

Consideraciones de diseño

Re: número de Reynolds
 n: viscosidad cinemática
 L: longitud
 V: velocidad

$$C = \frac{0,455}{(\lg Re)^{2,58}}; \quad Re = \frac{V L}{n}$$

El valor de los diversos coeficientes aerodinámicos se determina experimentalmente (fuselaje, ala, etc.).

Una forma de reducir el arrastre hidrodinámico es eliminando las zonas de recirculación para disminuir el arrastre por diferencia de presiones, que tiende a dominar para un flujo con número de Reynolds elevado.

Las zonas de recirculación, o de desprendimiento, se pueden eliminar o reducir si la forma del cuerpo es suave, evitar las esquinas y cambios abruptos de dirección. Sin embargo, al añadir regiones sólidas para disminuir las orillas, se aumenta también el área superficial, y por tanto, se aumenta el arrastre por fricción.

La forma óptima de un perfil es aquella que produce el mínimo de arrastre.

El mínimo coeficiente de arrastre que se puede producir es de aproximadamente 0.06, que representa tan sólo el 20% del valor encontrado para un cilindro.

Para diseño de aviones necesitamos considerar dos factores:

El arrastre debe ser bajo. Un alto arrastre implica una potencia más alta para mover el avión. La sustentación debe ser alta. Entre mayor sea la sustentación proporcionada, el avión puede transportar más peso.

También debemos considerar las siguientes condiciones. Durante el despegue y el aterrizaje, la sustentación debe poder controlarse. Durante el aterrizaje y despegue, necesitamos tener una alta sustentación a velocidades no muy grandes, no así en vuelo. Variando la forma del perfil por medio de flaps o cambios en el ángulo de ataque.

Para vuelo permanente tenemos que el peso del avión (fuerza por masa) será igual al coeficiente de sustentación, por el área de la superficie en planta del ala, por la velocidad al cuadrado y la densidad del medio; aca es donde cambiando el fluido podemos aplicar los mismos conceptos y consideraciones en las hidroalas.

La velocidad mínima se puede calcular de la expresión anterior cuando $CL = CL(max)$:

$$U_{min} = \sqrt{\frac{2W}{\rho C_{L(max)} A}}$$

Por tanto la velocidad mínima se puede disminuir si se aumenta el área en planta del ala (A) o el coeficiente de sustentación (CL). Otra forma de variar el coeficiente de sustentación es utilizando alas de geometría variable.

Diagrama polar

Los diagramas polares son gráficas del coeficiente de sustentación en función del ángulo de ataque y el coeficiente de resistencia para los distintos del ángulo de ataque o coeficientes de sustentación. Estos valores son verificados experimentalmente.

Sustentación

Las curvas nos ayudan a obtener los siguientes datos:

Horizontalmente en la base del gráfico, se encuentran los ángulos de incidencia en grados, ángulo que se forma con la línea de referencia del perfil y la dirección del aire.

A la derecha de la tabla, verticalmente se tienen dos escalas la que está más a la derecha, pertenece al coeficiente de resistencia al avance C_d , Drag coefficient. A su izquierda, está la escala del coeficiente de sustentación C_l , lift coefficient. Fijándose en la línea de abajo donde están los ángulos de incidencia y en la propia curva del C_l , 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 $C_l = 0$, será aquel en que no sustenta el perfil y es variable para los distintos perfiles aquí es 0° . Con un ángulo de $14,3^\circ$ 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 de aire.

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, que es importante sobre todo en el aterrizaje, donde necesariamente no se ha de bajar de una cierta velocidad y el aumento de incidencia puede provocar desprendimiento.

Resistencia al avance y sus consecuencias.

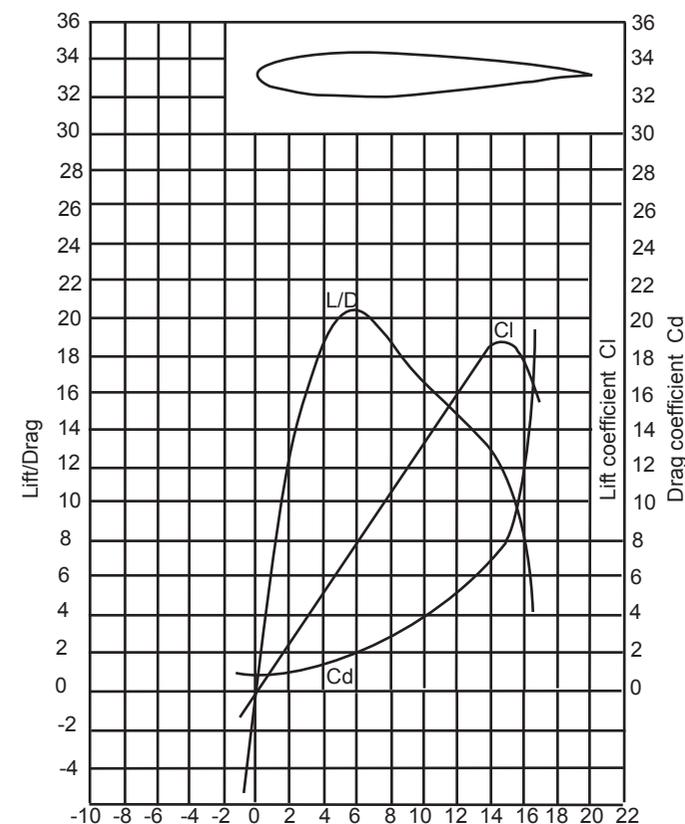
Cuando un perfil entra en el aire con una incidencia de sustentación nula, no por eso deja de encontrar resistencia al avance, vemos que el C_x no es nulo puesto que el aire ha de pasar rozando desde el borde de ataque al de fuga con toda la cuerda del ala y en toda su longitud.

Relación C_l/C_d

A la izquierda de nuestro gráfico, vemos una escala llamada "ratio of lift to drag" algo así como: 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 lo que se llama "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.



Desplazamiento del centro de empuje.

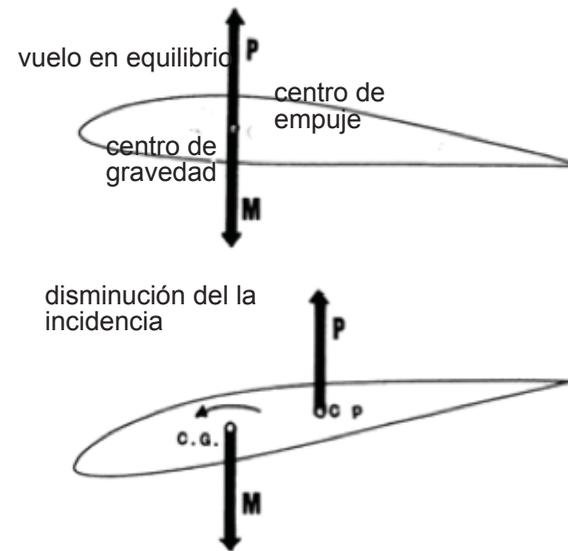
La mayor parte de los perfiles se ven afectados por la inestabilidad.

Un ala es incapaz de volar sólo de manera estable, aunque el centro de gravedad esté convenientemente situado, necesita utilizar un empenaje horizontal o estabilizador para mantener una trayectoria correcta.

Los llamados perfiles auto estables de aplicación, no pueden adoptarse con carácter general porque no tienen una gran sustentación, presenta mayor resistencia al avance y no se puede aplicárles dispositivos hipersustentadores o aerofrenos sin perder sus características de auto estabilidad. El caso de un perfil que vuela en horizontal, con el peso y la sustentación aplicados en el mismo punto, la resistencia no interviene, puesto que no tiene influencia, el ala está en equilibrio. No hay esfuerzos que tiendan a encabuzar ni a girar el ala variando el ángulo de incidencia. Pero basta una turbulencia o fenómeno similar, para que comience el desequilibrio al que podrá ponerse final según la tendencia del perfil en cuestión.

La existencia del momento de giro tiende a hacer que el ala comience a rotar. Un avión podría salir de la situación de desequilibrio si tiene tendencia a recuperar la posición de vuelo horizontal. En presencia de un aumento en el ángulo de incidencia y en la sustentación, el centro de empuje se desplazara hacia atrás del ala desde ese punto de retraso, consiguiera una disminución del ángulo de ataque. El centro de empuje se desplaza hacia delante en un momento dado, sobrepasando el centro de gravedad y provocaría de nuevo un aumento de la incidencia. El ala será estable, si reacciona a cada cambio buscando el equilibrio, siempre que el centro de gravedad esté

convenientemente situado.



Desplazamiento del centro de gravedad y empuje.

La mayoría de los perfiles biconvexos simétricos tienen un centro de empuje que no se desplaza o se desplaza poco y que se encuentra hacia el 25% de la cuerda (desde el borde de ataque). Se trata de perfiles con un equilibrio indiferente.

Los biconvexos disimétricos, mayormente, tienen un centro de empuje que se desplaza como el de los perfiles planos y gruesos que son muy inestables. A menudo, se busca que algunos perfiles biconvexos disimétricos mantengan su centro de empuje algo más fijo como en los simétricos. El ejemplo más conocido es el del NACA 23012.

La inestabilidad de los perfiles disimétricos planos y gruesos es tal, que el centro de empuje se desplaza en el sentido inverso al que lo haría en un perfil auto estable. Todo aumento de la incidencia (y de la sustentación) hace mover el centro de empuje C_p hacia adelante aumentando así la incidencia, la sustentación, etc. Para solucionar esto se utiliza un estabilizador.

En el gráfico se muestra la reacción de 3 perfiles, el 474 biconvexo simétrico, el 207 biconvexo disimétrico y el 186 perfil auto estable de doble curvatura. Todos de la familia EPPLER. Debajo de ellos se encuentran las curvas que muestran el desplazamiento del centro de empuje.

El centro del 474 a $C_{mo}=0$ queda al 25% aproximadamente de la cuerda, punto que se conoce como "foco" del perfil. Todos los perfiles tienen el foco al 25% de la cuerda y el centro de empuje se desplaza con relación a ese foco, por delante de él, para los auto estables como el 186 y detrás, para todos los inestables como el 207.

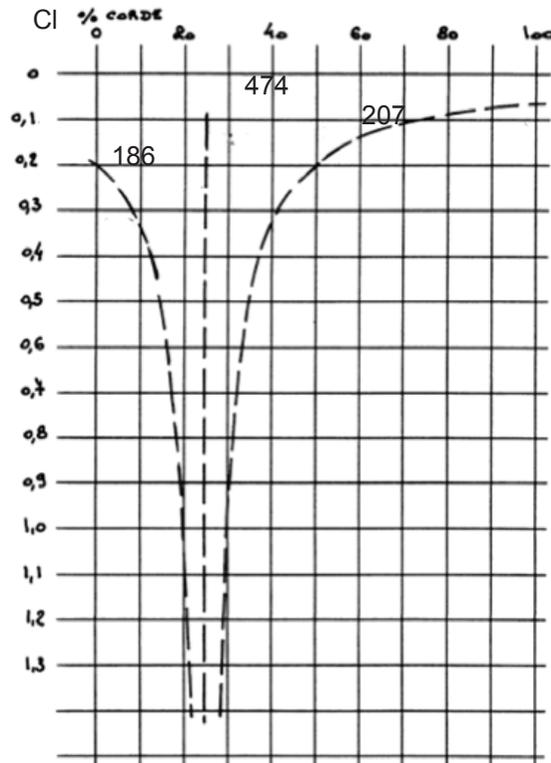
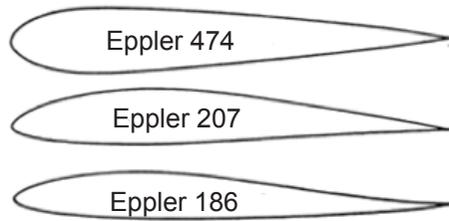


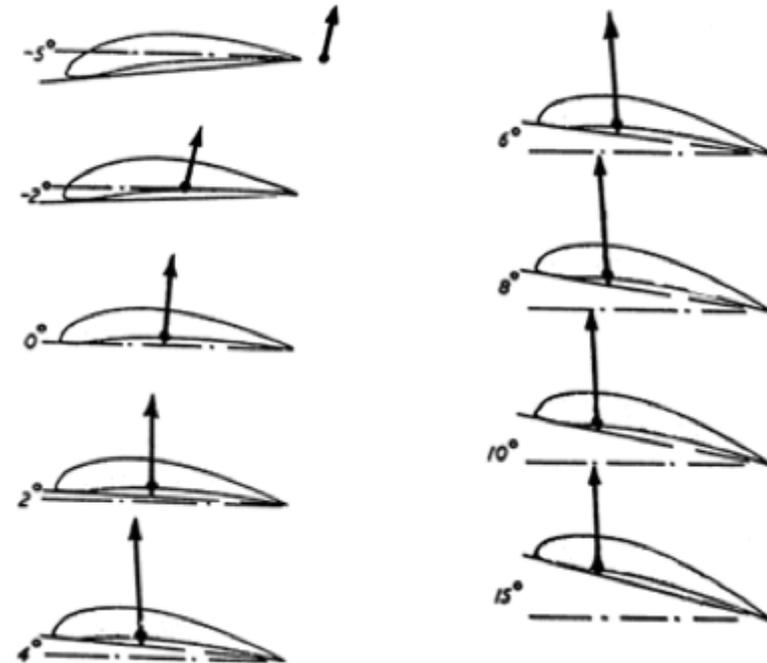
Gráfico de sustentación perfiles Eppler 474, 207 y 186

Ubicación del centro de empuje.

El centro de empuje puede salir fuera del ala para volver a sustentaciones débiles; en la parte delantera para un perfil auto estable y detrás para uno inestable.

Para que el centro de gravedad, C_g , y el centro de empuje, C_p , coincidan han de estar hacia el 20% de la cuerda para un ala volante y en un avión clásico hacia el 30%.

Ubicación del centro de empuje de un perfil inestable para distintos ángulos de ataque.



En general, si se observa la curva se puede saber a que clase de perfil pertenece, para perfiles indiferentes el tramo de curva es horizontal. En perfiles inestables, la curva desciende hacia la izquierda y en perfiles estables, la curva se eleva por la izquierda.

En el gráfico que sigue podemos ver el desplazamiento del centro de empuje, C_p , en un perfil normal del tipo inestable para distintas incidencias.

Planta del ala

Un vórtice o torbellino es una masa de que gira sobre si, su eje de rotación se denomina línea de vórtice. Se produce debido a las alteraciones generadas en los extremos de las alas. Los vórtices dan lugar a la estela turbulenta, y son producto de la sustentación. Cuando se genera la sustentación la masa de aire adquiere un movimiento descendente, además este aire se riza sobre si mismo alrededor de la parte superior del ala debido al cambio de velocidad del fluido, de forma proporcional al cambio de sustentación a lo largo del ala. El rizado se produce a lo largo de todo el ala, pero es en los extremos donde la sustentación cae rápidamente a cero, por esto el rizo se hace más apretado, dando lugar a los vórtices.

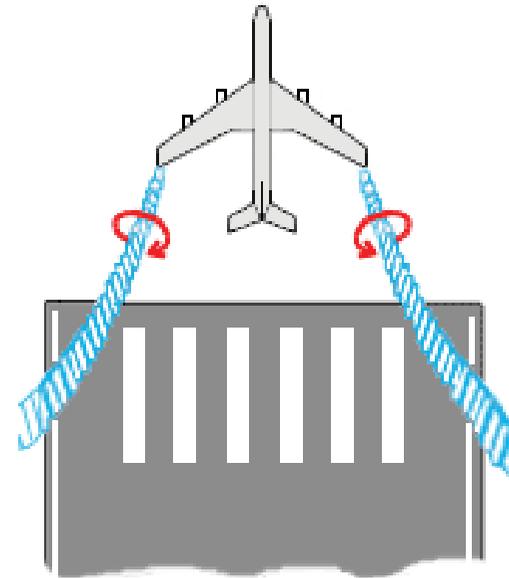


Estela turbulenta

La fuerza de los vórtices viene determinada por el peso, la velocidad y las características del ala. Los más pesados son generados por aviones pesados,

volando sin flaps extendidos y lento, necesitando producir una gran cantidad de sustentación para soportar su peso. Se podría decir cuanto mas sustentación debe producir un avión mayor es la fuerza de su vórtice.

Los vortices forman parte del aire y no se quedan donde se producen, desplazándose hacia abajo, hasta estabilizarse. Además se ven afectados por el viento dirigiéndose en la dirección de este. Cerca de tierra, tienden a difundirse lateralmente sobre el suelo.



Difusión del vórtice en el suelo

Formas en planta de las alas

La forma en planta es una vista superior o inferior del ala, es la distribución de la longitud a lo largo de la envergadura. El alargamiento el estrechamiento y la flecha indican cual es la resistencia inducida del ala, como entra en pérdida y el comportamiento a ángulos de ataques elevados.

La sección donde se encuentra la mayor sustentación varía con el estrechamiento, al igual que la sección donde comienza la pérdida. Como está distribuida la cuerda determina como se reparte la sustentación a lo largo de la envergadura. Además posee un efecto en la resistencia inducida, la que se genera por la sustentación debido a los torbellinos producidos en la puntera del ala por la diferencia de presiones. Algunas alas pueden tener más resistencia inducida que otras aunque el área alar total sea la misma.

Como la carga alar va decreciendo hacia la punta del ala. Las tensiones el ala se incrementan desde la punta al interior, por lo cual la estructura debe ser suficientemente resistente para soportarlas, particularmente si es de tipo cantilever, ya que se encuentra tomada al fuselaje como una viga empotrada en una pared.

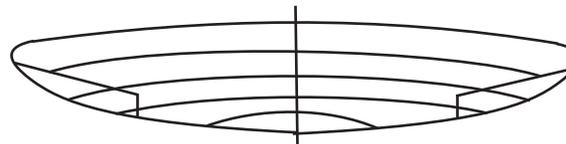
En las alas, no entra en pérdida simultáneamente toda su envergadura, algunos sectores entran primero, progresando desde estos, hasta que un área suficientemente grande ha entrado a pérdida para que aparezca abruptamente la disminución de sustentación, y el peso no pueda ser soportado, aun así, el ala no esta completamente en pérdida. Esto se produce porque el ángulo de ataque efectivo es diferente a lo largo del ala. Esta variación se debe al torbellino descendente, downwash, causado por la manera que se genera el vórtice de la punta

del ala. Por lo cual la forma de la planta del ala determina la distribución del ángulo de ataque efectivo.

Se distinguen distintos tipos formas de plantas de alas.

Elíptica

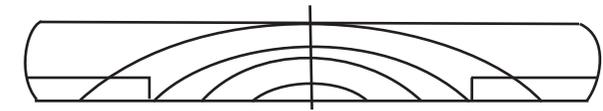
Las alas de forma elíptica poseen la mínima resistencia inducida posible, pero es costosa y difícil de construir. Con la mayor complejidad y producción más costosa de aeroplanos, el ala elíptica fue sustituida por la ahusada. Para un ala elíptica perfecta, el ángulo de ataque efectivo es constante.



Rectangular

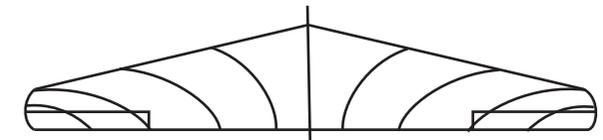
Un ala recta tiene una cuerda constante. Es fácil de fabricar pero tiene peor aerodinámica. Es ideal para aviación general.

Se ha logrado desarrollar una forma rectangular o ligeramente ahusada, casi tan eficiente como una elíptica y mucho más fácil su construcción. Para una rectangular el máximo ángulo de ataque efectivo está en la raíz o encastre.



Trapezoidal o ahusada

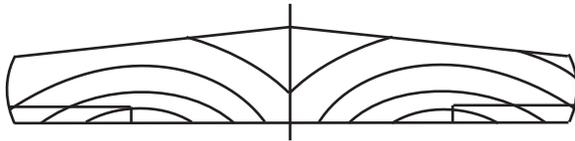
Posee una cuerda que disminuye constantemente a la punta. Es más ligera que un ala rectangular, y tiene mejores características aerodinámicas. Estas alas por requerir de menos estructura y ser mas esbelta pareciera ser la mejor selección, pero una de las desventajas es su comportamiento durante la pérdida de sustentación. Para una ahusada el ángulo de ataque efectivo está hacia fuera, cuanto más ahusada más cerca de la punta se encuentra.



Ala en flecha invertida

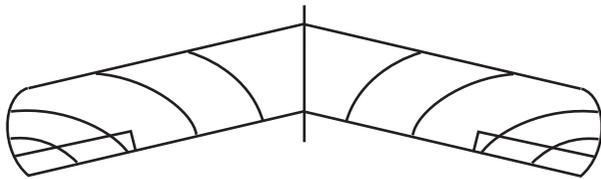
Intermedia

Es una solución intermedia rectangular trapezoidal se usa para turbohélice, subsónico bajo y regionales.



Trapezoidal con flecha

La flecha puede ser positiva, los extremos de las alas orientados hacia atrás respecto a la raíz o encastre; o negativa, con los extremos adelantados.



Las alas en flecha negativa tienen ventajas para la estabilidad, pero disminuye algo la sustentación. Es uno de los diseños alares menos estables aerodinámicamente es el de las alas en flecha invertida. A pesar de eso, este diseño proporciona al avión una extraordinaria agilidad y maniobrabilidad.

Si el ángulo de la flecha invertida no es excesivo, la inestabilidad no es tan acusada. De hecho, es una configuración muy utilizada a fin de hacer coincidir el centro de masa y el centro de empuje de la aeronave. Proporciona estabilidad en ángulos críticos de ataque.

Disminuye problemas de compresibilidad, reduciendo el mach aparente en el borde de ataque, es utilizado para aviones subsónicos altos. Las alas con flecha negativa las puntas tienden a flexionarse hacia arriba por lo que no se pudieron utilizar hasta lograr el desarrollo de materiales compuestos capaces contrarrestar la fuerza que se ejerce en la estructura.

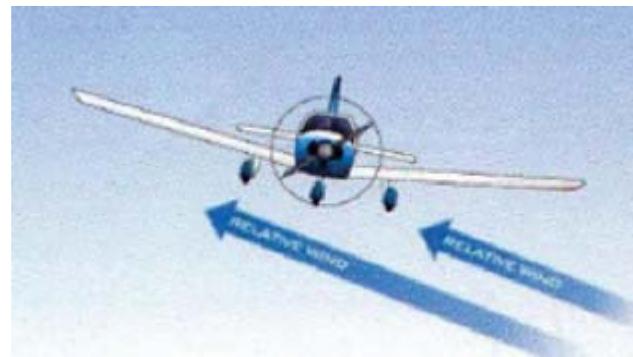


Diedros

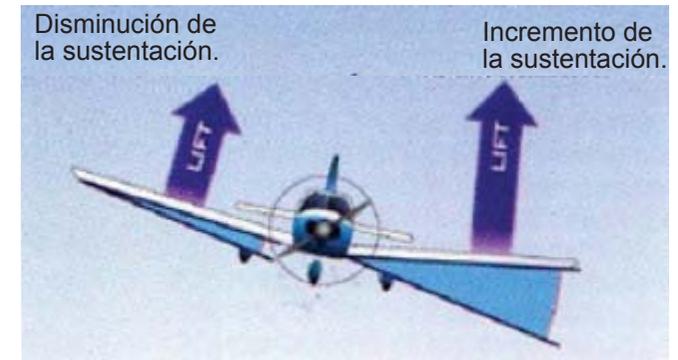
Existen superficies sustentadoras que forman un diedro, con su arista central hacia arriba o hacia abajo. Si bien el mayor rendimiento parece obtenerse con la superficie continua, frecuentemente se adopta la forma de diedro por sus condiciones de estabilidad transversal.

La estabilidad lateral se refiere a la que presenta el avión sobre su eje longitudinal. Cuando un avión que tiende a volver a su posición de alas niveladas, después de que una ráfaga de viento, levantando o bajando una de ellas, se dice que es lateralmente estable.

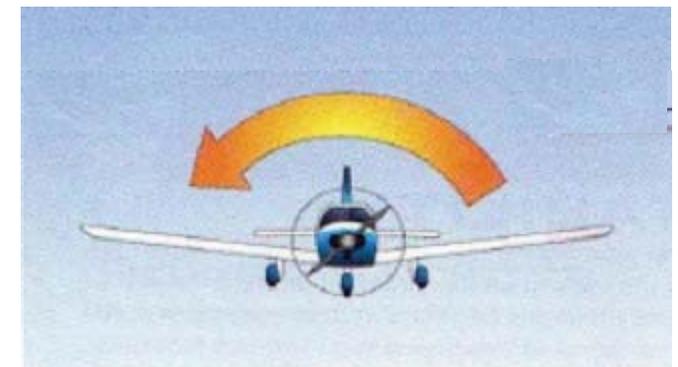
Los diedros del ala son usados comúnmente en la aviación para que actúen sobre la estabilidad lateral. El que puede ser en ángulo ascendente o descendente del ala del avión con respecto al horizonte, formando las alas una V. Normalmente la magnitud del diedro son pocos grados. Si se ve afectado por turbulencias 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.



Entrada a un resbalamiento lateral.



El ángulo de ataque y la sustentación aumentan en el ala baja.



La aeronave gira y se nivela.

Estabilidad Principios de estabilidad

Masa, es la medida de inercia de un cuerpo.
Peso, fuerza con que la tierra atrae a un cuerpo.
Kilogramo fuerza, fuerza con que la tierra atrae a la masa de 1 kg.

Densidad (ρ), razón entre la Masa de un cuerpo y su volumen gr/cm^3 .

Peso específico (γ), razón entre el peso de un cuerpo y su volumen grf/cm^3 .

Gravedad específica, relación entre el peso de un cuerpo y el peso de su volumen de agua dulce.

Principio de Arquímedes

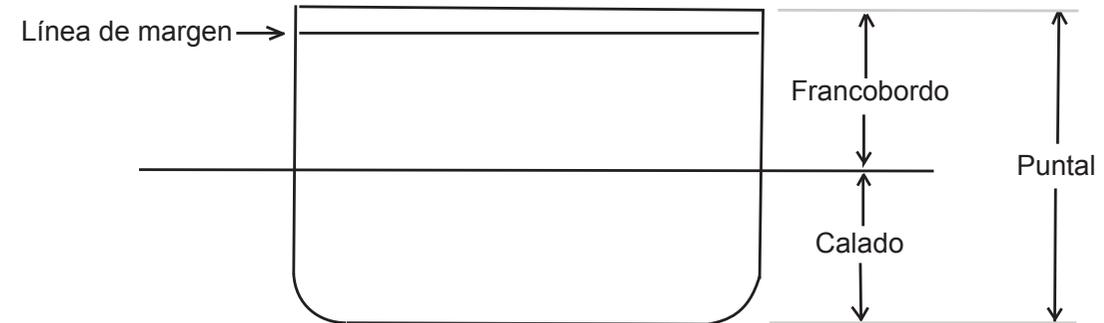
Todo cuerpo que se encuentra en un medio fluido pierde, aparentemente, tanto peso como sea el peso del fluido desplazado por el cuerpo. Esto se cumple para todos los cuerpos que se encuentran en un medio líquido o gaseoso.

Definiciones

Francobordo es la distancia entre el plano de flotación y la borda, en la sección media.
Calado es la distancia entre el plano de flotación y la quilla.

El puntal es la distancia entre la quilla y la borda.
Reserva de Flotabilidad, es el espacio que queda en el casco estanco sobre el plano de flotación. Puede expresarse en términos de volumen o en base al peso que podría agregarse para que se sumerja totalmente.

La línea de margen se considera dibujada 7,5 cm. (3") debajo de la cubierta de flotabilidad. En caso de avería el nivel del agua no debe sobrepasarla.

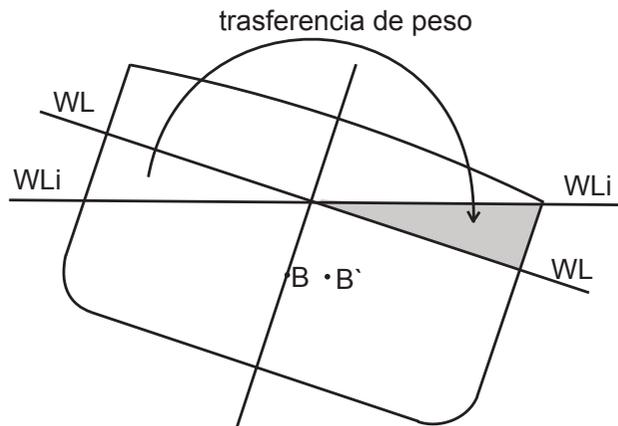


Puntos importantes en una nave

Centro de gravedad (G) es el punto de aplicación de la resultante de todos los pesos que conforman la nave.

Centro de boyantez o de carena (B) es el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas de flotación, o empuje, que actúan en la sección del casco que se encuentra bajo la línea de flotación. Está ubicado en el centro geométrico del volumen sumergido. Al escorarse la nave cambia la forma del volumen sumergido, por lo que también cambia la posición del centro geométrico.

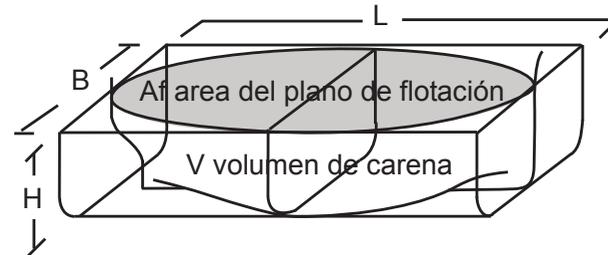
El movimiento del centro de boyantez es lo que mantiene la estabilidad del buque produciendo el brazo de adrizamiento.



Desplazamiento del centro de boyantez.

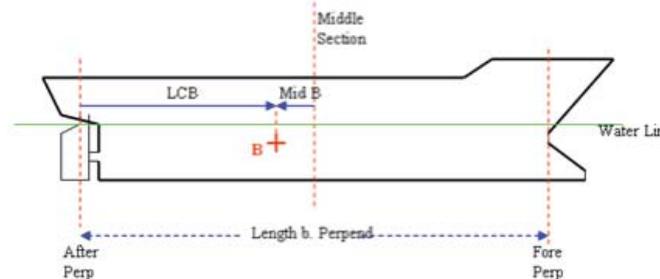
El área del plano de flotación (A_f) es el área que se genera al cortar el Casco por la superficie del mar.

El volumen de carena (V) es el volumen de la obra viva.

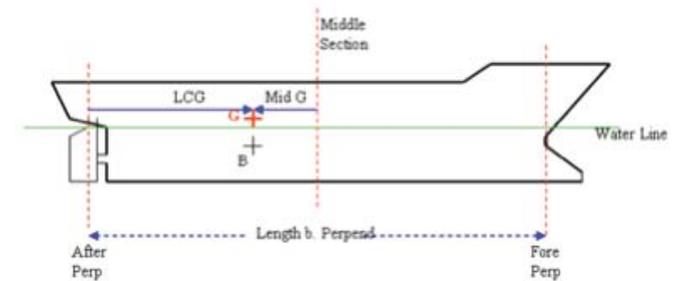


La superficie mojada es el área del casco en contacto con el líquido

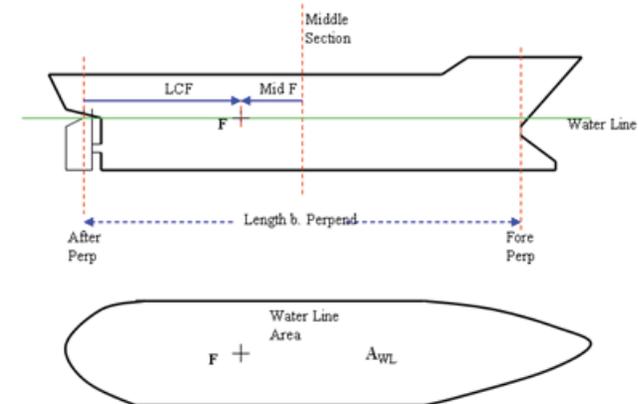
BM es el radio metacéntrico transversal, distancia entre el metacentro y el centro de boyantez. Este nos lleva a GM que es la altura metacéntrica. MID B es la posición del centro de boyantez con respecto a la sección media. Si se mide con respecto a la perpendicular de popa se denomina LCB.



MID G es la posición del centro de gravedad con respecto a la sección media. Si se mide con respecto a la perpendicular de popa se denomina LCG.



MID F es la posición del centro de flotación. Si se mide con respecto a la perpendicular de popa se denomina LCF. El buque se balancea en este punto por lo que se dice que el buque vira en torno a el.



Metacentro es la intersección entre el centro de simetría y la línea vertical que pasa por el centro de flotación para escoras entre 0° y 5° . La capacidad que tiene la nave de volver a su posición original, es proporcionada por el movimiento del centro de flotación. Se genera un momento adrizante, esta distancia es el brazo de adrizamiento GZ. La posición vertical del metacentro puede encontrarse mediante la expresión:

$$BM = \frac{I}{V}$$

Es el momento de inercia del plano de flotación con respecto a su línea de crujía y V es el volumen sumergido del casco.

El momento de inercia de un rectángulo está dado por la expresión:

$$I = \frac{1}{12} \times (\text{lado paralelo al eje}) \times (\text{lado perpendicular al eje})^3$$

Del mismo modo se calcula el metacentro longitudinal utilizando el Momento de Inercia del área del plano de flotación con respecto a su eje transversal. El momento de inercia longitudinal es mucho más grande que el transversal.

MTC es el momento para cambiar el asiento en 1 cm. Para su calculo se desplaza el centro de gravedad entonces el centro de boyantez también

se corre obteniendo cual seria el movimiento para que el barco se sienta medio centímetro, como se levanta medio centímetro en proa se genera la diferencia de un centímetro.

TPC son las toneladas por centímetro de inmersión.

KB se denomina a la posición vertical de centro de boyantez.

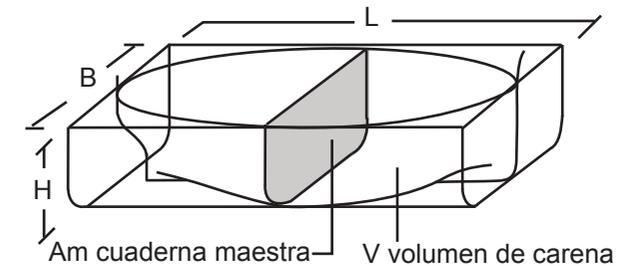
T KM es la posición vertical del Metacentro Transversal.

L KM es la posición del Metacentro Longitudinal.

El coeficiente de block es el volumen de carena (V) dividido por el volumen del cubo (B H L) en que se inscribe la nave, se utiliza para saber cuan parecido es a un cubo, eslora por calado por manga.

El coeficiente prismático se obtiene del volumen sumergido (V) dividido por el volumen del prisma resultante de la proyección de la cuaderna maestra (Am) a proa y popa (L).

El coeficiente de cuaderna maestra (Am) es el área de la cuaderna maestra dividido por el área del cuadrado en que se inscribe la cuaderna maestra, eslora por calado (B H).



Curvas Hidrostáticas

La forma de los cascos no tienen formas comunes, por esto resolver problemas de estabilidad no es fácil. Para obtener rápidamente esta información se tabula o graficas en las curvas hidrostática. Para cada calado medio proporciona los distintos valores.

Volumen desplazado

Muestra el volumen de agua desplazada por la embarcación a un determinado calado. La unidad de medida del desplazamiento es en dm^3 .



Desplazamiento

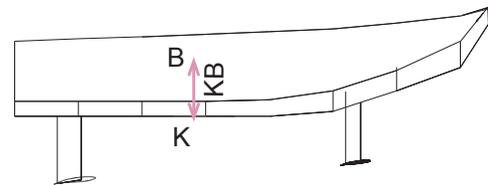
Muestra el volumen de agua desplazada por la embarcación a un determinado calado multiplicada por la gravedad específica del medio en el que se desplaza, en este caso agua de mar.



Gravedad específica agua de mar = 1.025

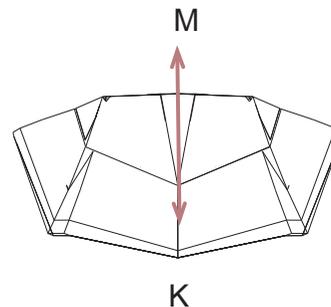
KB

KB es la distancia que existe entre el punto K (donde se coloca el centro de gravedad de la lancha para poder calcular las curvas, en este caso la quilla) y el centro de Boyantez de la lancha.



KM

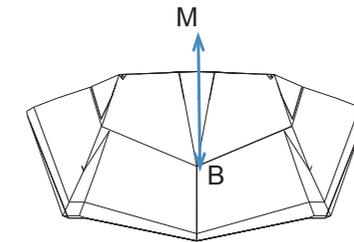
Es la distancia existente entre la quilla (donde se ha puesto el centro de gravedad) y el metacentro transversal de la lancha.



BM

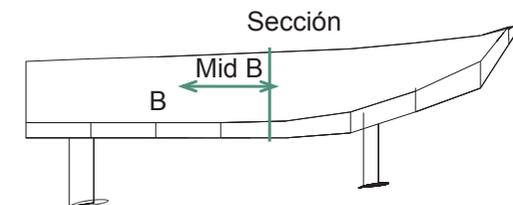
Es la distancia que hay entre el centro de Boyantez

de la lancha (B) y el metacentro transversal de la misma.



Mid B

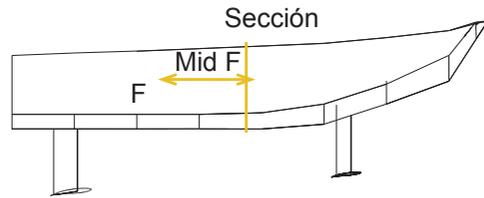
Indica la distancia del centro de Boyantez (B) a la sección media de la embarcación. Para graficar se considera que cuando B se encuentra desde la sección media a la proa es positivo y cuando esta hacia la popa es negativo.



Mid F

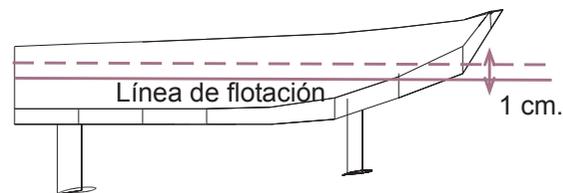
Indica la distancia del centro geométrico del área del plano de flotación a la sección media de la

embarcación. Para graficar se considera que cuando F esta de la sección media a la proa es positivo y cuando esta hacia popa es negativo.



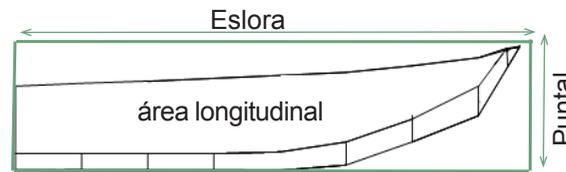
TPC

Muestra la cantidad de peso (toneladas) que se le debe agregar a la lancha para cambiar de manera uniforme su calado.



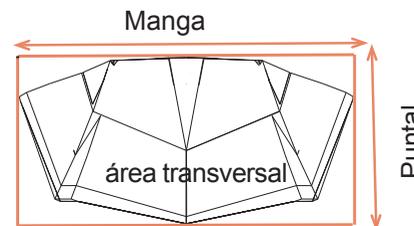
Coefficiente Prismático

Porcentaje que se obtiene al comparar el área longitudinal del corte de la lancha por su línea de crujía, con un prisma cuyo alto es el puntal y ancho es la eslora de la lancha.



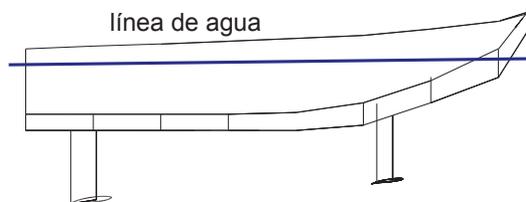
Coefficiente de Block

Porcentaje que se obtiene al comparar el área de la sección media de la lancha con un paralelepípedo cuyo alto es el puntal y el ancho es la manga de la embarcación.



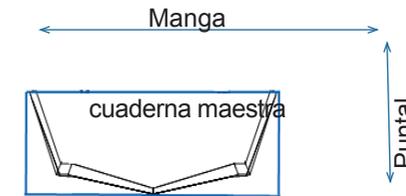
Línea de agua

Indica las distintas distancias a las que el agua corta la embarcación a distintos calados.



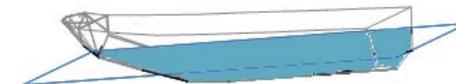
Coefficiente de Cuaderna Maestra

Porcentaje que se obtiene al comparar el área de la cuaderna maestra al inscribirla dentro de un paralelepípedo cuya altura es el puntal de la cuaderna maestra y su ancho es la manga de la cuaderna maestra.



Área mojada

Muestra las distintas áreas bajo la línea de agua de la embarcación. Esta curva se utiliza para poder calcular el roce al que será sometida la embarcación.



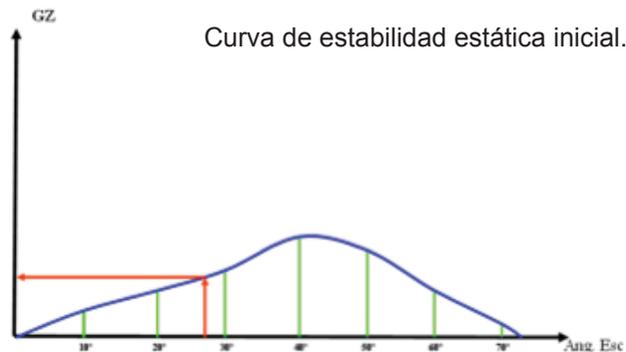
Curvas cruzadas

Metacentro para cualquier ángulo de escora

Para ángulos de escora superior a 5° el metacentro se traslada, esto influye en el brazo de adrizamiento. Esta traslación es graficada en las curvas cruzadas. Para ángulos de escora moderados el metacentro sube, aumentando la estabilidad, hasta los 40°. Luego el metacentro desciende, disminuyendo los brazos de adrizamiento y por tanto la estabilidad.

Curvas de estabilidad estática

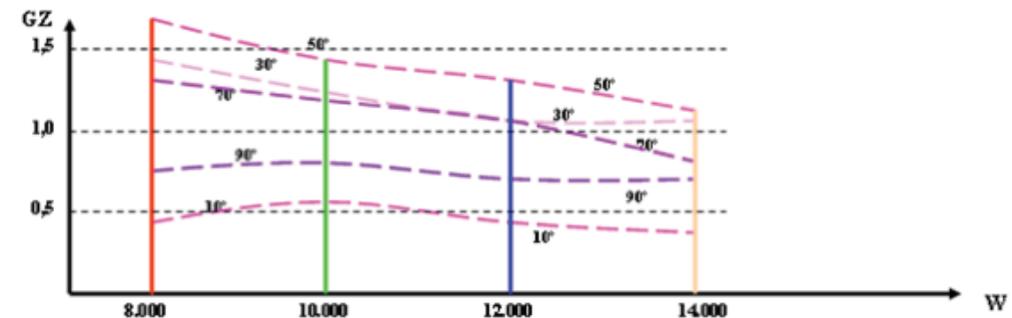
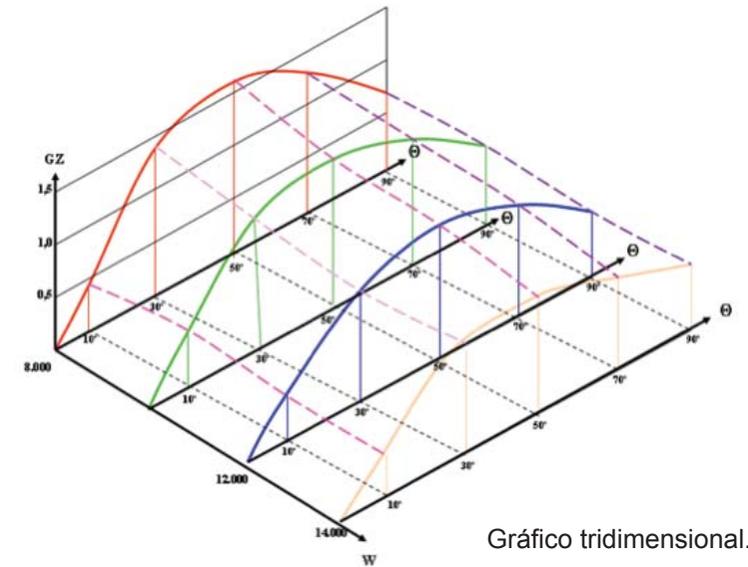
Las curvas de estabilidad estática grafica el brazo de adrizamiento en función de los ángulos de escora para un determinado calado. Este grafico se deben realizar para los distintos calado de la embarcación los cuales permitirán la construcción de las curvas cruzadas.



Curvas cruzadas.

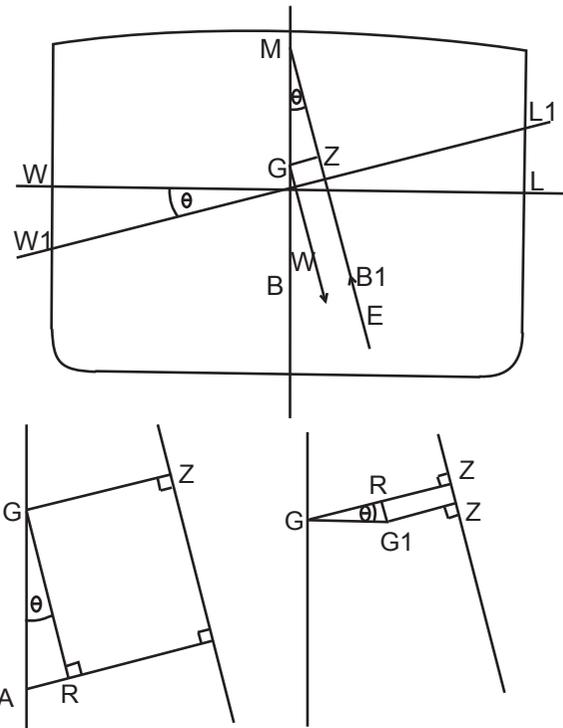
Las curvas cruzadas son el resultado de la proyección de un grafico tridimensional, que indica el valor del brazo de adrizamiento en función del desplazamiento y el ángulo de escora. Se considera el centro de gravedad fijo en un punto elegido para su construcción. Las curvas KN son las que el centro de gravedad inicial es considerado en la quilla.

La proyección bidimensional del grafico tridimensional se denomina curvas cruzadas. Las líneas son los lugares geométricos de todos los brazos de adrizamiento para un mismo ángulo de escora.



Corrección de la curva de estabilidad

La curva de estabilidad inicial debe ser corregida por una supuesta subida del centro de gravedad, ya que la posición en que se considera el centro de gravedad es un supuesto, normalmente esta más arriba.



Para corregir la curva se considera que AR es la disminución del brazo de adrizamiento, por tanto $AR = AG \text{ sen}\theta$. Entonces para cada brazo de adrizamiento se debe restar $AG \text{ sen}\theta$.

Cuadro de cargas

El cuadro de cargas proporciona la información para realizar los cálculos y análisis finales de estabilidad, el desplazamiento, los calados finales, curva de estabilidad final y saber si cumple con los valores mínimos requeridos por la normal OMI, el ángulo de escora para determinar los movimientos de peso que se deber efectuar para adrizar la embarcación y las superficies libre.

W KGo

Ang Escora	AT	AGo	sen Ang Esc	ag x sen A	GoZ
0	0,000	0,712	0,000	0,000	0,000
10	0,170	0,712	0,174	0,124	0,046
15	0,279	0,712	0,259	0,184	0,095
20	0,418	0,712	0,342	0,243	0,175
30	0,826	0,712	0,500	0,356	0,470
40	1,307	0,712	0,643	0,457	0,850
45	1,401	0,712	0,707	0,503	0,898
60	1,197	0,712	0,866	0,616	0,581
75	0,775	0,712	0,966	0,687	0,088
90	0,253	0,712	1,000	0,712	-0,459

Tabulación de las curvas de estabilidad estática.

Weight	Mid G	Mto Longit	KG	Mto Vertic	Lat G	Mto Lat	I	I x gama
MT	m	MT m	m	MT m	m	MT m	m4	TM m
Light Weight	0,50	-0,33	0	0,48	0,000	0		

Light Weight

constantes

motor	0,23	-2,93	-1	0,73	0	0,00	0	
carga	0,20	-227,00	-45	0,38	0	0,00	0	
panel de control	0,07	185,00	13	0,71	0	0,00	0	
est. Combustible(B)	0,05	-261,00	-13	0,38	0	59,76	3	0,0
Est. Combustible(E)	0,05	-261,00	-13	0,38	0	-59,76	-3	0,0

Displacement W

1,10	-53,99	-59	0,52	1	0,000	0	0,1	0,1
------	--------	-----	------	---	-------	---	-----	-----

De Tablas Hidrostáticas

Mid B	-0,208	m
Mid F	-0,783	m
T KM	1,682	TM m/cm

GGo	I x gama / W	0,048	m
KGo	KG + GGo	0,566	m
GoM	KM - KGo	1,116	m

Ang Escora	Atan GG1/GoM
Ang Escora	0,0 °

Cuadro de cargas

Experimento de inclinación

El experimento de inclinación es una prueba práctica, se debe realizar para determinar la posición del centro de gravedad, en condición de barco liviano.

Para hacer la prueba se debe contar con aguas muy quietas, diques de preferencia. No debe estar fondeada el ancla y las amarras sueltas, los líquidos apretados. Se deben tomar calados en 3 partes de la eslora y tratar de no tener asiento, teniendo el mínimo de pesos a bordo, e inventariando los pesos con sus respectivas coordenadas de lo que no se pueda sacar y no corresponda a barco liviano. Se usaran un peso móvil correspondiente al 0,5% del desplazamiento de la nave, generado una escora de 1,5 a 2°.

La medición de los cambios de escora se realiza por medio de un péndulo dentro de un líquido de alta viscosidad y una reglilla. Además se debe contar con la presencia de la autoridad marítima. Otra forma de medición es por medio de una manguera transparente y reglillas.

Teniendo los pesos móviles y calados, se desplazan lateralmente los pesos registrando su magnitud, distancia y la lectura de la reglilla. Se repite con los distintos pesos varias veces y se saca un promedio.

Traslación de peso

Para saber la variación que ha experimentado el centro de gravedad al mover un peso, el momento lateral del peso, distancia recorrida multiplicada por el peso, debe ser igual al efecto ocurrido en la nave.

$$W \times GG1 = w \times gg1$$

$$W \times GG1 = w \times gg1$$

$$GG1 = w \times gg1 / W$$

$$GG1 = GM \times \text{tg } \theta$$

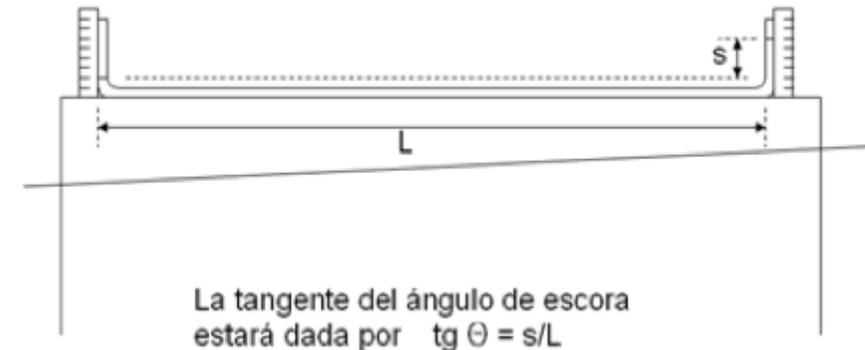
$$GM \times \text{tg } \theta = w \times gg1 / W$$

$$GM = \frac{w \times gg1}{W \times \text{tg } \theta}$$

Si la medida de la reglilla es s y l el largo de la plomada tendremos que:

$$\text{tg } \theta = s/l$$

$$\text{entonces } GM = \frac{w \times gg1 \times l}{W \times s}$$



Hipótesis

Considerando las condiciones climáticas, los sedimentos en suspensión y la ola corta, se cree adecuado incorporar la navegación con hidroalas en la zona. Obteniendo una configuración de perfiles capaz de sustentar un casco, por medio de modelos a escala con mecanismos que permitan calibrar los perfiles alares en todos sus rangos de variabilidad, mediante ensayo y error, a través de remolque del modelo en el canal de pruebas.

Sustentado por la semejanza geométrica y la teoría de modelo, se proyecta una embarcación con hidroalas adecuada para navegar por los canales del sur de Chile por medio de la construcción de modelos a escala, que permitan la aplicación de estudios de estabilidad, cálculos de sustentación, e incorporar los parámetros variables. Los cálculos de sustentación arrojan las dimensiones del ala de acuerdo al tipo de perfil, mientras que las variaciones posibles son la forma en planta del ala, tipo de perfil, altura del perfil y su ángulo de ataque, generando perfiles capaces de sustentar el modelo por procedimientos de ensayo y error.

Metodología

1. Definir y acotar la embarcación a través del método del “espiral de diseño”, sobre los requerimientos de alto nivel (RAN).

2. Desarrollo de planos:

- a. Plano de Líneas (definición de la forma del casco).
- b. Curvas hidrostáticas
- c. Curvas cruzadas y de Estabilidad estática inicial.

3. Estabilidad

a. Experimento de inclinación con el modelo construido y corrección de las curvas de estabilidad estáticas iniciales.

b. Construcción del cuadro de cargas de la embarcación liviana y su respectiva ubicación. (determinación del centro de gravedad).

4. Modelo

a. Determinación de perfiles alares de acuerdo a la información existente.

b. Cálculos, a través de ecuaciones matemáticas, de la sustentación de los perfiles elegidos que permiten obtener las dimensiones de las diferentes alas a probar.

c. Construcción de modelos a escala de los perfiles definidos.

d. Construcción del modelo del casco, con los

5. Pruebas del modelo

a. Pruebas cualitativas de remolque del modelo en piscina y el estero de Ritoque, para verificar la sustentación de los perfiles alares y de la embarcación con sus respectivos pesos.

b. Pruebas cuantitativas, en el canal de Valdivia, para determinar velocidades, roces, y el comportamiento de estabilidad.

6. Planos constructivos del casco para la realización del prototipo en aluminio.

Resultados

1. Espiral de diseño

Restricciones naturales

Esta lancha esta pensada para poder navegar por fiordos, los cuales arrastran gran cantidad de sedimentos que obstruyen las turbinas, además se crea una capa fangosa que al pasar muy cerca de ella daña los motores, al igual que los troncos flotando a media agua y rocas que pueden averiar la embarcación.

El problema de la ola corta es que va golpeando constantemente al casco, en el caso de una lancha que planea, al aumentar la velocidad esta se eleva produciendo la caída del casco continuamente, lo cual genera incomodidad en los pasajeros además de daños en la estructura.

En el caso de la ola larga, la cual tiene una longitud de hasta 2 metros entre valle y cresta, podría afectar la estabilidad longitudinal de la embarcación.

Profundidad a la que navegará

La embarcación debe ser capaz de llegar hasta el borde costero, incluso varar en la playa. Para solucionar este problema se piensa en una hidroala con mecanismo que le permita ser retráctil o plegable, además de un motor fuera de borda, para que pueda disminuir su altura al inclinarlo.

Ancho de la embarcación

Esta va a depender el largo, ya que se deber

cumplir una relación entre sus magnitudes, además considerar el largo de la hidroala, para poder visualizar el total de la embarcación.

La manga, normalmente, en este tipo de embarcación es un tercio de la eslora.

Tipo de embarcación

Embarcación menor, que desarrolle alta velocidad.

Uso

Depende de las necesidades de los colonos, pero principalmente transporte de pasajeros y carga. Debe tener capacidad de llevar una gran cantidad de carga, en proporción a sus dimensiones, para que sea útil a los habitantes. Se considera transportar a no más de 4 pasajeros o 1.5 toneladas cuando esta con hidroala, capacidad que puede aumentar al doble siendo utilizada como embarcación convencional.

Velocidad

La hidroala debe despegar entre 10 y 15 nudos, donde usara su potencia máxima, alcanzando los 30 nudos una vez disminuido el roce del casco.

Casco

El casco es de Aluminio, eslora 5.50 metros, manga

2.1 metros y Puntal 1.1 metros.

Estructura

Casco construido de aluminio aliado con magnesio, serie 5000. Estructurado por sistema de placas soldadas las que dan la curvatura a la embarcación, para insertar posteriormente vigas de aluminio.

Peso

El casco de aluminio pesa cerca de 500 kilogramos, por lo que su carga al momento de funcionar con hidroala debe ser de aproximadamente una tonelada. En tanto que para su uso como embarcación tradicional no debe sobrepasar las dos toneladas.

Volumen

La embarcación es de 6 metros eslora, 2 de manga y 2 de calado, la lancha permite una variación de la eslora en un 10% manteniendo su manga. El ancho de la embarcación puede variar con la hidroala, esto se determinara con las pruebas realizadas al modelo.

Potencia

Utiliza un motor de pata extralarga de dos tiempos. Este casco necesita como minimo un motor de 50

hp, pero se considera que 100 hp será apropiado para usos generales. La potencia al ser usado con hidroala depende del roce, el que se determinará en el canal de pruebas.

Estabilidad

Las hidroalas y la lancha son independientes en cuanto a su estabilidad. Las alas deben ir ubicadas después del punto de giro del casco. Para la dirección de la lancha el perfil se divide en dos partes, con movimiento independiente, de modo que al doblar se cambia el ángulo de ataque de ellos para que uno pierda sustentación mientras el otro la aumenta.

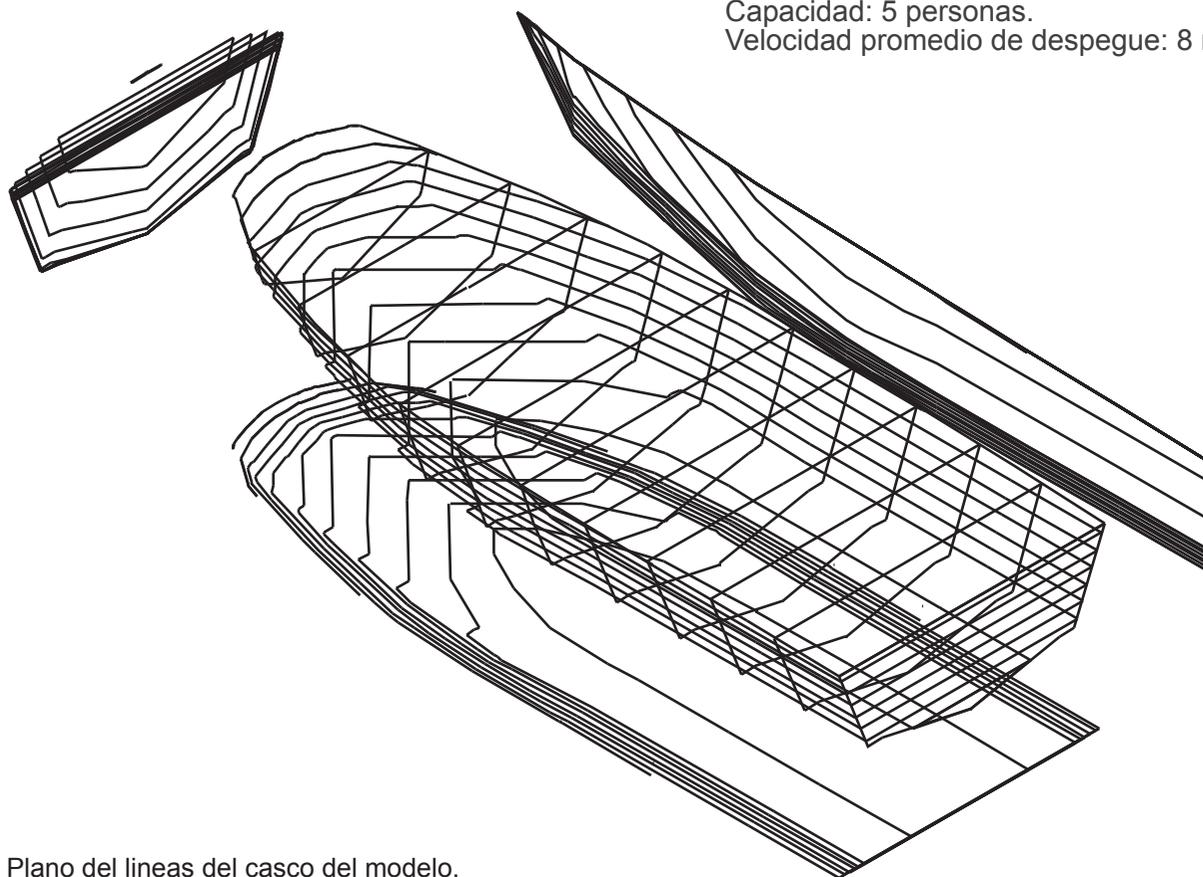
Se considera el uso de sensores de presión para poder usar un ala inestable o un perfil auto estable, que si bien produce más roce, su centro de gravedad se desplaza, para que cada vez que el ala disminuya su ángulo de ataque, se pueda restituir.

Para el área en planta del ala se probará una flecha negativa, que hace que la pérdida de sustentación sea más suave y progresiva, y teniendo su peso menos influencia sobre el centro de gravedad.

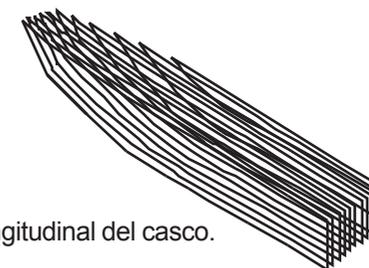
2. Desarrollo de planos.

Para el casco se ha elegido uno que funcione como embarcación de planeo, considerando que no tendrá mayor incidencia en el funcionamiento de las hidroalas mas que al momento del despegue, lo que será facilitado por su superficie plana.

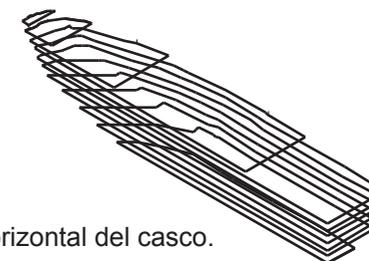
Eslora: 5.50 m.
Manga: 2.10 m.
Puntal: 1.10 m.
Puntal con Hidroala: 1.60 m.
Peso Light Ship: 1 ton.
Peso con Personas: 1.5 ton.
Capacidad: 5 personas.
Velocidad promedio de despegue: 8 nudos.



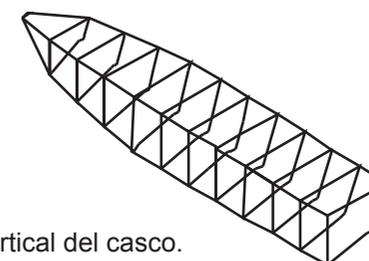
Plano del líneas del casco del modelo.



Corte longitudinal del casco.



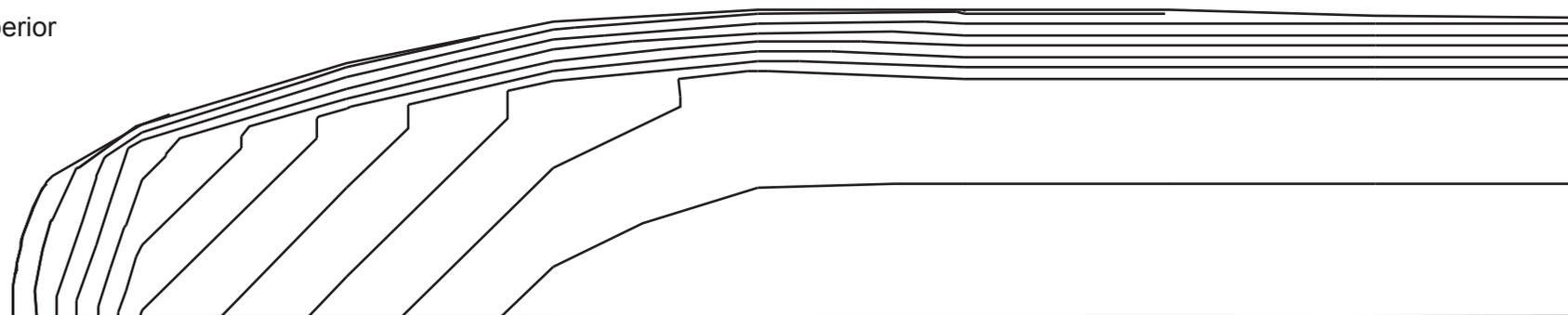
Corte horizontal del casco.



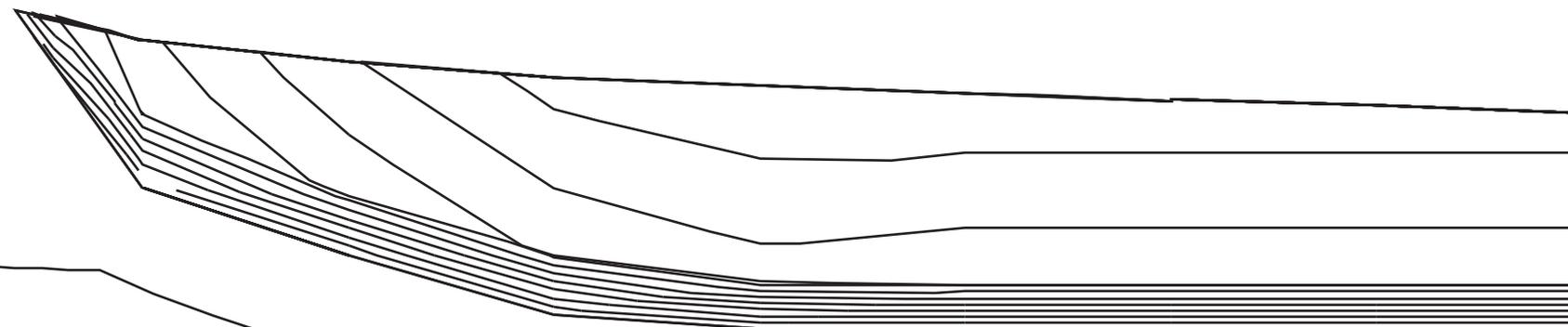
Corte vertical del casco.

2.a. Plano de líneas

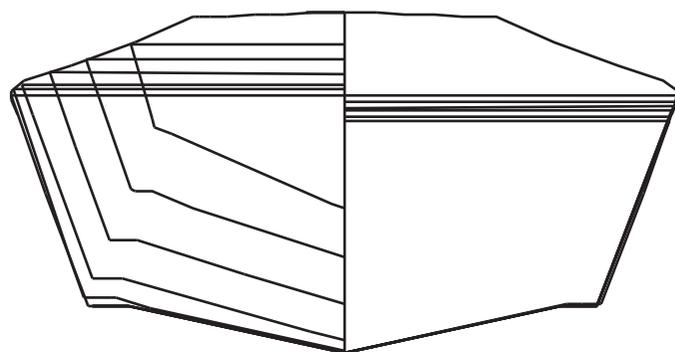
vista superior



vista lateral

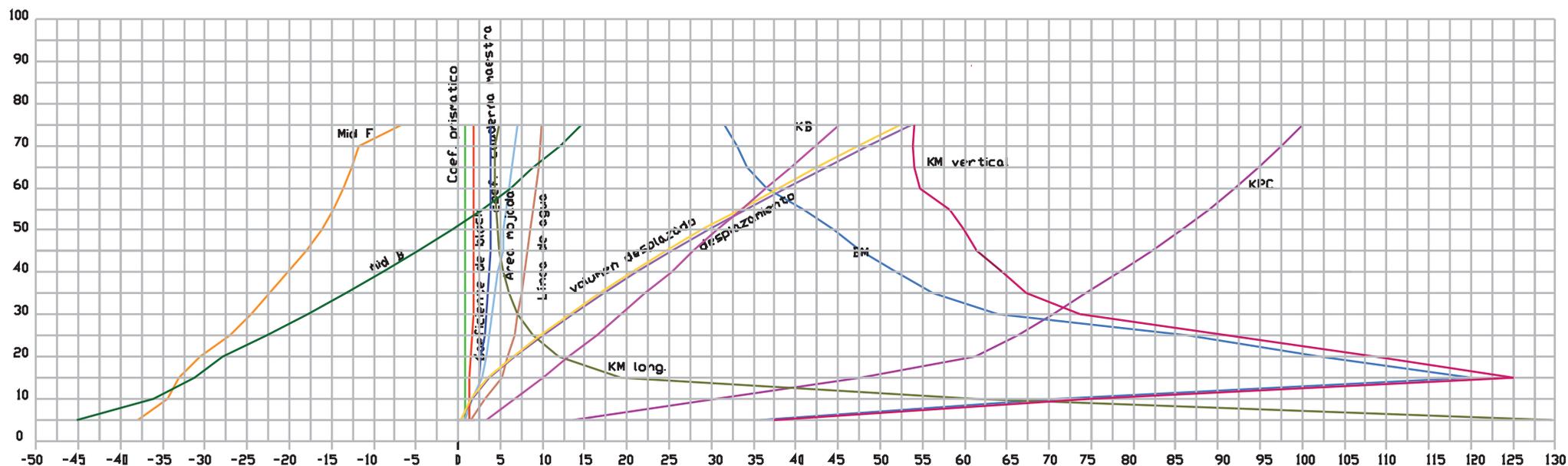


vista frontal



2.b. Curvas Hidrostáticas

Calados en cms.



- | | | | | |
|--|--|---|--|--|
| Volumen desplazado, una unidad es igual a 10 dm ³ . | Mid B, una unidad es igual a 1 cm. | Área mojada, una unidad es igual a 1 m ² . | Coeficiente prismático. | KM, una unidad es igual a 2 cms. |
| Desplazamiento, una unidad es igual a 10 dm ³ . | Mid F, una unidad es igual a 3 cm. | KB, una unidad es igual a 1 cm. | Coeficiente de block. | KM, una unidad es igual a 20 cms. |
| Coeficiente de cuaderna maestra. | KPC, una unidad es igual a 1 kg. | BM, una unidad es igual a 2 cms. | Línea de agua, una unidad es igual a 1 m ² . | |

2.c .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.

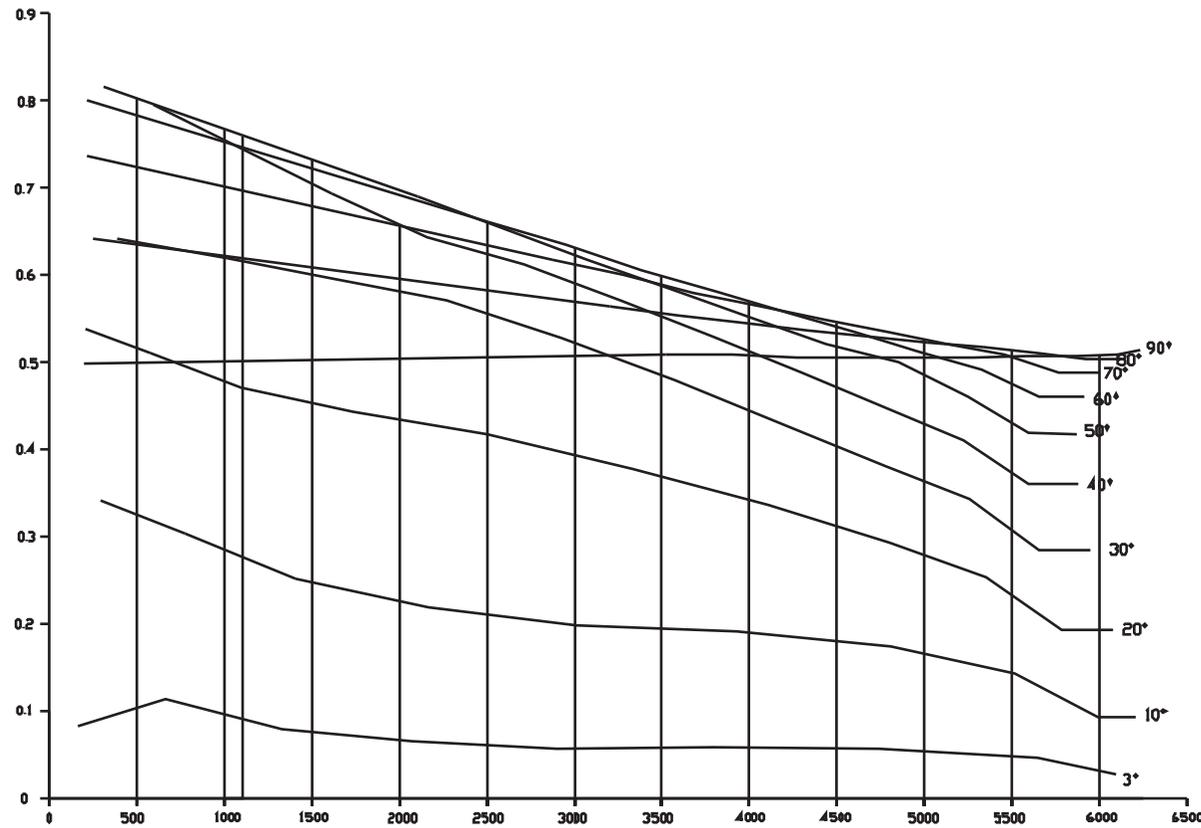


Gráfico de curvas cruzadas del casco del modelo.

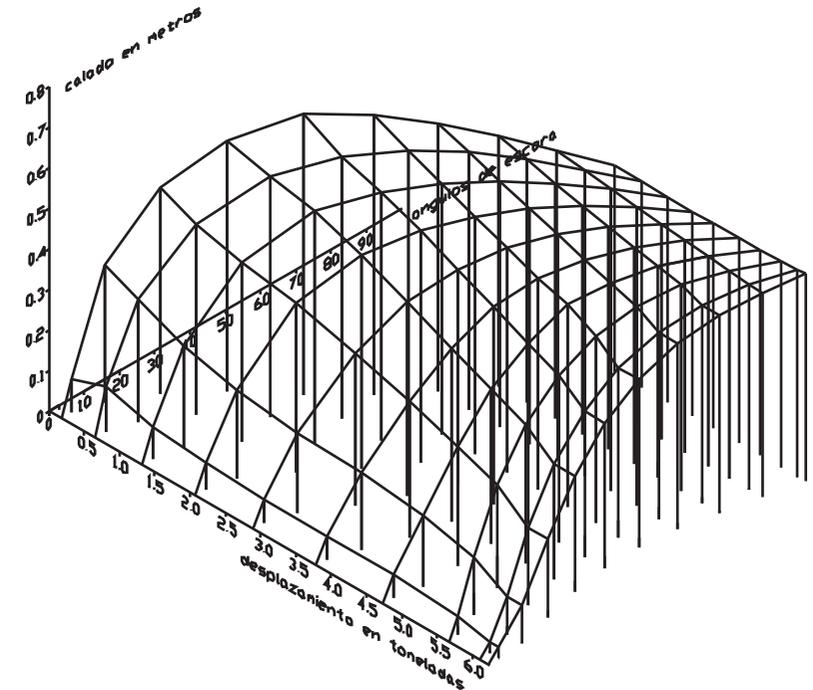


Gráfico tridimensional

2.c. Curva de estabilidad estática inicial

Las curvas de estabilidad estática se obtienen a partir de las curvas cruzadas, indica el brazo de adrizamiento en función a los distintos ángulo de escora para un mismo desplazamiento. De estas curvas se pueden obtener los siguientes datos:

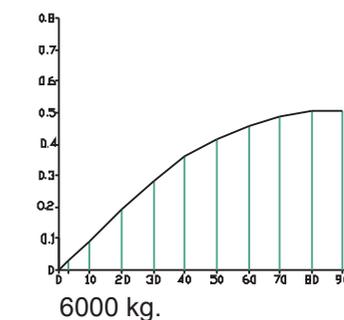
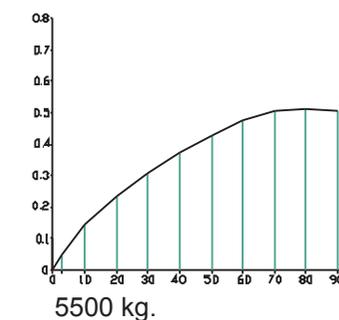
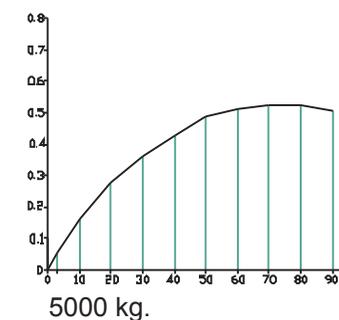
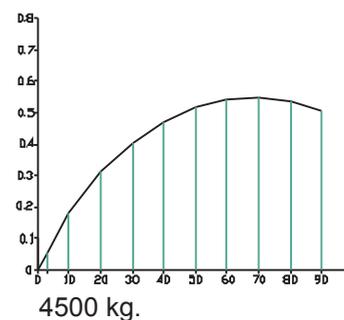
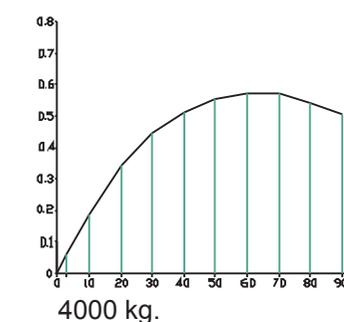
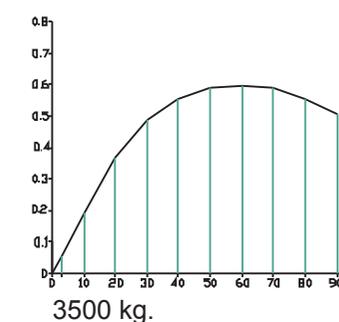
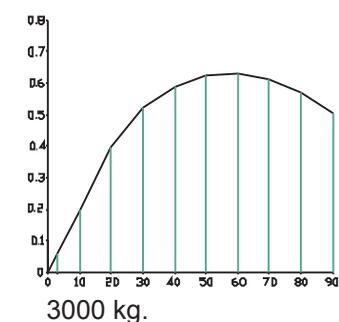
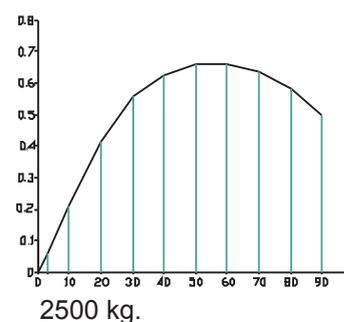
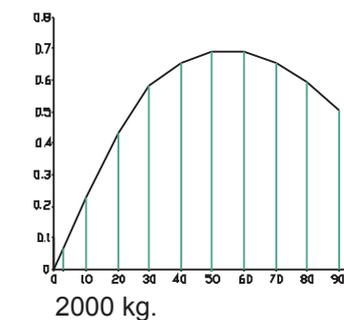
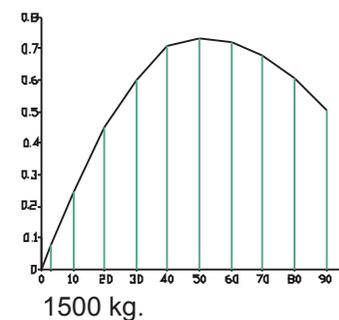
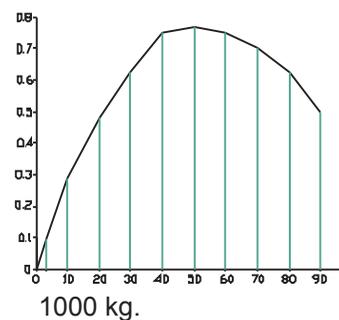
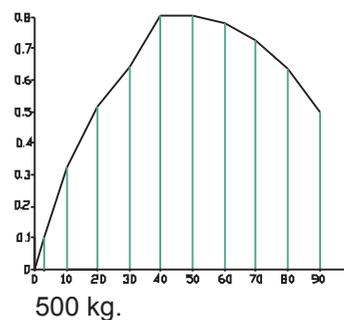
El brazo de adrizamiento para cualquier ángulo de escora.

El brazo máximo de adrizamiento.

El límite de estabilidad.

El GM gráfico.

A partir del área bajo la curva se puede calcular la estabilidad dinámica de la embarcación.



3. Estabilidad

3.a. Ubicación de los pesos

El centro de gravedad del casco se va a desplazar según la distribución de pesos, para saber su ubicación se consideran solo los pesos fijos, en este caso, panel de control, cabina, carga, combustible y motor.

Para el cálculo debemos determinar su ubicación y magnitud:

Casco de 500 kilos, su ubicación se obtiene de las curvas de estabilidad estática final.

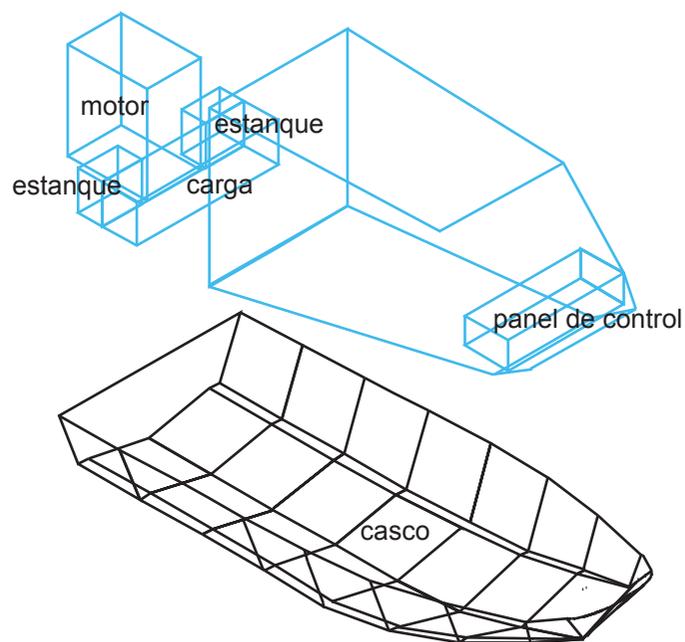
Motor fuera de borda de 230 kilos, ubicado a 16 centímetros después de popa, 75 sobre la quilla y en la línea de crujía.

Dos estanques de 50 kilos cada uno, a 15 centímetros de popa y 40 de la quilla, uno a estribor y otra a babor.

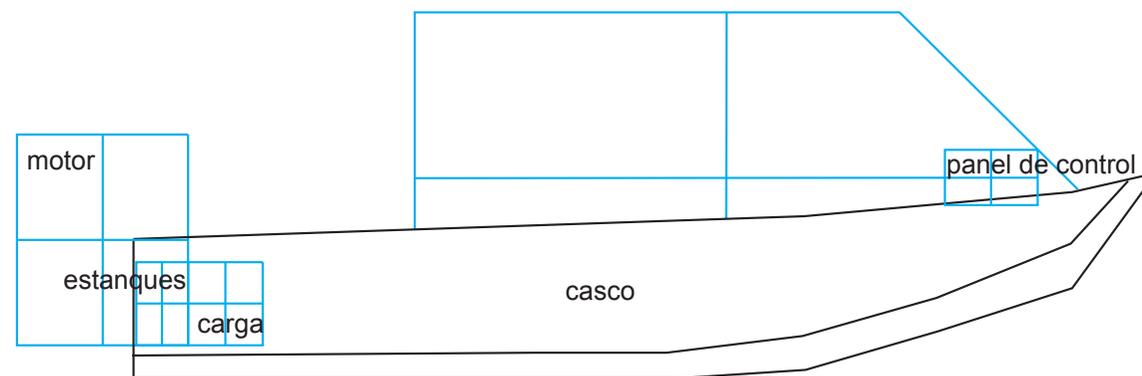
Panel de control, 70 kilos, a 462 centímetros de popa, 108 de la quilla y en la línea de crujía. Contenedor de carga, 200 kilos, a 50 centímetros

de popa, 40 de la quilla y en la línea de crujía.

Se tiene 1100 kilos en total, mas pesos móviles que no son considerados en los cálculos de estabilidad realizados en las tablas, ya que varían para cada condición y uso de la embarcación. Pero como margen de seguridad consideramos un



Ubicación tridimensional de pesos.



Distribución lateral de las cargas del casco.

3.a. Experimento de inclinación

Para saber el calado de la embarcación se hace una prueba con el modelo, distribuyendo las componentes fijas de acuerdo a su ubicación, con los pesos en proporción a su tamaño, para esto se utiliza el factor de escala.

$$\lambda = \text{largo prototipo} / \text{largo modelo} = 550\text{cms} / 80\text{ cms} = 6.875$$

$$\lambda^3 = \text{peso prototipo} / \text{peso modelo}$$

Entonces, si el casco pesa 500kg. el modelo debe pesar 1538 gr. el casco de fibra pesa 470 gr entonces se debe aumentar su peso en 1069 grs, el motor de 230kg debe pesar 700gr, cada estanque de 50kg corresponden a 150 grs, la carga de 200kg, ubicada junto con los estanques y el motor en popa debe ser de 610 grs y el panel de control de 70 kg en proa es de 215 grs. Correspondiente a un total de 3363 grs.

Para determinar la posición transversal del centro de gravedad se realiza el experimento de inclinación con el modelo, escala 6.875, de 830 gr. Para el experimento se pone un péndulo de 24.3 cm. y dos peso móviles de 54 gr. cada uno, los cuales se desplazarán 28 cm. a babor y a estribor. Primero se ponen los pesos móviles en el casco, hacia popa para no tener asiento y cuidando que la embarcación no presente escora, Posteriormente se corre el peso de estribor a babor, la reglilla marca 1.8 cm de variación con el cambio. Luego el peso se traslada al lugar inicial y el péndulo vuelve a marcar 0, se traslada el otro peso a estribor y marca nuevamente 1.8 cm.

$$\begin{aligned} W &= 0.83 \text{ kg.} \\ w &= 0.054 \text{ kg.} \\ gg1 &= 28 \text{ cm.} \\ s &= 1.8 \text{ cm.} \\ l &= 24.3 \text{ cm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W \times GG1 &= w \times gg1 \\ GG1 &= w \times gg1 / W \end{aligned}$$

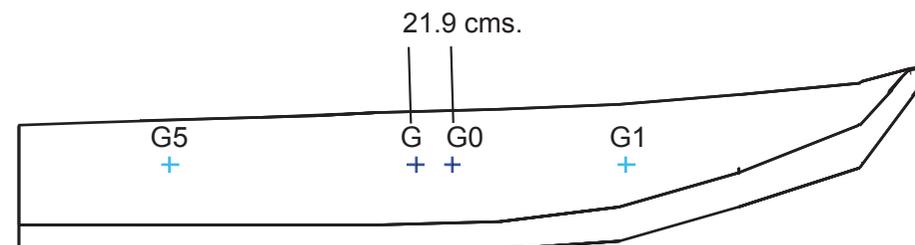
$$GG1 = GM \times \text{tg } \theta$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \text{largo prototipo} / \text{largo modelo} = 550 / 80 = 6.875 \\ \lambda &= GM \text{ prototipo} / GM \text{ modelo} \\ GM \text{ prototipo} &= 6.875 \times 24.59 = 169 \text{ cm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Para el desplazamiento GM es } 210 \text{ cm.} \\ KM - GM &= GK \\ GK &= 210 - 169 = 48 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Si bien el peso del modelo no esta a escala se considera el mismo KG para el desplazamiento real de la lancha, ya que los pesos se deberían repartir en forma homogénea.

$$\begin{array}{ccc} G2 & G3 & G4 \\ + & + & + \end{array}$$



Desplazamiento longitudinal del centro de gravedad inicial G0 y final G.

3.a. Ubicación horizontal del centro de gravedad

El centro de gravedad del casco se va a desplazar según la distribución de pesos, para saber su ubicación se consideran los pesos fijo, panel de control, cabina, carga, dos estanques de combustible y el motor.

G es el centro de gravedad del casco, el que corresponde al centro geométrico del volumen de este, 152.5 kilos aproximadamente.

G1 es el desplazamiento horizontal de G por la cabina de 347.5 kg, y su centro geométrico esta ubicado a 55.65 cms hacia proa de G.
 $W \times GG1 = w \times gg1$
 $GG1 = 3470.5\text{kg} \times 55.65\text{cms} / 152.5 \text{ kg}$
 $GG1 = 126.809 \text{ cms}$

G2 es el desplazamiento horizontal de G1 debido a motor de 230kg, el centro geométrico esta a 382.989 cms a popa de G1
 $W \times G1G2 = w \times g1g2$
 $G1G2 = 230\text{kg} \times 382.989\text{cms} / 152.5 \text{ kg}$
 $G1G2 = 577.62 \text{ cms}$

3.a. Ubicación vertical del centro de gravedad

G3 es el desplazamiento horizontal de G2 por el estanque de 50kg, el centro geométrico está a 226.63cms a proa de G2

$$G2G3 = 50\text{kg} \times 226.63\text{cms} / 152.5 \text{ kg}$$

$$G2G3 = 577.62 \text{ cms}$$

G4 es el desplazamiento horizontal de G3 por el estanque de 50kg, el centro geométrico está a 152.32cms a proa de G3

$$G3G4 = 50\text{kg} \times 152.32\text{cms} / 152.5 \text{ kg}$$

$$G3G4 = 49.94 \text{ cms}$$

G5 es el desplazamiento horizontal de G4 por la carga de 200kg, el centro geométrico está a 136.38cms a proa de G4

$$G4G5 = 200\text{kg} \times 136.39\text{cms} / 152.5 \text{ kg}$$

$$G4G5 = 178.859\text{cms}$$

G0 es el desplazamiento horizontal de G4 por el panel de control de 70kg, el centro geométrico está a 369.54cms a proa de G5

$$G4G5 = 70\text{kg} \times 369.54\text{cms} / 152.5 \text{ kg}$$

$$G4G5 = 169.62\text{cms}$$

G0 es la ubicación horizontal del centro de gravedad con todos los pesos fijos, el que se encuentra a 21.9 cms del centro geométrico inicial.

Los cálculos se hacen de igual modo que los anteriores, pero con las coordenadas verticales.

G es el centro de gravedad inicial

G1 es el desplazamiento de G por la cabina, con su centro de gravedad a 66.36 cms sobre G, moviéndolo 151.21 sobre él.

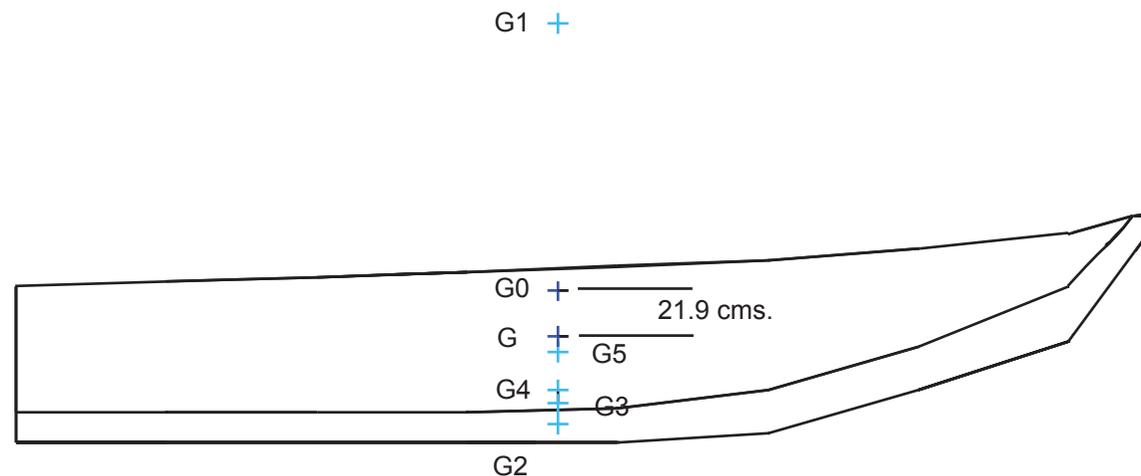
G2 es el desplazamiento de G1 por el motor, con su centro de gravedad a 128.43 cms bajo G1, desplazándolo 193.69cms bajo él.

G3 es el desplazamiento de G2 por un estanque, con su centro de gravedad a 30.76 cms sobre G2, desplazándolo 10.08cms sobre él.

G4 es el desplazamiento de G3 por un estanque, con su centro de gravedad a 20.68 cms sobre G3, desplazándolo 6.78cms sobre el.

G5 es el desplazamiento de G4 por la carga, con su centro de gravedad a 13.9 cms sobre G4, desplazándolo 18.22cms sobre el.

G0 es el desplazamiento de G5 por el panel de control, con su centro de gravedad a 63.85 cms sobre G5, desplazándolo 29.308cms sobre el. G0 es el desplazamiento final de todos los pesos haciendo que G suba 21.9 cms

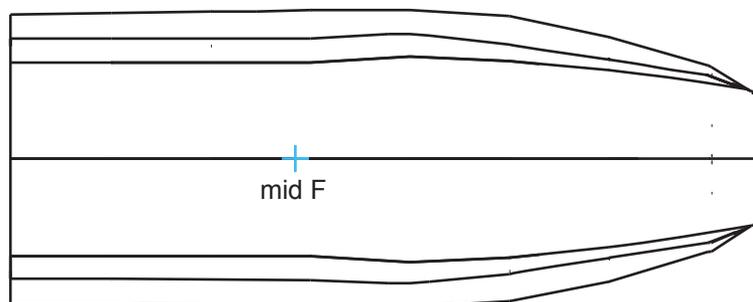


Desplazamiento vertical del centro de gravedad inicial G0 y final G.

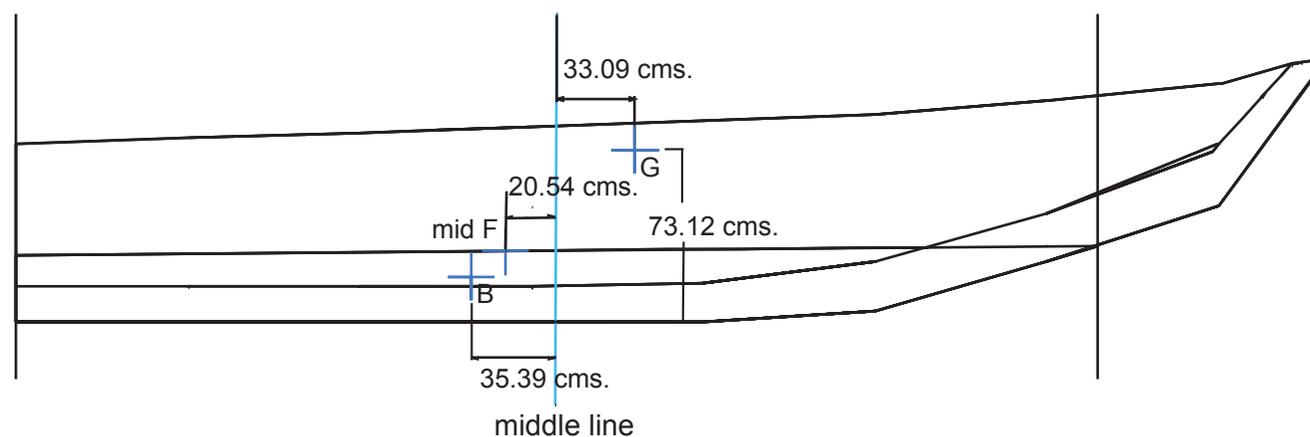
3.a. Centro de gravedad, de boyantez y mid F

El punto "G" es el centro de gravedad de la embarcación liviana, los pasajeros no se consideran, por ser pesos móviles, con este dato se puede saber la estabilidad de la embarcación. B es el centro de boyantez, se encuentra en el centro geométrico del volumen sumergido, en este caso el volumen es de 1339 dm³.

Para determinar el volumen sumergido se usa el modelo cargado con los pesos correspondientes. Mid F es el centro del área del casco en que se encuentra la línea de flotación, Este es el punto de giro de la embarcación el cual se utiliza para saber donde ubicar los perfiles.



Ubicación del centro del area de flotación.

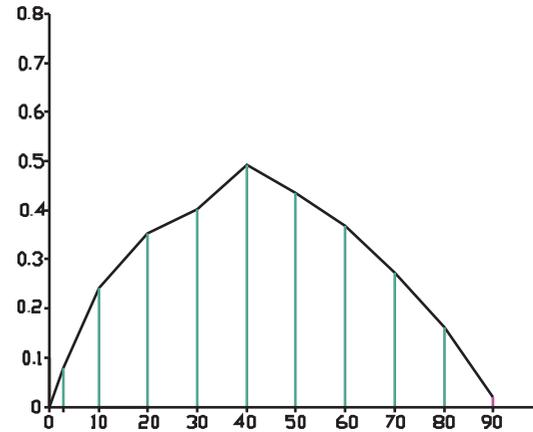


Ubicación lateral de mid F, B y G en relación a la quilla y middle line.

3.b. Corrección de curvas estabilidad

Las curvas de estabilidad estática inicial deben ser corregidas a partir de la posición real de G para poder obtener la curva de estabilidad final.

Casco



W

Ang Escora	KN	KGo	sen Ang Esc	ag x sen A	GoZ
3	0,104	0,480	0,052	0,025	0,079
10	0,325	0,480	0,174	0,083	0,241
15	0,518	0,480	0,259	0,124	0,394
20	0,641	0,480	0,342	0,164	0,477
30	0,802	0,480	0,500	0,240	0,562
40	0,802	0,480	0,643	0,309	0,494
45	0,783	0,480	0,707	0,339	0,443
60	0,724	0,480	0,866	0,416	0,308
75	0,635	0,480	0,966	0,464	0,171
90	0,499	0,480	1,000	0,480	0,019

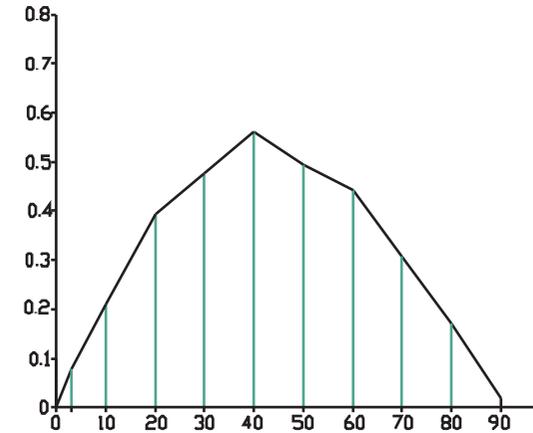
De Gráfico

GoM m

Calculo de Areas

OMI			
0-40	0,090	m rad	<input type="text" value="0,276"/> m rad
0-30	0,055	m rad	<input type="text" value="0,181"/> m rad
30-40	0,030	m rad	<input type="text" value="0,095"/> m rad

Light ship



W

Ang Escora	KN	KGo	sen Ang Esc	ag x sen A	GoZ
3	0,091	0,520	0,052	0,027	0,063
10	0,277	0,520	0,174	0,090	0,187
15	0,470	0,520	0,259	0,135	0,336
20	0,616	0,520	0,342	0,178	0,439
30	0,744	0,520	0,500	0,260	0,484
40	0,760	0,520	0,643	0,334	0,426
45	74,620	0,520	0,707	0,368	74,252
60	0,696	0,520	0,866	0,450	0,246
75	0,619	0,520	0,966	0,502	0,117
90	0,501	0,520	1,000	0,520	-0,019

De Gráfico

GoM m

Calculo de Areas

OMI			
0-40	0,090	m rad	<input type="text" value="0,236"/> m rad
0-30	0,055	m rad	<input type="text" value="0,157"/> m rad
30-40	0,030	m rad	<input type="text" value="0,079"/> m rad

3.b. Cuadro de cargas

Para facilitar la ubicación del centro de gravedad de la embaecación, y contar con un registro detallado de los pesos a bordo, se construye un cuadro de cargas en planilla excel. Es importante para la estabilidad saber con exactitud la variación que sufre el centro de gravedad cada vez que es cargada la embarcación,

El cuadro de carga tiene pesos constantes con un centro de gravedad inamovible, que al sumar las cargas variables con sus respectivos pesos y coordenadas en la planilla, indica si cumple con los valores establecidos por las normas OMI.

	Weight	Mid G	Mto Longit	KG	Mto Vertic	Lat G	Mto Lat	I	I x gama
	MT	m	MT m	m	MT m	m	MT m	m4	TM m
Light Weight	0,50	-0,33	0	0,48	0	0,000	0		
constantes									
motor	0,23	-2,93	-1	0,73	0	0,00	0		
carga	0,20	-227,00	-45	0,38	0	0,00	0		
panel de control	0,07	185,00	13	0,71	0	0,00	0		
est. Combustible(B)	0,05	-261,00	-13	0,38	0	59,76	3	0,0	0
Est. Combustible(E)	0,05	-261,00	-13	0,38	0	-59,76	-3	0,0	0
Displacement W	1,10	-53,99	-59	0,52	1	0,000	0	0,1	0,1

De Tablas Hidrostáticas

Mid B	-0,208	m	GGo	I x gama / W	0,048	m	Ang Escora	Atan GG1/GoM
Mid F	-0,783	m	KGo	KG + GGo	0,566	m	Ang Escora	0,0 °
T KM	1,682	TM m/cm	GoM	KM - KGo	1,116	m		

4. Primer modelo

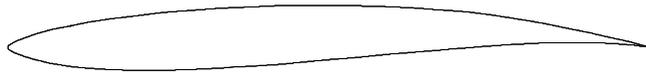
4. a. Perfiles alares

Para elegir el perfil adecuado se toman dos criterios, estabilidad y el coeficiente de roce en relación al de sustentación e incremento del ángulo de ataque.

Se buscan perfiles alares que hayan sido diseñados específicamente para ser utilizados en embarcaciones con hidroalas. Entre este tipo de perfiles se encuentran los Eppler.

Después de estudiar este tipo de perfiles se decide utilizar el perfil Eppler 818, por su elevado coeficiente de sustentación y poco roce, para ángulos de ataque elevados, que permite mayor sustentación a una determinada velocidad.

Además su forma al ser un poco mas ancha permitirá una mejor construcción.



Eppler 818

El perfil naca munk- 6 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.



Naca munk-6

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.



Naca 0012

4.b. Cálculo de sustentación

La sustentación del perfil es proporcional a la densidad del medio, en este caso agua salada, y a la velocidad en se produce el despegue de la embarcación. El coeficiente de sustentación del ala, es indicado en el gráfico en relación al ángulo de ataque del ala. La superficie del ala, se da por el largo y la cuerda.

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.

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. Respecto a los pesos móviles, dependiendo la cantidad de pasajeros, la velocidad en que despega el casco del agua aumenta 1 ó 2 nudos.

Eppler 818

Considerando el bajo coeficiente de arrastre de perfil eppler 818 en relación al coeficiente de sustentación se considera mas conveniente utiliza un ángulo de ataque elevado, 8°, que corresponde a un coeficiente de sustentación de 1.4. La velocidad de despegue es a los 6 nudos. A partir de estos parámetros sabremos el área de la superpie del ala.

CI = 1.4
 Velocidad = 6 nudos = 3,086 m/s
 Densidad agua salada = 1025 kg/m³

$$L = 1/2 \times d \times V^2 \times CI \times A$$

Sustentación de popa

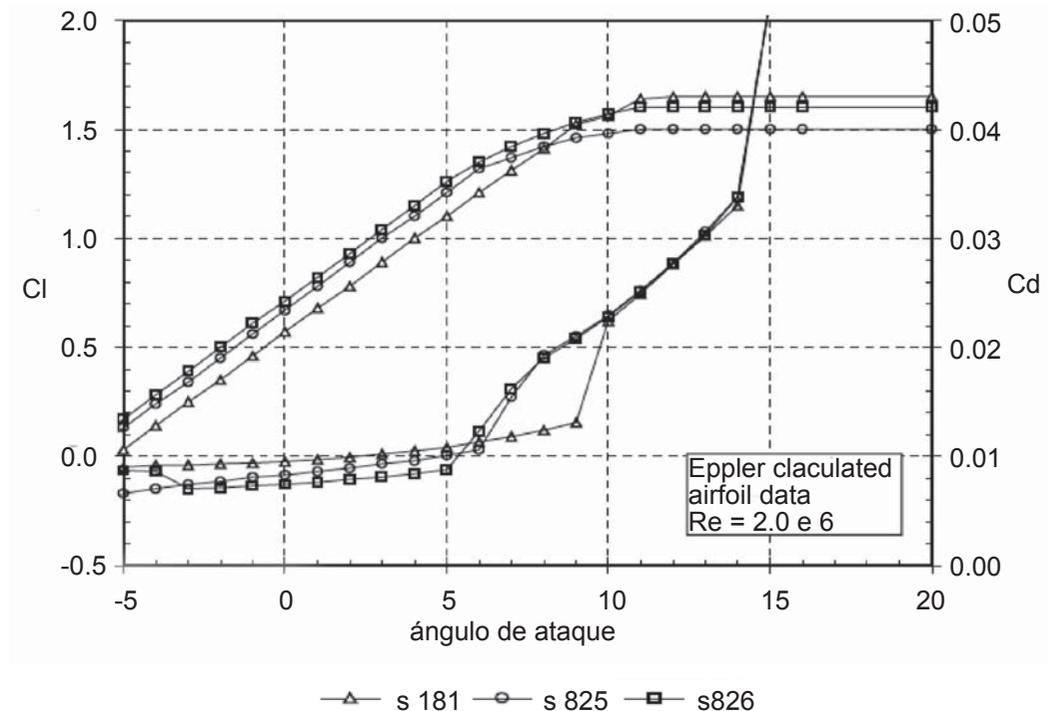
$$730\text{kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 1/2 \times 1025\text{kg/m}^3 \times (3,086\text{m/s})^2 \times 1.4 \times A$$

$$A = 1,04\text{m}^2$$

Sustentación proa

$$370\text{kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 1/2 \times 1025\text{kg/m}^3 \times (3,086\text{m/s})^2 \times 1.4 \times A$$

$$A = 0,53\text{m}^2$$



NACA Munk-6

Estas alas no tienen coeficiente de sustentación considerablemente más bajo, pero sí un coeficiente de roce mayor, para este perfil se usa un ángulo de ataque de 8° . Como se obtiene un coeficiente de sustentación menor la velocidad de despegue aumentara a 8 nudos para no generar una pérdida considerable por roce.

$$C_l = 0.62$$

$$\text{Velocidad} = 8 \text{ nudos} = 4.115 \text{ m/s}$$

$$\text{Densidad agua salada} = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$L = 1/2 \times d \times V^2 \times C_l \times A$$

Sustentación de popa

$$730 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 1/2 \times 1025 \text{ kg/m}^3 \times (4.115 \text{ m/s})^2 \times 0.62 \times A$$

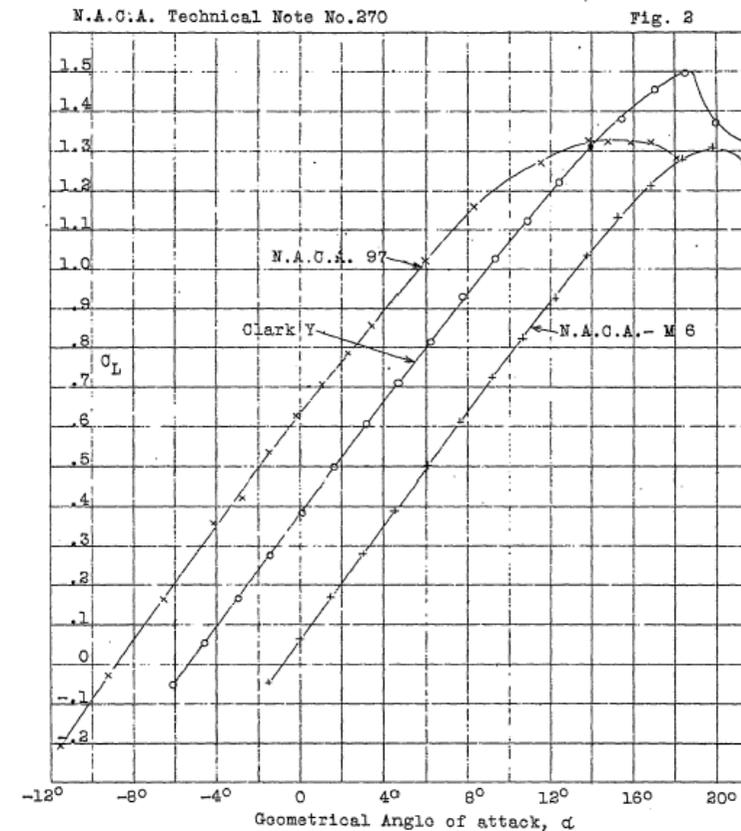
$$A = 1.3296 \text{ m}^2$$

Sustentación proa

En el caso de proa se utiliza un perfil de doble curvatura similar en su forma que en popa, NACA Munk-5, pero de menor espesor, para que la turbulencia que produce sea menor y disminuir la interferencia en las ala de popa, el coeficiente de sustentación de esta ala es de 0.64, el ángulo de ataque se mantiene.

$$370 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 1/2 \times 1025 \text{ kg/m}^3 \times (4.115 \text{ m/s})^2 \times 0.64 \times A$$

$$A = 0.65285 \text{ m}^2$$



4.c. Modelo a escala

Para escalar las dimensiones se utiliza la teoría de modelos con lo que se tiene que determinar el factor de escala, λ . Así sabremos largos, áreas, pesos y velocidades del modelo.

$$\lambda = \text{largo prototipo} / \text{largo modelo}$$

$$\lambda^2 = \text{área prototipo} / \text{área modelo}$$

$$\lambda^3 = \text{volumen prototipo} / \text{volumen modelo}$$

$$\text{velocidad modelo} = \text{velocidad prototipo} \times \left(\text{largo modelo} / \text{largo prototipo} \right)$$

Con estas relaciones podemos escalar las dimensiones del modelo con respecto al prototipo.

Dimensiones prototipo

Eslora: 5.50 m.

Manga: 2.10 m.

Puntal: 1.10 m.

Peso Light Ship: 1 ton.

Capacidad: 5 personas.

Velocidad promedio de despegue: 8 nudos.

Puntal con Hidroala: 1.60 m.

Peso con Personas: 1.5 ton.

Dimensiones modelo

Eslora: 80 cm..

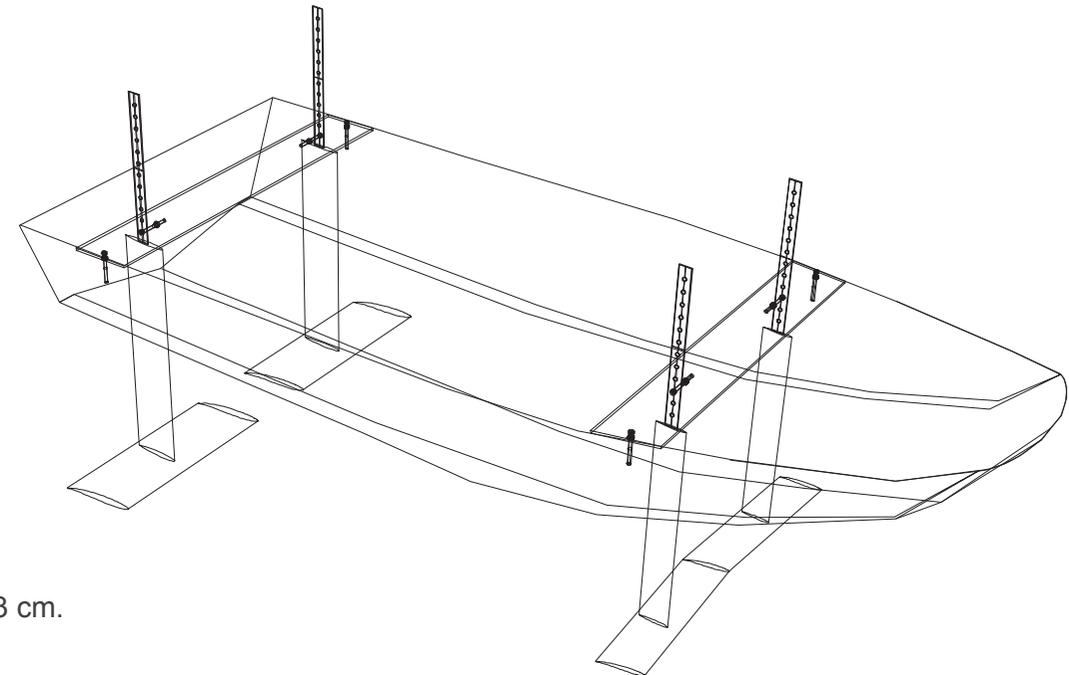
Manga: 30.5 cm.

Puntal: 16 cm.

Peso Total Modelo: 1.3 Kg.

Velocidad promedio de despegue: 3.6 nudos.

Puntal con Hidroala: 23.3 cm.



4.c. Planos del modelo

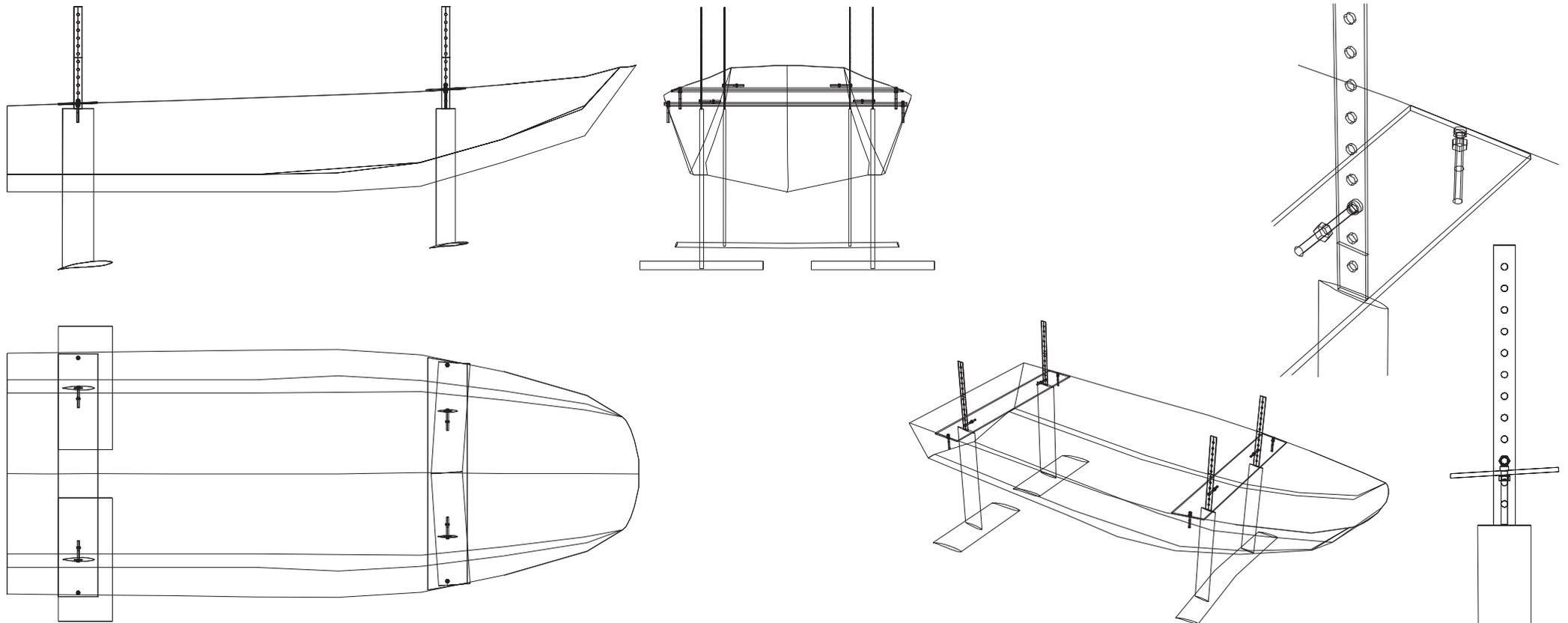
El modelo de la lancha se realiza a escala 1: 6.875, esto porque se desea que el casco del modelo mida 80 cm. de eslora.

El fin de construir un modelo es poder realizar pruebas para determinar cual es la configuración

más eficiente y estable de los perfiles alares. Se necesita probar la distancia más conveniente a utilizar entre los perfiles y la quilla, teniendo siempre como limite el largo de la pata del motor de fuera de borda.

El modo que se emplea para regular la altura de los perfiles es una barra de aluminio perforada cada un centímetro, la cual se inserta dentro del perfil vertical.

Esta barra es atravesada posteriormente con un perno, que asegura el perfil vertical con el travesaño que cruza el casco.



4.c. Superficie alar del modelo

Se decide que la configuración de los perfiles en proa es con flecha negativa, basándose en la estabilidad y recuperación de los planeadores, para que la entrada a pérdida sea más suave y progresiva.

Los perfiles en popa son dos en forma de T, para mayor estabilidad, ya que cada uno tendrá mayor superficie, pudiendo salir del casco de la embarcación.

El perfil escogido para los verticales es el NACA 0012, el cual debe medir 1/2 de la cuerda del perfil sustentador al que esta unido, debido a la escala a la en que se esta construyendo el modelo. A partir del área de la superficie alar del prototipo podemos obtener las dimensiones de los perfiles en proa y popa.

Eppler 818

Dimensiones alas de popa

$$A_{\text{prototipo}} = 1,04\text{m}^2$$

$$\lambda^2 = A_{\text{prototipo}} / A_{\text{modelo}}$$

$$A_{\text{modelo}} = 1.04\text{m}^2 / 6.875 = 0.022 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{modelo}} = \text{cuerda modelo} \times \text{largo perfil modelo}$$

Para una cuerda de 7 cms.

$$\text{Largo perfil modelo} = 0.022\text{m}^2 / 0.07\text{m} = 0.32\text{m}$$

Como en proa se tienen dos perfiles cada uno debe medir 16 cms y 7 cms. de cuerda.

Dimensiones alas de proa

$$A_{\text{prototipo}} = 0.53\text{m}^2$$

$$\lambda^2 = A_{\text{prototipo}} / A_{\text{modelo}}$$

$$A_{\text{modelo}} = 0.53\text{m}^2 / 6.875 = 0.011 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{modelo}} = \text{cuerda modelo} \times \text{largo perfil modelo}$$

Para una cuerda de 4 cms

$$\text{Largo perfil modelo} = 0.011\text{m}^2 / 0.04\text{m} = 0.28\text{m}$$

Por lo cual se tendrá un perfil con flecha negativa de 4 cms de cuerda y 28 de largo.

Doble curvatura

Naca Munk – 6 en popa

$$A_{\text{prototipo}} = 1.3296\text{m}^2$$

$$\lambda^2 = A_{\text{prototipo}} / A_{\text{modelo}}$$

$$A_{\text{modelo}} = 1.3296\text{m}^2 / 6.875 = 0.0281\text{m}^2$$

$$A_{\text{modelo}} = \text{cuerda modelo} \times \text{largo perfil modelo}$$

Para una cuerda de 8cms

$$\text{Largo perfil modelo} = 0.0281\text{m}^2 / 0.08\text{m} = 0.35\text{m}$$

Como en proa se tienen dos perfiles 17,5 cms. de largo cada uno y 8 cms. de cuerda.

Naca Munk – 5 en proa

$$A_{\text{prototipo}} = 0.65285\text{m}^2$$

$$\lambda^2 = A_{\text{prototipo}} / A_{\text{modelo}}$$

$$A_{\text{modelo}} = 0.65285\text{m}^2 / 6.875 = 0.013 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{modelo}} = \text{cuerda modelo} \times \text{largo perfil modelo}$$

Para una cuerda de 4.5 cms

$$\text{Largo perfil modelo} = 0.013\text{m}^2 / 0.045\text{m} = 0.305\text{m}$$

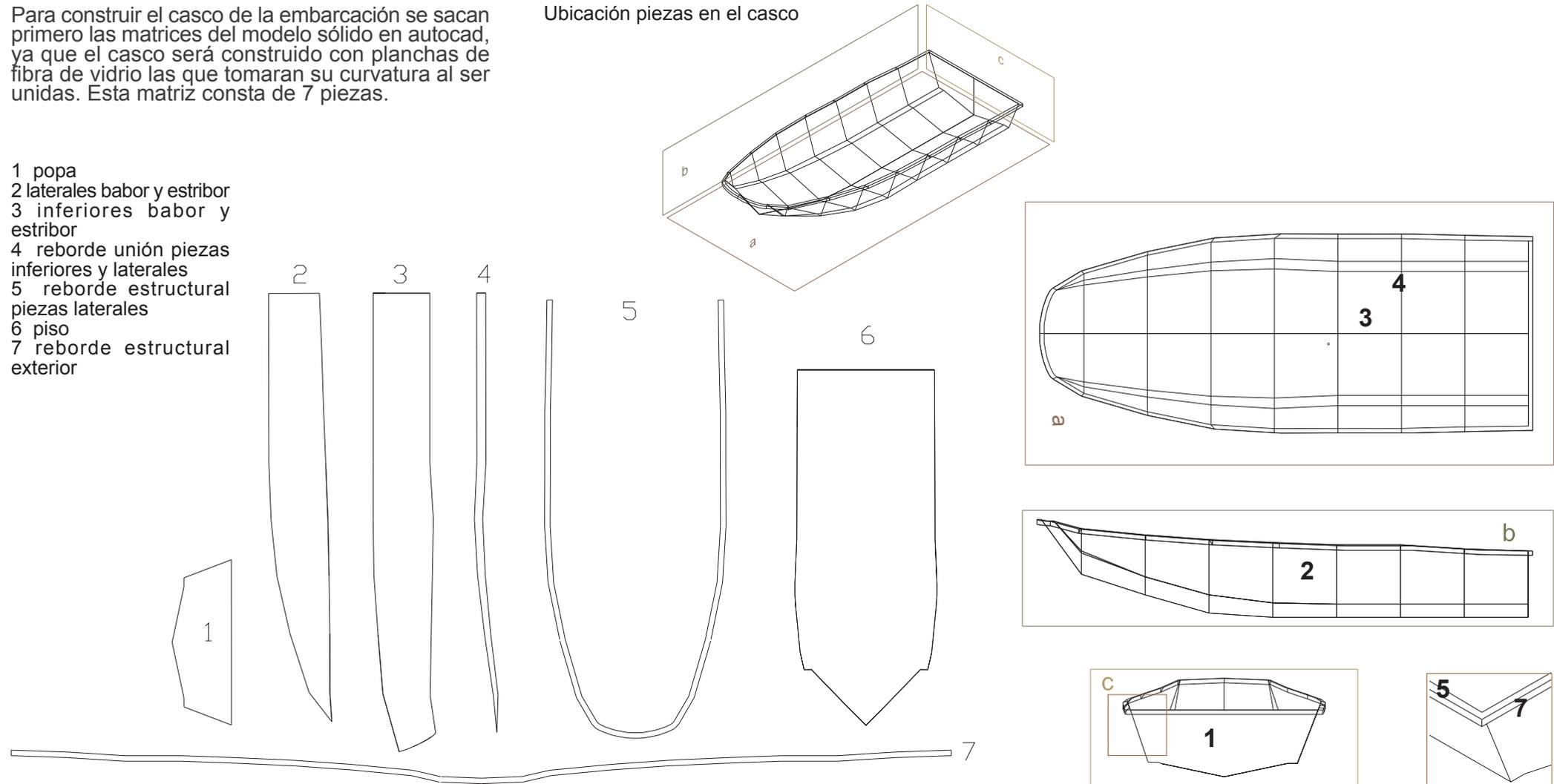
Se tiene un perfil con flecha negativa de 4.5 cms de cuerda y 30.5 de largo.

4.d. Matriceria

Para construir el casco de la embarcación se sacan primero las matrices del modelo sólido en autocad, ya que el casco será construido con planchas de fibra de vidrio las que tomaran su curvatura al ser unidas. Esta matriz consta de 7 piezas.

Ubicación piezas en el casco

- 1 popa
- 2 laterales babor y estribor
- 3 inferiores babor y estribor
- 4 reborde unión piezas inferiores y laterales
- 5 reborde estructural piezas laterales
- 6 piso
- 7 reborde estructural exterior



4.d. Construcción

El sistema de construcción utilizado para el casco del modelo es por medio de planchas, similar al utilizado para armar los cascos de las embarcaciones de aluminio; pues se debe pensar que la lancha finalmente tendrá un casco de aluminio, por lo tanto, los procesos tiene que ser proyectados para la construcción de un prototipo.

El casco se construye con planchas de fibra de vidrio en las que se traspasa el trazado, para ser cortada, y forman el casco al ser pegadas.

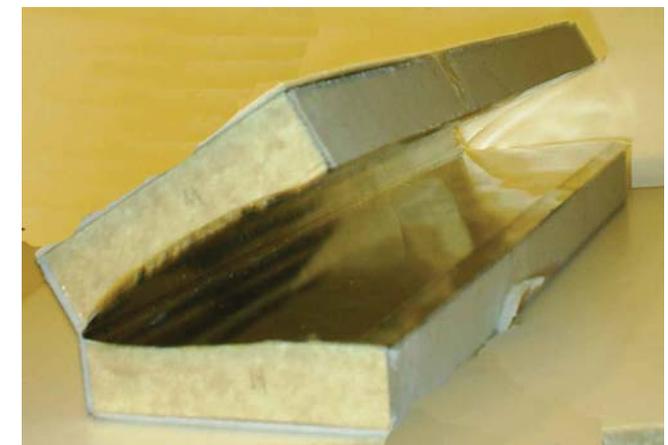


Las piezas se unen con cinta adhesiva, hasta armar el casco completo. Una vez que el casco esta armado se le agrega la resina de poliéster para unir las piezas. Cuando la resina ha secado el casco se estructura sin necesidad de realizar ningún otro tipo de proceso.



Los perfiles hidrodinámicos de la lancha serán construidos con fibra de vidrio y resina para esto es necesario desarrollar un sistema constructivo. El primer paso es la fabricación de matrices para cada uno de los perfiles. Se utilizaran en total tres perfiles sustentadores de cada tipo, NACA M-6 y Eppler 818, y 8 perfiles verticales, NACA 001234. Las matrices están constituidas por una seriedecuadernas con un sacado de la forma del perfil hidrodinámico, estas cuadernas están divididas en sentido longitudinal y pegadas dentro de contenedores, para mantener la forma. Sobre estas cuadernas se adhiere una lámina delgada

Las matrices son reutilizables y cada cierto número de aplicaciones se hace necesario cambiar la lámina de aluminio para evitar cualquier tipo de imperfección que haya producido en la lámina al momento de desmoldar.



A la matriz del perfil se le agrega una capa de resina de poliéster y a continuación una capa de fibra de vidrio, la cual es empapada con resina. Cuando la fibra está lo suficientemente impregnada se coloca una nueva capa de fibra para dar mayor resistencia al perfil, se repite el proceso con la resina.



Luego se sella la matriz y se deja secar por aproximadamente 24 horas. En los perfiles verticales, se agrega una lámina de aluminio de un milímetro de espesor, debido al reducido tamaño de los perfiles, para que soporte mejor las torsiones y pueda conectarse con el perfil sustentador de modo más segura.

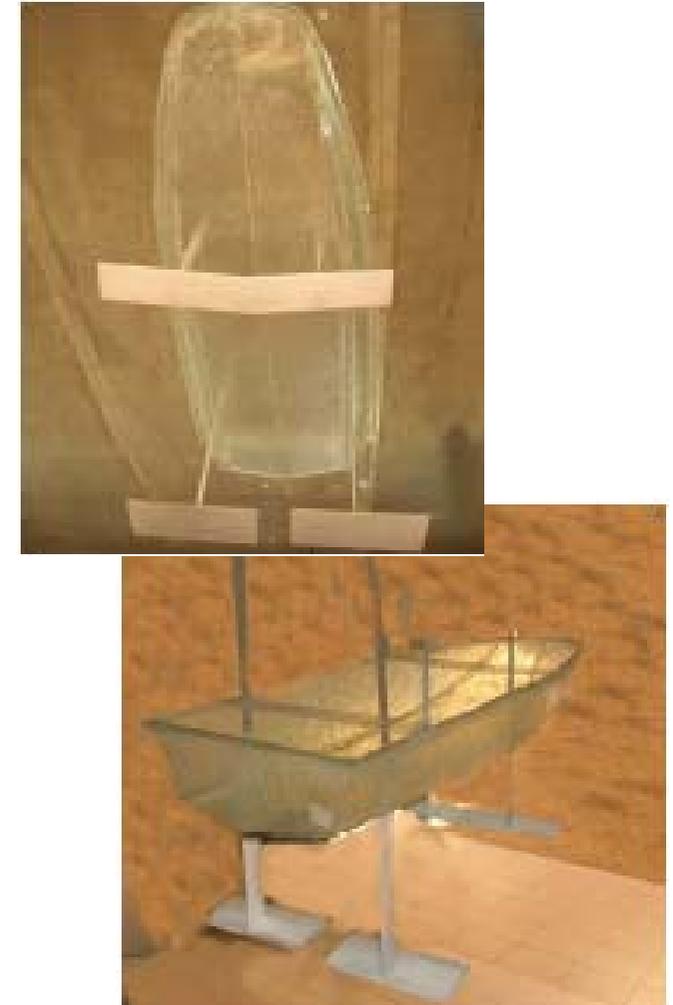


Cuando el perfil está completamente seco se desmolda de la matriz y los excesos de fibra son cortados. Para reparar las imperfecciones que puedan quedar se utiliza masilla mágica, luego es lijado y pulido. Se pinta para evitar cualquier tipo de filtraciones y comprobar que la superficie del perfil esté completamente lisa.



Después de tener listas las superficies sustentadoras se perforan los perfiles verticales, para poder variar las alturas teniendo parámetros que faciliten el registro. Posteriormente se perfora el casco para traspasar los perfiles y se adhiere una barra de aluminio al casco, con la cual se ajustan las alturas.

Modelo terminado



5. Pruebas del modelo

5.a. Pruebas realizadas en piscina.

Pruebas perfil Naca Munk-6

Se realizan pruebas al modelo para ver si los cálculos de sustentación de los perfiles alares son correctos. Durante las pruebas se observa que la lancha no tiene problemas para despegar del agua, es más, lo hace con muy poca velocidad, saliendo casi por completo de ella.

También se aprecia la efectividad de los perfiles de doble curvatura, pues la lancha se mantiene deslizándose sobre el agua aunque tenga la mayor parte de los perfiles fuera de ella, esto gracias al cambio en el centro de gravedad que realizan los mismos perfiles.

Despegue



Al momento del despegue con las alas de doble curvatura se observa que el modelo despegue casi inmediatamente y a poca velocidad, alcanzando inmediatamente su altura límite.

Vuelo



Pruebas perfil Naca Munk-6

Vuelo

Durante el vuelo el modelo se mantiene estable navegando a una velocidad y altura constante por sobre el agua. Los perfiles tienden a salir del agua, pero el modelo recupera rápidamente sustentación, durante el proceso se genera una estela que probablemente ocasionará una pérdida considerable de potencia en la lancha.

Cuando se termina de impulsar el modelo y pierde por completo aceleración este se detiene suavemente sobre el agua. La proa es la primera parte del modelo en tocar la superficie, probablemente debido a que sus perfiles fueron diseñados para tener menor sustentación que los de popa y la distribución aún no se ha incorporado.



Aterrizaje



Pruebas perfil Eppler 818

Al igual que con los perfiles de doble curvatura, el modelo es probado con los perfiles Eppler 818, la rapidez al despegar con estos perfiles es un poco mayor que con los anteriores, el modelo

despega más rápido del agua y lo hace a mayor altura, se vuelve levemente más inestable. Se cree que problemas constructivos, debido a la escala en que fue construido el modelo los perfiles Eppler no funcionan con la eficacia que se esperaba, a pesar de esto logran levantar el modelo del agua.

El despegue del modelo es bastante rápido, su único problema es que al momento en que logra sacar por completo el casco el agua el modelo se vuelve inestable y se escora por ambas bandas, recuperando estabilidad inmediatamente sale de la superficie por completo.

Despegue



Vuelo



Pruebas perfil Eppler 818

En vuelo el modelo se mantiene sin escora a la altura máxima de los perfiles, casi saliendo del agua. Además tiende levemente a escorarse a estribor, lo que aumenta al incrementar la velocidad. Pero definitivamente se desplaza con estabilidad, generan un poco más de olas que el perfil de doble curvatura.

Al reducir la velocidad el modelo inmediatamente pierde sustentación y vuelve a funcionar como embarcación normal. El momento de aterrizaje se produce inclinando la proa hacia delante.

Vuelo



Aterrizaje



Pruebas con pesos

Al probar el modelo con pesos este se vuelve altamente inestable, haciendo que se escora para ambas bandas. La inestabilidad se produce con ambos tipos de perfiles, pero en los Eppler tiene tendencia a ser hacia estribor, probablemente por

una falla constructiva. El problema que se genera con la inestabilidad es que entre agua al interior del casco del modelo, lo que al generar superficies libres hace aún más peligrosa la escora. Aparte de la inestabilidad que presenta, ambos perfiles son capaces de levantar el peso que le corresponde al modelo. El cambio brusco en la velocidad con la que se

remolca el modelo crea un cabeceo inmediato, por la pérdida de sustentación. Mientras más brusco sea el cambio de velocidad más violento será el cabeceo, este se produce en ambos tipos de perfiles y en ocasiones hace que el modelo golpee fuertemente la proa contra el agua. Estos cambios de velocidad también producen escora.



Cabeceo



5.b. Pruebas en estero

Se realizan pruebas en el estero de Ritoque debido a la mayor distancia que puede sortear el modelo en una prueba. Aquí se aprecia claramente la excelente sustentación que tienen los perfiles alares escogidos, pues el modelo se desliza sobre el agua sin mayor dificultad. El problema que presenta el exceso de sustentación es la turbulencia y estela que dejan los perfiles a su paso, pues los perfiles de proa generan un flujo turbulento que interfiere con los perfiles de popa y la estela que se produce aumenta el roce, por lo que se debe emplear mayor potencia.

Después de realizar pruebas con los tipos perfiles se concluye que ambos son capaces de generar sustentación para elevar el modelo fuera del agua sin problemas, pero que no se tiene total certeza de su efectividad hasta que las pruebas no se realicen con los pesos correspondientes, lo que no fue posible por su inestabilidad al aumentar velocidad.

La estabilidad de los perfiles no es la que se esperaba, en el caso de los perfiles Eppler se presentan problemas al momento del despegue, el modelo tiende a escorarse.

En tanto que los perfiles de doble curvatura tienden a escorarse a ambas bandas, a baja velocidad. Estos problemas se deben principalmente a la escala del modelo, por ser muy pequeña, la exactitud de los perfiles alares no se puede garantizar.

Se hace necesario realizar un cambio de escala para logra una construcción en los perfiles alares exacta, asegurando el correcto funcionamiento del modelo.

Pero cabe destacar que en lo que a sustentación se refiere, los perfiles cumplieron con las expectativas, pues lograban despegar al modelo del agua a muy poca velocidad, pero al necesitar mayor sustentación al incluir los pesos las escoras impedían elevarse introduciendo agua en el casco. Además la escora se aumenta por las torciones

producidas en los perfiles verticales, por esto es necesario cambiar los perfiles de popa por un perfil continuo para evitar torsiones innecesarias en los perfiles verticales, generando una estructura continua.

La distancia entre los perfiles y la quilla del casco debe reducirse. Al ser tan grande aumenta la torción y la embarcación se vuelve más inestable. Además se debe tener en cuenta el tamaño del motor fuera de borda que utilizara la embarcación, el que no puede salir del agua.

Secuencia de prueba realizada en el estero.



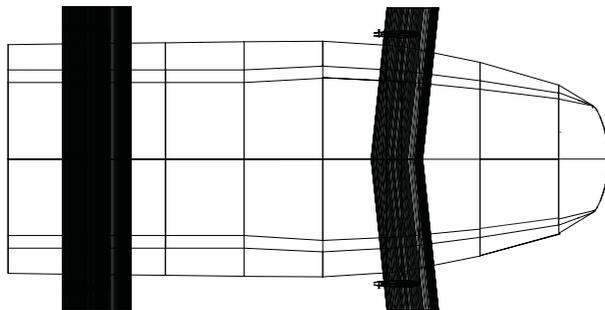
4. Segundo modelo

4.a. Configuración de las alas.

Alas de popa

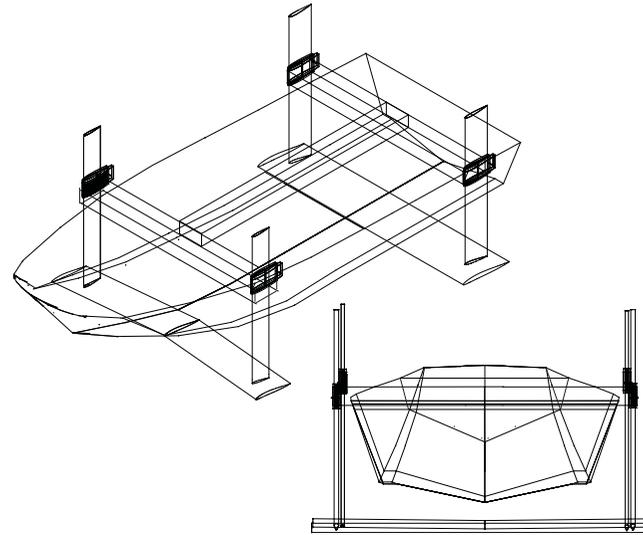
Las alas de popa no varían su forma en planta, solo el tipo de perfil que se usa. consiste en un perfil continuo para tener una estructura continua y sea más resistente, ya que llevará gran parte del peso total sobre esta. El ala debe ser más ancha que el casco para dar estabilidad a la embarcación y su distancia con la quilla se cree que debe ser aproximadamente de 25 cms., con un máximo de 50 cms, al aumentar más esta distancia el motor de popa extralarga saldría del agua.

En las alas de proa, con el fin de evitar el cabeceo, se probarán diferentes formas de plantas de alas, intentando que no pierda estabilidad la nave.



Ala con flecha negativa

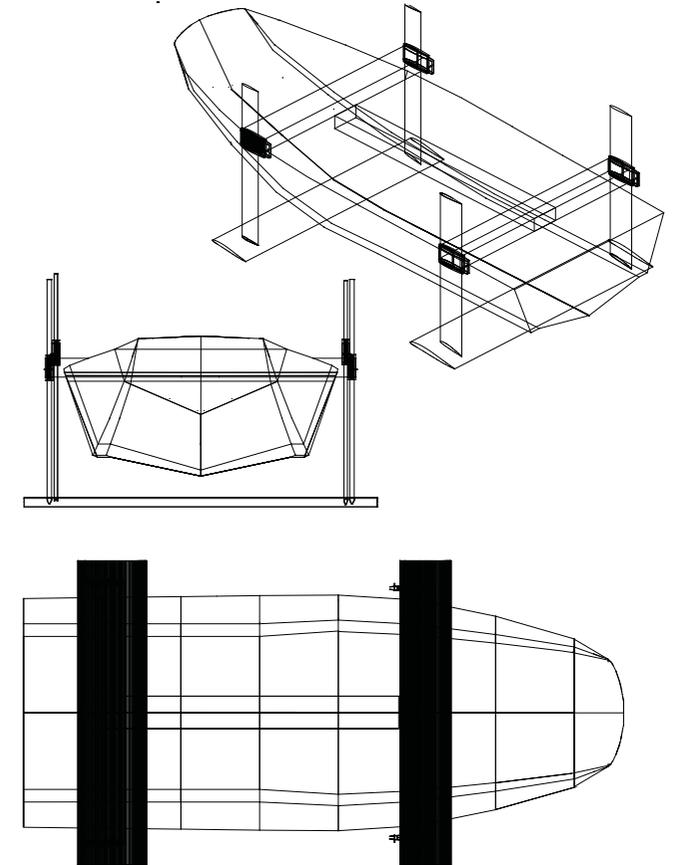
La flecha negativa hace que la entrada a pérdida sea progresiva, en este caso el ángulo de la flecha que se proba es de 12° . La cuerda de esta ala en proa debe ser de $1/2$ de la cuerda de la de popa, y su distancia entre la quilla y el ala es de 25 cms. para no elevar innecesariamente el centro de gravedad, produciendo demasiada inestabilidad.



Perfil recto

Este perfil es liso, solo con la inclinación del ala con respecto a la vertical, entre más ancho más

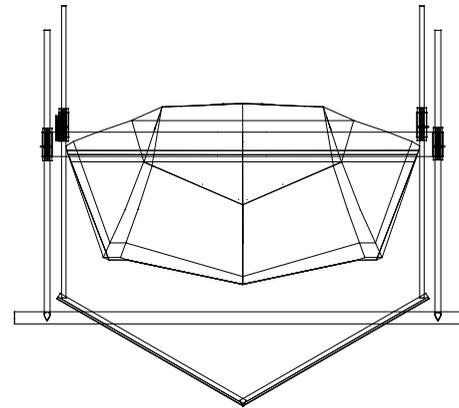
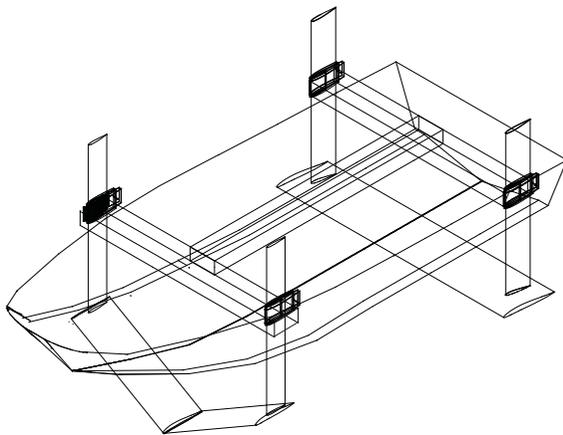
estable será, pero si se excede demasiado el ancho de la lancha se pueden perder las dimensiones del ala respecto al casco y dañarla con algún objeto flotante que se encuentre bajo el agua que no se pueda visualizar.



Diedro

La ventaja de los diedros es que al girar o perder estabilidad pueden recuperarse mejor que un ala recta por la fuerza compuesta que ejerce, por otro lado son difíciles de calibrar e inestables porque no se permiten calibrar el ángulo de ataque de su ala con sensores como se podría pensar en los casos anteriores. Además cuando emerge también el perfil comienza a salir a la superficie perdiendo sustentación rápidamente.

El diedro que se prueba tiene 120° de curvatura, la posición de él está ligado con el centro de gravedad de la embarcación, las dos fuerzas perpendiculares al ala se deben cruzar en este punto, determinando la altura que tendrá con respecto a la quilla.



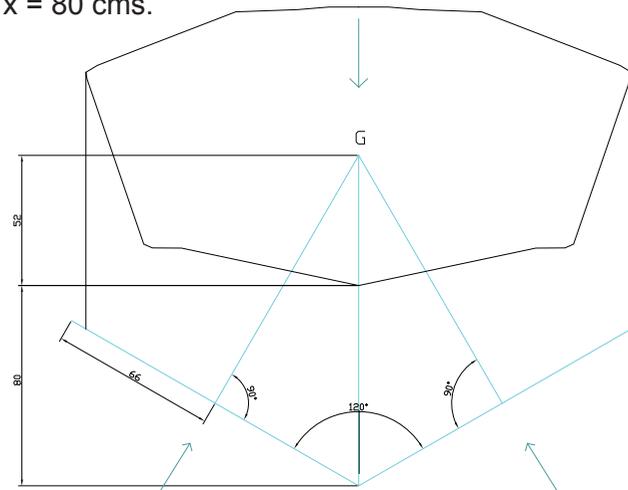
Perfiles verticales

Los perfiles de la estructura vertical, son naca 0012, perfil simétrico, de bajo coeficiente de roce, estos deben medir entre $1/2$ y $1/3$ de la cuerda del ala que estructuran, en este caso se utiliza la mitad de su cuerda para poder asegurar la estructura del ala a la escala que se está utilizando, esto puede variar en el prototipo.

$\text{sen } 30^\circ = \text{mitad del largo del ala} / \text{distancia quilla ala}$

$$\text{sen } 30^\circ = 66 / x$$

$$x = 80 \text{ cms.}$$



4.b. Perfiles alares

En este modelo se incorporan nuevos estudios realizados de las alas. Como proporciones, nuevos perfiles, diferentes magnitudes de alas y ángulos de ataque, considerando que la sustentación fue excesiva en el modelo anterior se intenta disminuir el roce para utilizar menos potencia en el despegue.

El modelo de la embarcación esta a una escala de 1/5; correspondiente a un facto de escala 5, el cual se obtiene de un largo del prototipo dividido por el equivalente en el modelo.

Eppler 818

Este perfil es utilizado nuevamente por el bajo coeficiente de arrastre en relación al coeficiente de sustentación. Se utiliza un ángulo de ataque elevado, para disminuir la velocidad de despegue de la lancha.



Velocidad = 6 nudos = 3,086 m/s
 Densidad agua salada = 1025 kg/m³

$$L = 1/2 \times d \times V^2 \times CI \times A$$

Sustentación de popa

L = 930 kg
 CI = 1.24; para un ángulo de ataque de 6°

$$930 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 1/2 \times 1025 \text{ kg/m}^3 \times (3,086 \text{ m/s})^2 \times 1.24 \times A$$

Aprototipo = 1.49 m² = largo x cuerda
 si el largo es 2,8 metros, entonces la cuerda será de 53.3 cms.

Al escalar estas medida para el prototipo se obtiene:
 largo modelo = 280 / 5 = 56 cms.
 cuerda modelo = 53.3 / 5 = 10.66 cms.

Sustentación proa

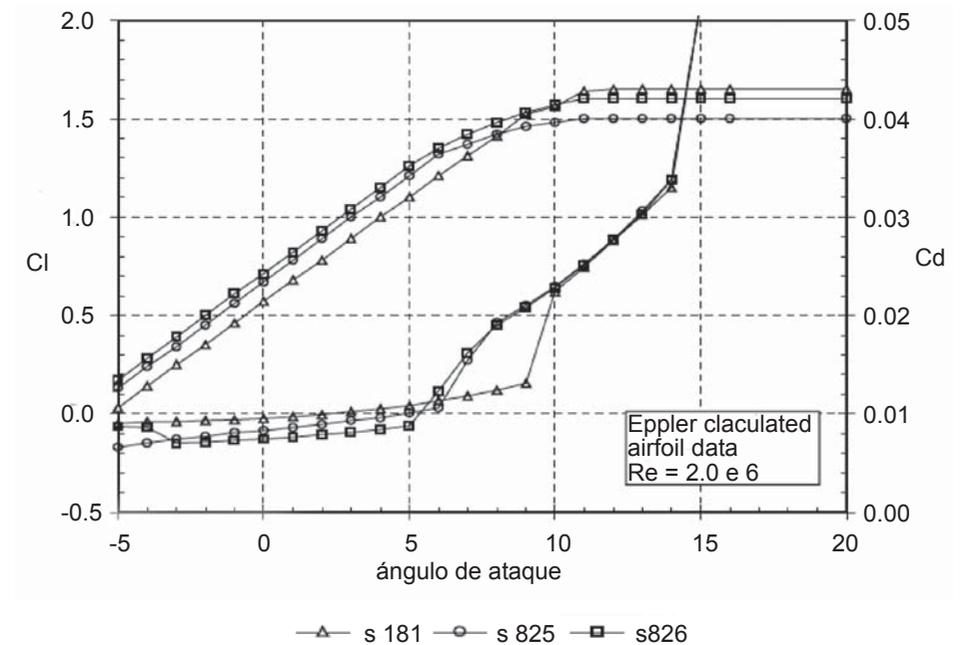
L = 570 kg
 CI = 1.14; para un ángulo de ataque de 5°

$$570 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 1/2 \times 1025 \text{ kg/m}^3 \times (3,086 \text{ m/s})^2 \times 1.4 \times A$$

Aprototipo = 0.999 m².
 si el largo es 2,7 metros, entonces la cuerda será de 37 cms.

La escala estas medidas son :
 largo modelo = 270 / 5 = 24 cms.
 cuerda modelo = 37 / 5 = 7.4 cms.

El ángulo de ataque se podría obtener solo por el asiento, y no por la construcción en la estructura vertical.



Naca munk-6

Como se señaló anteriormente las alas de doble curvatura se caracterizan por desplazan su centro de gravedad cuando se van a perdida, recuperando su ángulo de ataque, Tienen un coeficiente de roce mayor. Por tanto para este perfil se usa un ángulo de ataque de 4° en popa y 6° en proa.



Velocidad = 8 nudos = 4.115 m/s
 Densidad agua salada = 1025 kg/m³

$$L = 1/2 \times d \times V^2 \times CI \times A$$

Sustentación de popa

L = 930 kg
 CI = 0.36, ángulo de ataque de 4°.

$$930 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 1/2 \times 1025 \text{ kg/m}^3 \times (4.115 \text{ m/s})^2 \times 0.36 \times A$$

Aprototipo = 1.755 m²
 si el largo es 2,8 metros, entonces la cuerda será de 62.7 cms.

Al escalar estas medida para el prototipo se tiene:
 largo modelo = 280 / 5 = 56 cms.
 cuerda modelo = 62,7 / 5 = 12,54 cms.

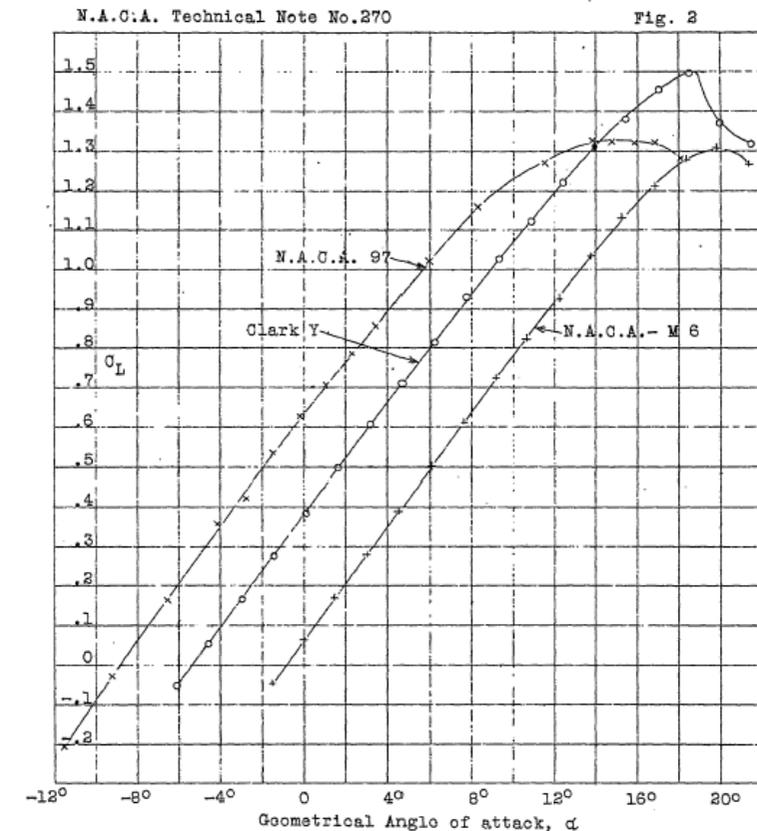
Sustentación proa

L = 570 kg
 CI = 0,5; ángulo de ataque 6°.

$$570 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 1/2 \times 1025 \text{ kg/m}^3 \times (4.115 \text{ m/s})^2 \times 0.5 \times A$$

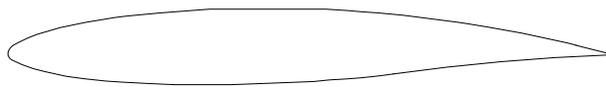
Aprototipo = 0.65285m²
 si el largo es 2,7 metros, entonces la cuerda será de 47 cms.

La escala estas medidas son :
 largo modelo = 2,7 / 5 = 54 cms.
 cuerda modelo = 0.47 / 5 = 9,4 cms.



Speer H105

Los perfiles de este tipo se caracterizan por producir menor roce respecto a los Eppler y un coeficiente de sustentación similar, Además dejan un flujo laminar produciendo menos turbulencia, lo que favorece el funcionamiento tanto del ala en popa como el motor. Para este perfil se usa un ángulo de ataque de 6.5° en popa y 6° en proa.



Velocidad = 8 nudos = 3.086 m/s
 Densidad agua salada = 1025 kg/m³

$$L = 1/2 \times d \times V^2 \times CI \times A$$

Sustentación de popa

L = 930 kg
 CI = 1.19, ángulo de ataque 6.5°

$$930\text{kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 1/2 \times 1025\text{kg/m}^3 \times (3,086\text{m/s})^2 \times 1,19 \times A$$

Aprototipo = 1.568m²
 si el largo es 2,8 metros, entonces la cuerda será de 56 cms.

Al escalar estas medida para el prototipo se tiene:
 largo modelo = 2,8 / 5 = 56 cms.
 cuerda modelo = 56 / 5 = 11.2 cms.

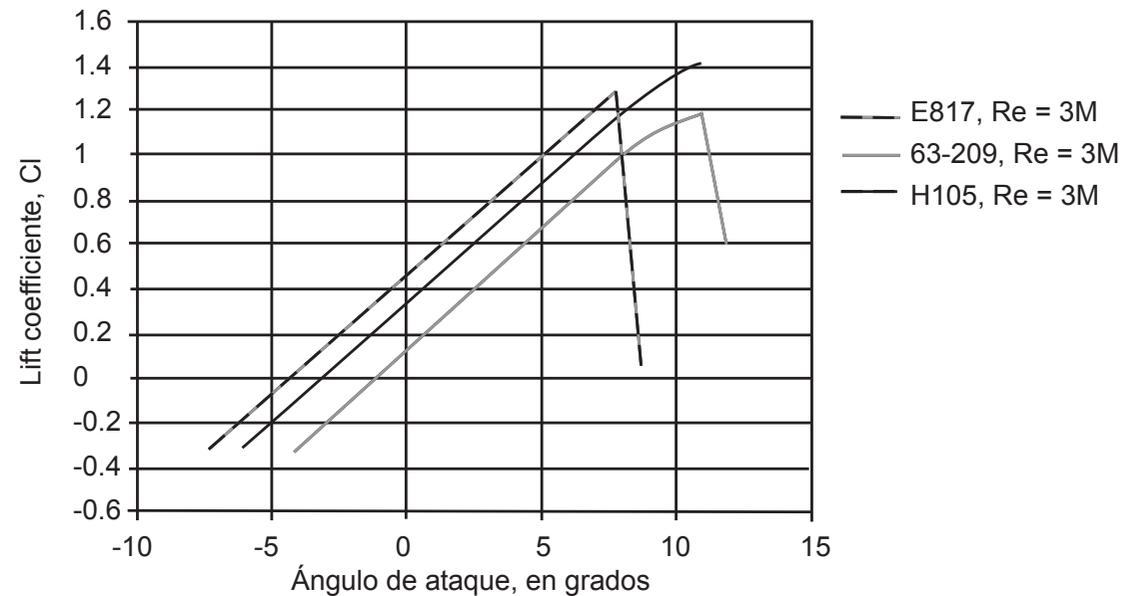
Sustentación proa

L = 570 kg
 CI = 1.003; ángulo de ataque 6°

$$570\text{kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 1/2 \times 1025\text{kg/m}^3 \times (3,086\text{m/s})^2 \times 1,003 \times A$$

Aprototipo = 1.14m²
 si el largo es 2,7 metros, entonces la cuerda será de 42.24 cms.

La escala estas medidas son :
 largo modelo = 2,7 / 5 = 54 cms.
 cuerda modelo = 0.42.24 / 5 = 8.4 cms.



4.b. Posición longitudinal de las alas

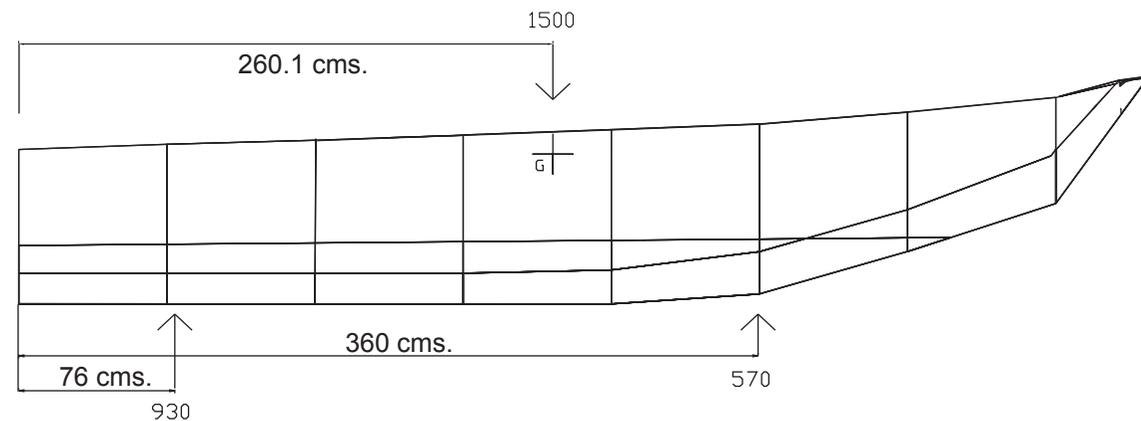
La posición longitudinal de las alas se determina en relación a la ubicación del centro de gravedad longitudinal del casco. Considerando que los momentos de las fuerzas del ala de proa y popa deben ser iguales, para mantener la estabilidad estática. El momento es el brazo por la fuerza. La distancia entre el punto de aplicación de la fuerza del ala y centro de gravedad es el brazo. Entonces se tiene que la distancia a la que se ubica el ala de popa del centro de gravedad multiplicado por el peso que sustenta debe ser igual a la de proa y este mismo punto por la respectiva fuerza que sustentara.

El centro de gravedad está ubicado a 202 cms, de popa, y se decide ubicar el ala de proa a 360 cms. de popa, sustentando 570 kg., mientras el de popa sustenta 930 kg. Con esto podemos obtener la distancia en que se tiene que ubicar el ala de popa para mantener el equilibrio del sistema.

$d \text{ (G-ala proa)} \times \text{sustentación proa} = d \text{ (G-ala popa)} \times \text{sustentación popa}$

$$211 \times 570 = 930 \times d \text{ G-ala popa}$$

$$d \text{ G-ala popa} = 72 \text{ cms.}$$

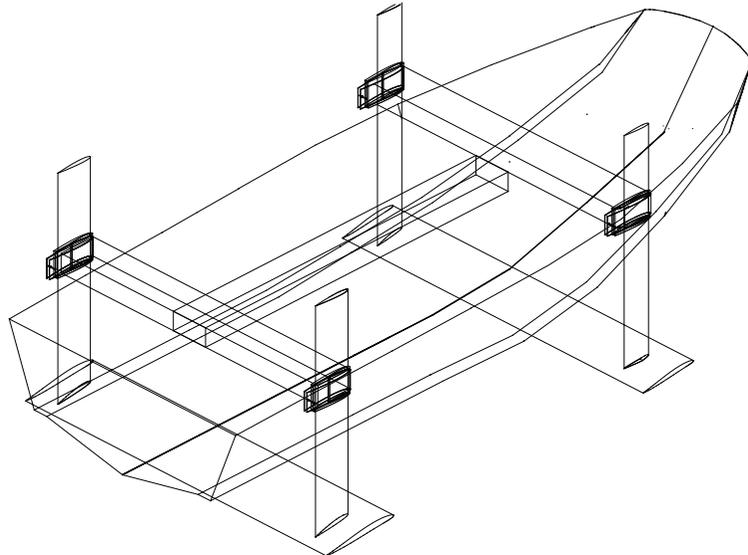


4.c. Planos del modelo

Se proyecta la construcción de un segundo modelo a escala de la lancha con hidroala, considerando la experiencia anterior, y estudios realizados en paralelo a la construcción del modelo anterior. En este modelo se utiliza una escala de 1: 5 y se le agrega como variable el ángulo de ataque.

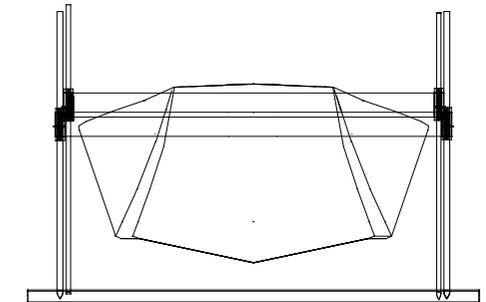
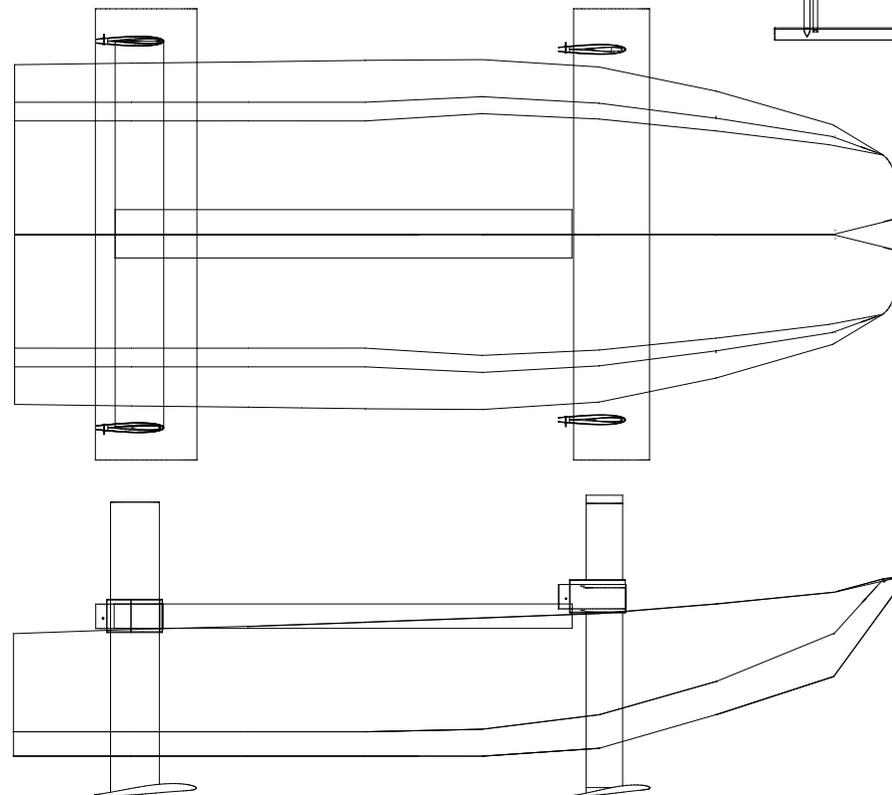
Lancha con Hidroala

Eslora: 5.50 m.
 Manga: 2.10 m.
 Puntal: 1.10 m.
 Puntal con Hidroala: 1.60 m.
 Peso Light Ship: 1 ton.
 Peso total: 1.5 ton.
 Capacidad: 5 personas.
 Velocidad promedio de despegue: 6 nudos.



Modelo de Lancha con Hidroala

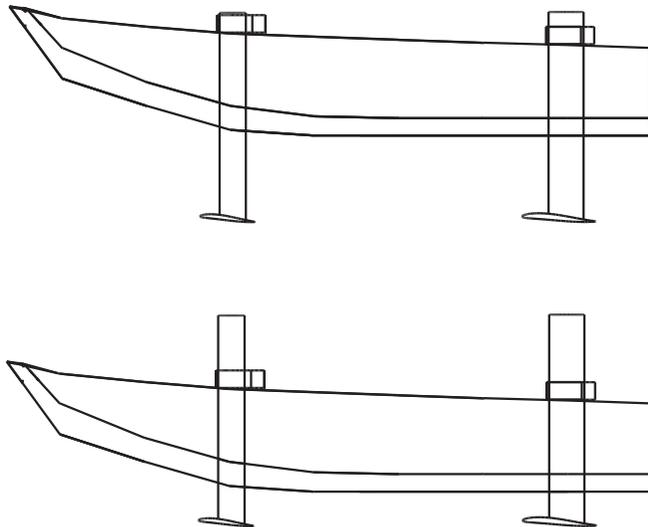
Eslora: 110 cm..
 Manga: 42 cm..
 Puntal: 22 cm..
 Puntal con Hidroala: 32 cm..
 Peso Total Modelo: 12 Kg.
 Velocidad promedio de despegue: 3.086 nudos.



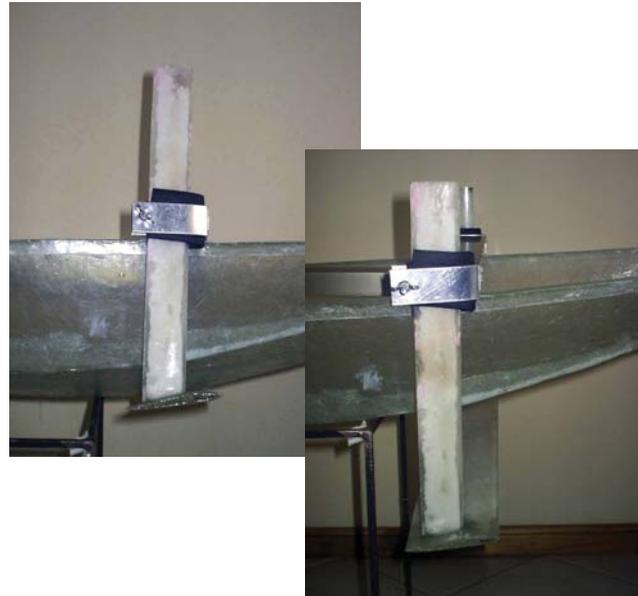
4.c. Sistema de ajuste de variables

Altura regulable

Los perfiles alares pueden deslizarse libremente por las piezas de ajuste cuando estas se encuentran abiertas, por lo que es muy fácil graduar la altura de los perfiles al momento de realizar las pruebas. Solo se desliza el perfil por la pieza de ajuste y cuando se encuentre en la altura deseada se aprieta el perno que ajusta la pieza hasta que el perfil quede completamente presionado y no se desplace en ningún sentido.

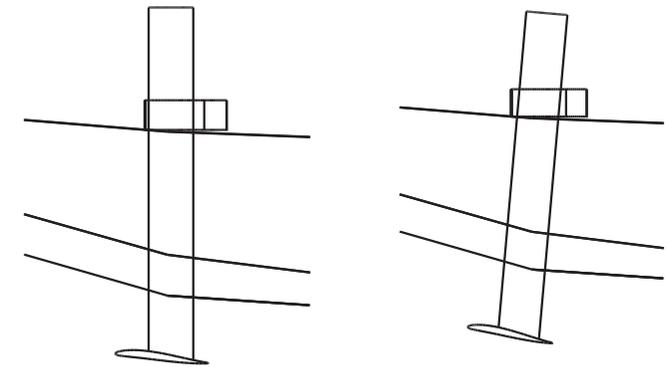


Ajuste de alturas del perfil alar.



Ángulo de ataque variable

Las piezas de ajuste fueron hechas con un margen en relación a la cuerda del perfil, tanto para hacer más fácil el deslizamiento del perfil vertical como para permitir un cambio en el ángulo de ataque. El cambio de ángulo es posible gracias al desplazamiento que permite la goma que se pone entre el perfil y la pieza de ajuste. El perfil se inserta en la pieza y se le da el ángulo requerido, una vez asegurado el ángulo necesario se aprietan los pernos que aseguran la pieza, la misma goma impide el movimiento del perfil, garantizando la mantención de la inclinación.



Ajuste del ángulo de ataque del perfil alar.



4.d. Construcción.

Para la construcción del casco es necesario escalar la matricería, pero el proceso utilizado es prácticamente el mismo.

Con el aumento de escala el casco sufre deformaciones en el proceso de pegado, por esto, antes de pegar las piezas, se adosa una estructura de cuadernas externas, para evitar que se formen ondulaciones en el casco al apoyarse sobre una superficie plana al momento de secado.



Se pegan las piezas principales del casco en primer lugar con resina poliéster. Cuando estas piezas han secado se da vuelta el casco, y se pega el

borde, para evitar que la resina escurra y cree algún tipo de rugosidad que cause un aumento en el roce del modelo.

Se refuerza el casco del modelo pegando piezas de fibra de vidrio adicionales con resina poliéster en todas las uniones, considerando que el modelo debe resistir levantar un peso proporcional a su escala.

Con el casco terminado se realiza el experimento de inclinación, las correcciones a las curvas de estabilidad estática inicial, el cuadro de cargas y determinar la ubicación del centro de gravedad, para poder reubicar con mayor exactitud la posición longitudinal de las alas.

Es necesario crear un nuevo sistema de ajuste, ya que las alas sufren torsión por las fuerzas que inciden en ella, la cual se incrementaría con el aumento de tamaño.

Para ello se debe realizar nuevos planos de sistema de ajuste y agregar una nueva coordenada variable, el ángulo de ataque.

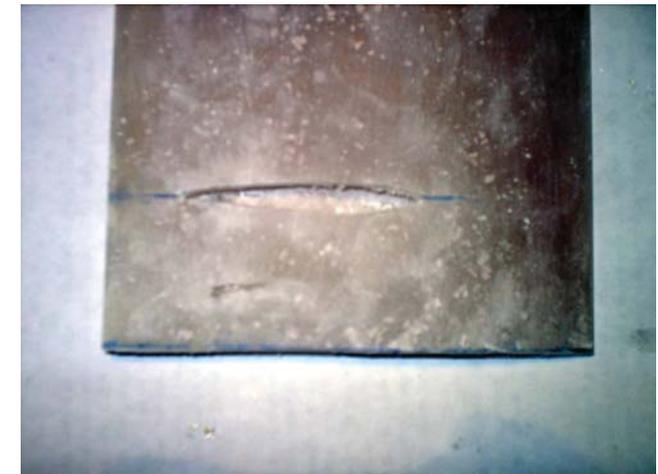
Para la construcción de los perfiles se utiliza el mismo procedimiento básicamente.

El cambio de escala favorece la construcción de las alas, a mayor tamaño es más fácil asegurar la forma del perfil y notar imperfecciones. Se usa una lámina de hojalata en vez del aluminio, la cual se curva antes de ser pegada a las cuadernas de la matriz. La hojalata permite un desmoldado mucho más fácil y rápido, además de asegurar una terminación lisa del perfil, pues es considerablemente más rígida, impidiendo que se marquen las cuadernas de la matriz con la presión

ejercida al cerrar, para garantizar la terminación del borde trasero del ala.

La resina en esta ocasión, para evitar escurrimientos y una mejor impregnación de la fibra es mezclada con kadosil, polvo que actúan como gelcoat para aumentar la densidad de la resina.

Para la unión de los perfiles verticales con los perfiles sustentadores se marca sobre el perfil sustentador la posición del vertical, y se cala el espacio con la forma del perfil vertical, para que pueda ser introducido dentro del sacado.



A continuación se fijan los perfiles verticales en la estructura de soporte y se posiciona el perfil sustentador, cuidando que estén ambos perfiles verticales a la misma altura y que el ángulo de ataque del perfil sustentador sea el correcto al unirlo con el vertical.



Una vez que se a verificado que los perfiles estén en el lugar correspondiente se pegan con resina mezclada con hilos de fibra de vidrio, esta se introduce dentro del perfil sustentador y por sobre



el punto de unión. Cuando la resina ha fraguado se lijan los excesos que pudiesen haber quedado para evitar roce innecesario.

Este modelo tendrá los perfiles alares situados fuera del casco, por lo que es necesario construir una estructura que soporte a los perfiles y los mantenga fijos al casco.

Esta es una estructura de aluminio que cuenta con tres travesaños, dos de cuales servirán de soporte a los perfiles alares y un tercero de conexión entre los otros dos, proporciona rigidez estructural y una superficie donde colocar los pesos al momento de realizar las pruebas.



Los travesaños son cortados, perforado y remachados entre si.



Los que serán soporte de los perfiles alares se les hace un sacado con la curvatura de la pieza que recibirá el ala para ajustar.

Para sujetar los perfiles alares verticales al modelo, se construyen unas piezas de aluminio que son las encargadas de recibir y ajustar, para poder realizar los cambios deseados. Estas piezas son hechas a partir de una pletina de aluminio que se curva para tomar la forma del perfil vertical. A continuación realizan las perforaciones necesarias para poder atravesar un perno por la pletina, que ajustará el perfil vertical.



Se usa otra pletina que será la conexión entre la pieza que recibe el perfil alar y la estructura de soporte del modelo. Esta pieza sigue la curva de la forma de la pieza de unión con el perfil alar y se acopla con el sacado que se hizo. La pieza se perfora para poder ser remachada a la estructura de soporte y a la pieza que recibe el perfil.



Primero se remacha la pieza de conexión con la pieza que recibe el perfil vertical y luego ambas a la estructura de soporte. El montaje está terminado cuando se inserta un trozo de goma en la pieza que recibe al perfil, esto para asegurar el ajuste y evitar que el perfil vertical se deslice.



Una vez que las piezas de ajuste están unidas a la estructura de soporte, esta se sitúa sobre el casco del modelo sobre los puntos donde deben ir ubicados los perfiles sustentadores, de acuerdo a los cálculos de estabilidad. Cuando estas distancias se han verificado se remacha la estructura de soporte al borde estructural del casco.



5. Pruebas del modelo

5.a. Pruebas en estero de Ritoque

Se realizan pruebas del modelo en el estero de Ritoque. Para esto se ubican los pesos en el modelo de la embarcación a escala 1:5, correspondiente a 12 kilos, los que se distribuyen 5 kilos en popa y 3.5 kilos en proa, el resto del peso lo completa el modelo que pesa 3.5 kilos, con las alas incluidas.

Primer grupo de pruebas

En la primera prueba se utiliza la configuración de alas de doble curvatura naca m-6 recta en proa y doble curvatura m-5 recta en popa.

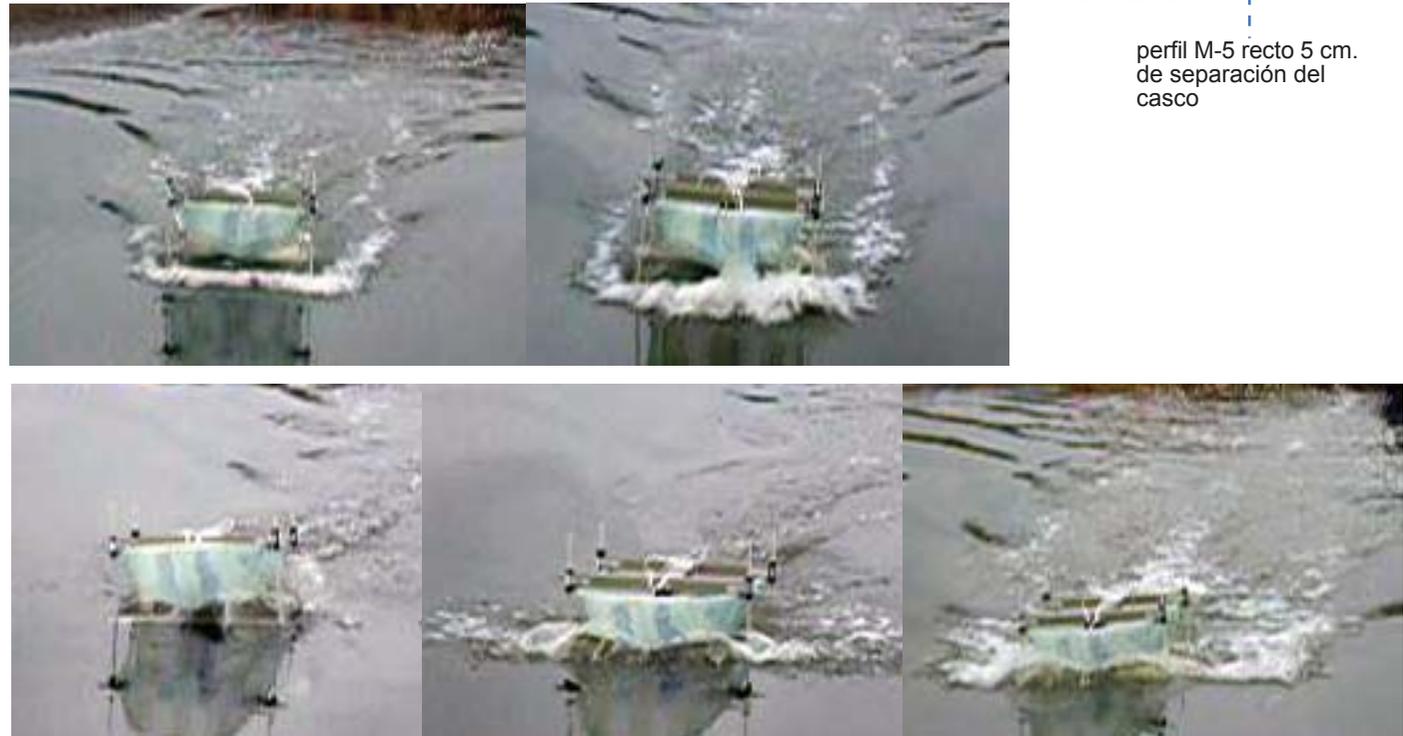
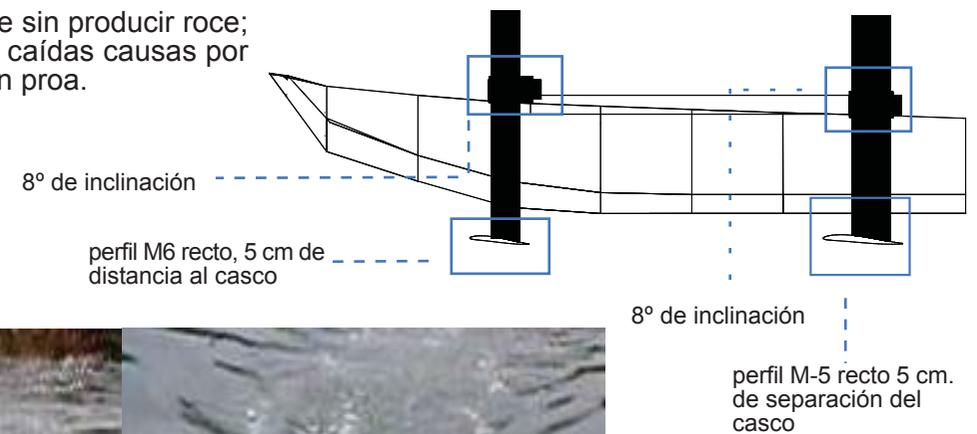
Los perfiles NACA Munk-6, de doble curvatura, se construyen en su configuración simple, tanto el perfil de proa como de popa son rectos y tienen el ángulo de ataque fijo en los 8 grados. La distancia entre perfil sustentador y la quilla del casco se fija en los 5 cm., a escala real corresponden a 25 cm. distancia suficiente para poder despegar la embarcación del agua, mientras que el motor fuera de borda funciona sin impedimentos.

Las pruebas arrojan los siguientes resultados: El modelo es capaz de levantar los pesos sin mayor inconveniente, pero su estabilidad se ve afectada por el cabeceo del modelo, el cual se debe al exceso de sustentación de la proa, provocando que el ala salga del agua, yéndose a pérdida y haciendo caer la proa bruscamente.

La popa por el contrario se mantiene estable y no tiene problemas para levantar el peso, pero se ve parcialmente afectada por la inestabilidad en proa, la cual interrumpe el desplazamiento a una altura constante.

La altura fijada para los perfiles respecto a la quilla del casco es satisfactoria, suficiente para que el

casco despegue prácticamente sin producir roce; a excepción de las repentinas caídas causadas por el problema de sustentación en proa.

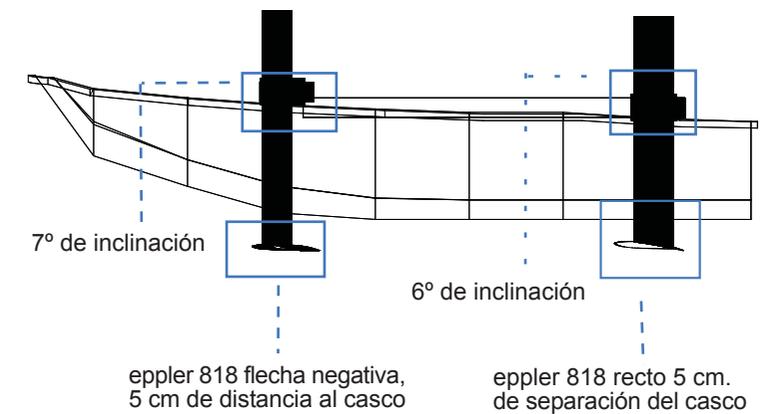


Segundo grupo de pruebas

Eppler 818 con flecha negativa en proa y eppler 818 recto en popa

En esta prueba las alas se ubican a 5 cms de la quilla tanto en proa como popa, los ángulos de ataque usados son de 7° en proa y 6° en popa. Esta configuración de alas produce un constante

cabeceo, el perfil de proa, al conseguir demasiada sustentación, sale rápidamente del agua haciendo caer la lancha por la pérdida de presión sobre la superficie alar, siendo incapaz de sustentarla. Por su parte el ala de popa también pierde sustentación al encabuzar la nave aumentando la inestabilidad de la embarcación longitudinalmente.

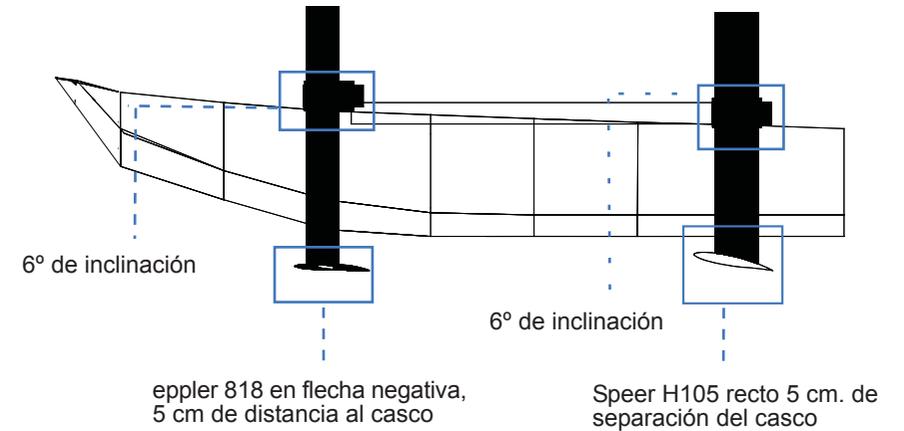


Tercer grupo de pruebas

Eppler 818 con flecha negativa en proa y speer h105 recto en popa
 Los perfiles se ubican a 5 cms. desde la quilla en proa y popa, el ángulo de ataque en proa y popa es de 6°.

La embarcación presenta buena estabilidad transversal, manteniendo la dirección sin producir escoras, no así su estabilidad longitudinalmente, cabeceando constantemente, si bien es más pausada que con un perfil eppler en proa la pérdida de sustentación, el ala igual

logra salir del agua golpeando el casco. La sustentación que produce el ala de popa es la más adecuada hasta el momento, sustenta menos que un perfil alar eppler permitiendo levantar primero la proa, lo cual no genera ángulos menores o negativos que encabucen la nave.

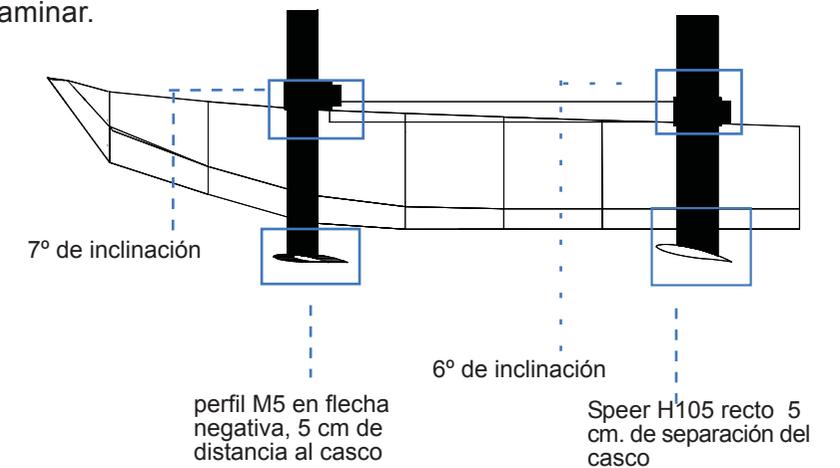


Cuarto grupo de pruebas

Speer h105 con flecha negativa en proa y speer h105 recta en popa.

La distancia vertical de los perfiles hasta la quilla es de 5 cms. en proa y popa. Los ángulos de ataque se ajustan a 7° en proa y 6° en popa.

El cambio de un perfil eppler en proa por un speer no genera grandes mejoras, si bien prolonga el tiempo entre cabeceos, manteniendo por más tiempo estable la nave, produce una estela mas turbulenta al cortar el agua, por su mayor volumen, lo que podría afectar el ala trasera perdiendo sustentación y disminuir el rendimiento del motor al no funcionar bajo un régimen de flujo laminar.

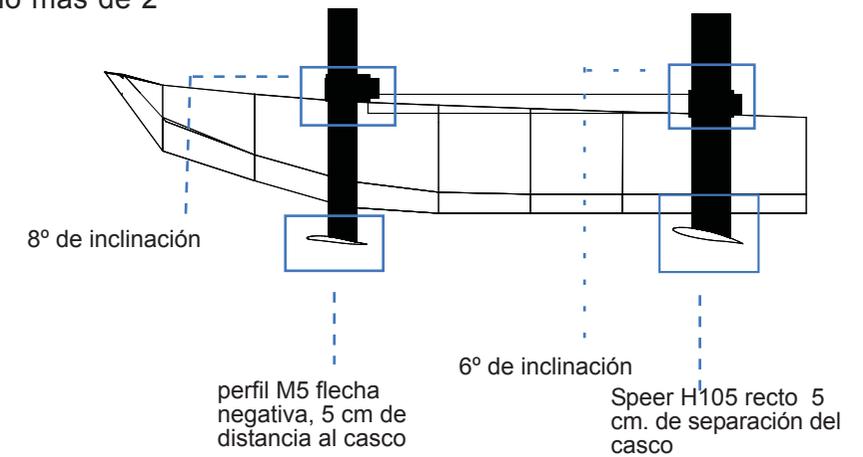


Quinto grupo de pruebas

Doble curvatura naca m-5 con flecha negativa en proa y speer h105 recta en popa.

La altura en que se prueban los perfiles es de 5cms. desde la quilla, con ángulo de ataque en proa de 8° y en popa 6°.

Esta es la configuración con mejores resultados, la estabilidad transversal se mantiene estable aun con variaciones de velocidad, mientras la estabilidad longitudinal no es alterada cuando la velocidad no es constante. El casco sólo queda en contacto con el agua en la v del espejo calando no más de 2 cms.



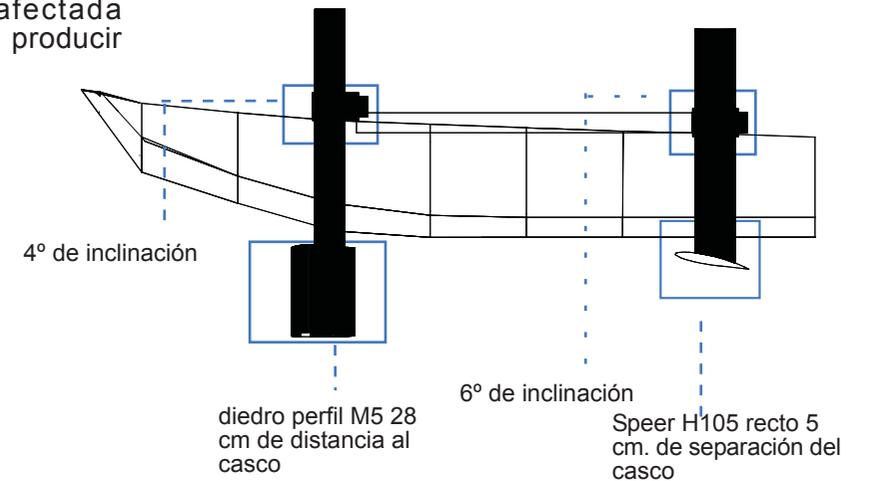
Sexto grupo de pruebas

Doble curvatura naca m-5 con diedro de 120° en proa y speer h105 recto en popa.

El diedro utiliza un ángulo de ataque de 4° mientras que en popa es de 6°. La altura de los perfiles es de 5 cms. desde la quilla en popa y 28 cms. desde

el vértice del diedro hasta el casco. La estabilidad longitudinal es relativamente aceptable, el cabeceo que se produce es leve el casco no alcanza a caer al agua antes de recuperar la estabilidad, esto se podría producir por el perfil auto estable con que se construye el diedro, pero la estabilidad trasversas se ve afectada considerablemente, la embarcación al producir

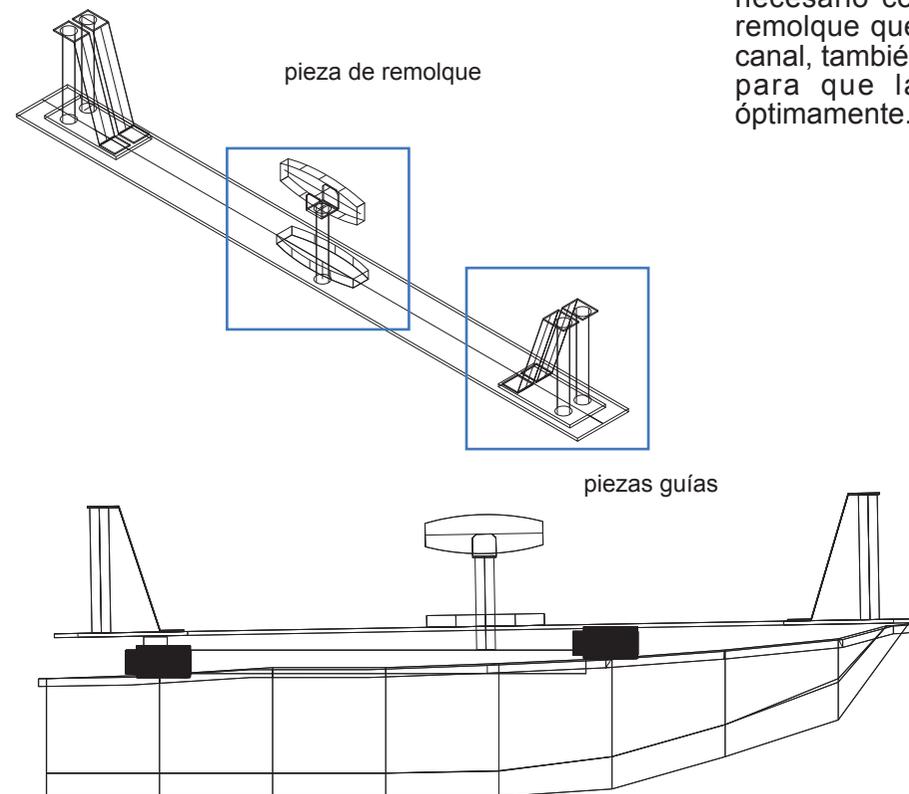
escora se desliza por el lado que queda en contacto con el agua como si fuese un perfil recto, creando una escora permanente, en vez de producir una fuerza que contrarreste y provoque la restitución de la escora.



5.b. Pruebas en el canal de la Universidad Austral de Valdivia

Es necesario comprobar el correcto funcionamiento en base a mediciones del modelo de la lancha con hidroala que ya se había probado con anterioridad en el estero de Ritoque. Para verificar este funcionamiento se realizan pruebas en la Universidad Austral de Valdivia.

El Canal de Pruebas de la Universidad Austral de Valdivia está diseñado específicamente para realizar pruebas de remolque a modelos a escala de embarcaciones y comprender el comportamiento que tendrá la embarcación en la realidad. Para poder efectuar las pruebas en el canal es necesario conectar el modelo con la pieza de remolque que desplaza el modelo a lo largo del canal, también se deben poner unas piezas guías para que la pieza de remolque funcione óptimamente.



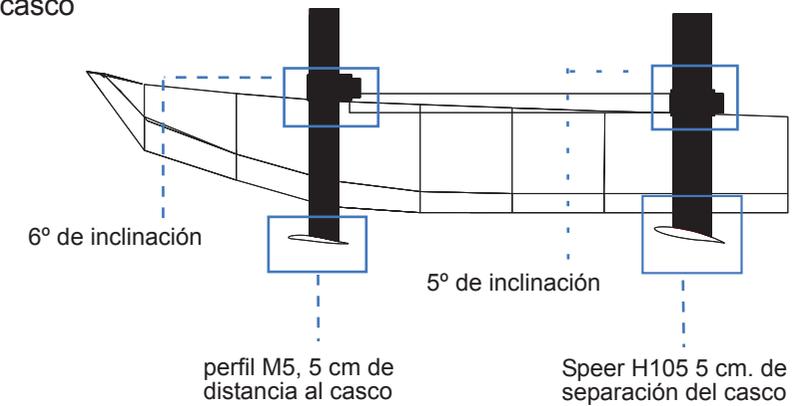
Una vez que estas piezas están colocadas, el modelo está listo para ser probado.

Primer grupo de pruebas

Las primeras pruebas se realizan con la misma configuración que resulto con más éxito en las pruebas en el estero de Ritoque. El ala de popa de configuración recta, cuyo perfil alar corresponde a uno del tipo Speer, que se

encuentra a 5 centímetros de distancia de la quilla de la embarcación. El ala de proa, de configuración en flecha negativa cuyo perfil es de doble curvatura, también se encuentra a 5 centímetros del casco. Los ángulos de ataque corresponden a 6° de inclinación en proa y 5° en popa. Los resultados de las pruebas no son los esperados, el ala de proa logra levantar escasamente el casco

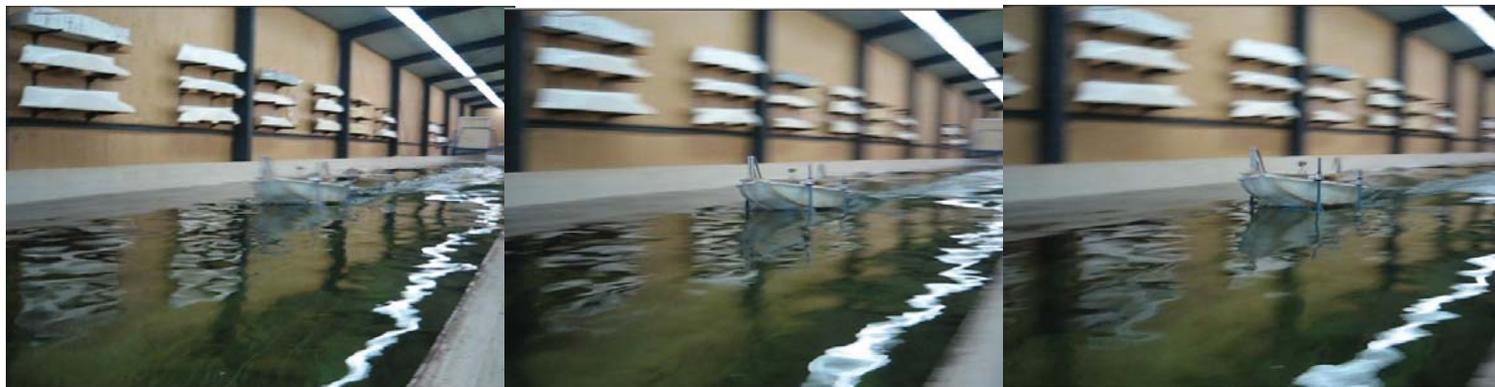
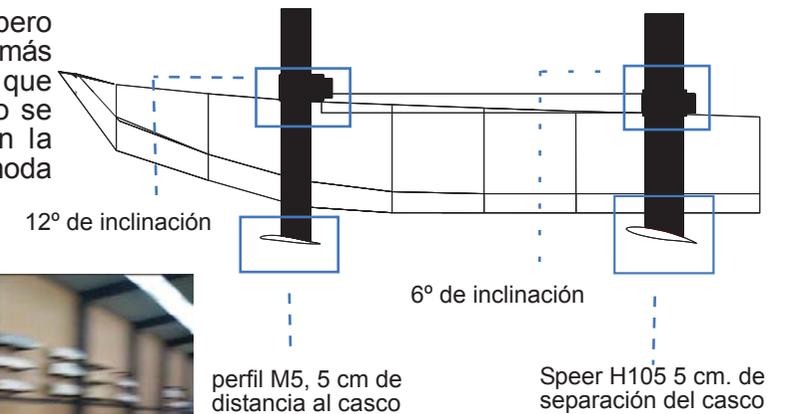
del agua, incluso en algunas ocasiones no es capaz de elevarlo. En tanto que la popa logra apenas levantarse del agua. El mejor resultado logrado por el modelo es a los 7 nudos a escala real.



Segundo grupo de pruebas

Como los resultados obtenidos son insatisfactorios, se realizan modificaciones al modelo. El primer cambio a realizar es una modificación en el ángulo de ataque, se aumenta en proa a 12° , mientras que el perfil de popa se mantiene igual.

La lancha es probada a la misma velocidad, pero esta vez logra levantarse insuficientemente, además se genera una escora que es más perjudicial que el resultado anterior, esto porque el modelo se balancea de un costado a otro, lo que en la embarcación real crearía una sensación incómoda para los pasajeros.



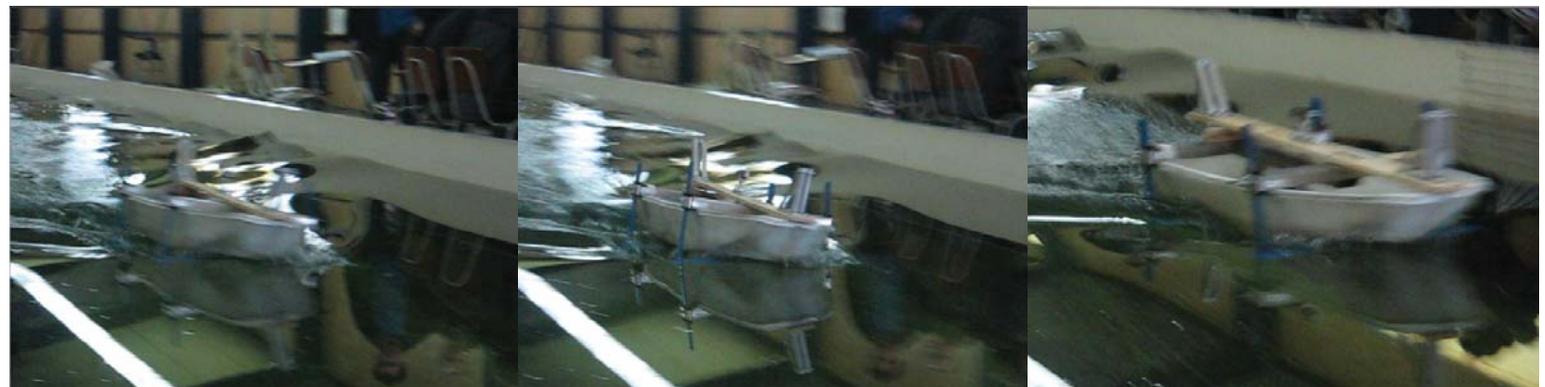
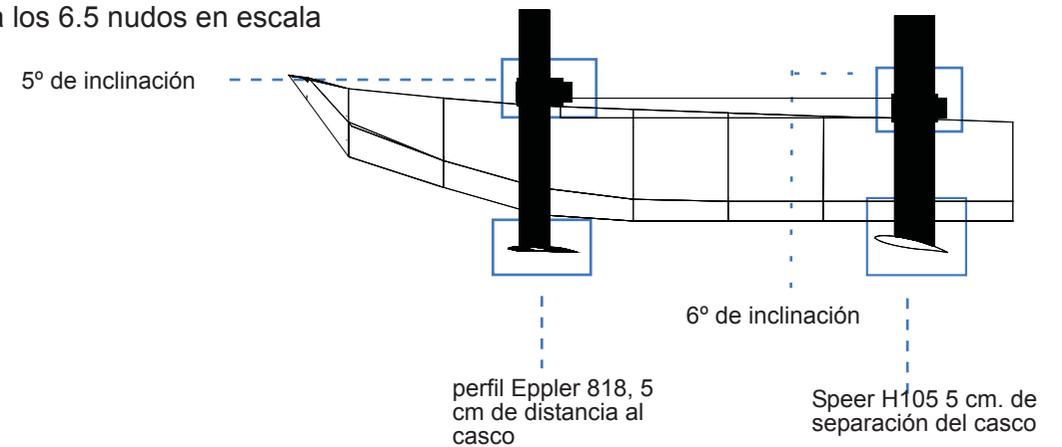
Tercer grupo de pruebas

Considerando que el perfil delantero no esta produciendo la sustentación necesaria para poder levantar la proa, se decide cambiar a un perfil con mayor sustentación pero más inestables. Se sustituye el perfil de doble curvatura por un perfil eppler.

El perfil eppler de configuración en flecha negativa es situado a 5 centímetros del casco, con 5° de inclinación en el ángulo de ataque. El perfil de popa se mantiene igual que en las pruebas anteriores.

El perfil delantero es mas inestable, si bien logra sustentar al modelo, este se escora al alcanzar velocidades superiores a los 6.5 nudos en escala

real. Teniendo su mejor desempeño en los 7 nudos, pero siempre manteniendo una escora que se cambia de borda a borda.

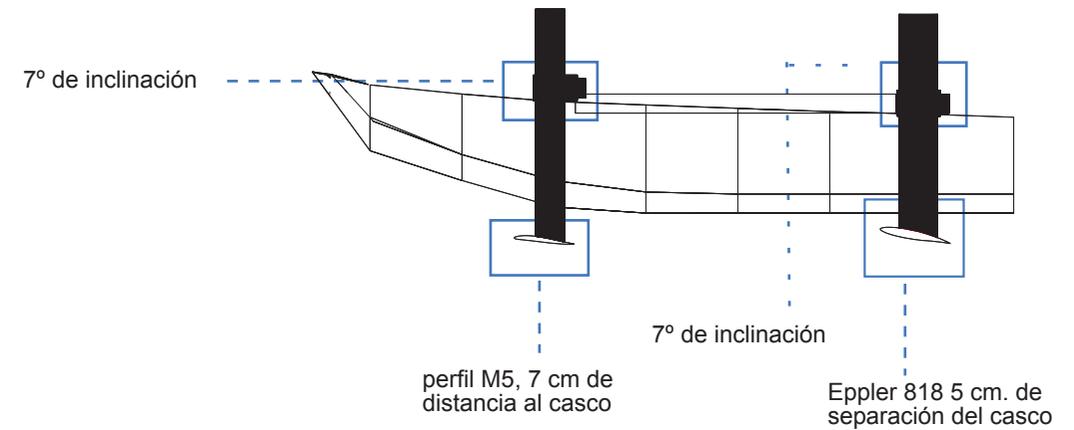


Cuarto grupo de pruebas

La popa no se esta levantando lo suficiente en las pruebas realizadas con el perfil Speer h105, por esto se decide cambiar el perfil de popa por uno con mayor sustentación y dejar en proa el perfil m5, que ha resultado ser el perfil más estable para

el modelo.
Se prueba la configuración, m5 en proa con una inclinación de 7° , a una profundidad de 5 cm. El perfil Eppler se prueba con un inclinación de 7° y a 5 cm de la quilla.
La sustentación producida por el perfil Eppler es excesiva para la embarcación, lo que produce que

esta se levante más de lo deseado en popa y se encabece en proa, cambia el centro de gravedad y hace que la embarcación cabeceé. El momento más estable de la embarcación se logra a los 7 nudos a escala real.

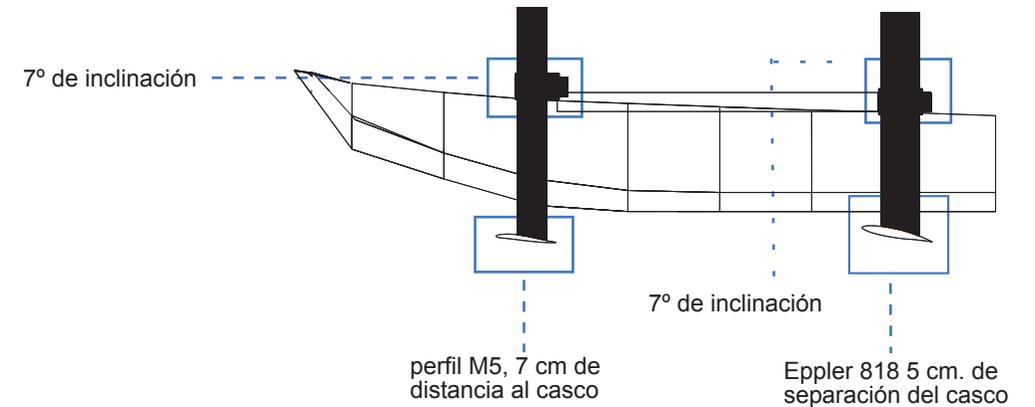


Quinto grupo de pruebas grupo de pruebas

Se desea compensar el exceso de sustentación del perfil de popa, por lo que se cambia el perfil delantero por el perfil Eppler en configuración en flecha negativa. El perfil de proa se coloca con una inclinación de 9° y el perfil de popa se mantiene

con la misma inclinación de la prueba anterior, 7° . La profundidad del perfil de proa es de 6 cm. y el de popa es de 5 centímetros. Esta configuración resulta una vez más la configuración más inestable. El modelo se escora de banda a banda y la sustentación que producen los perfiles se pierde debido a esta escora. Al escorarse la embarcación saca parte del perfil

del agua perdiendo sustentación. En los momentos en que el modelo está adrizado, logra sacar el casco del agua, pero antes de alcanzar la altura necesaria el modelo comienza a escorarse y pierde la sustentación lograda. La velocidad en que se logra mantener la lancha adrizada y con sustentación es a los 6.5 nudos a escala real.



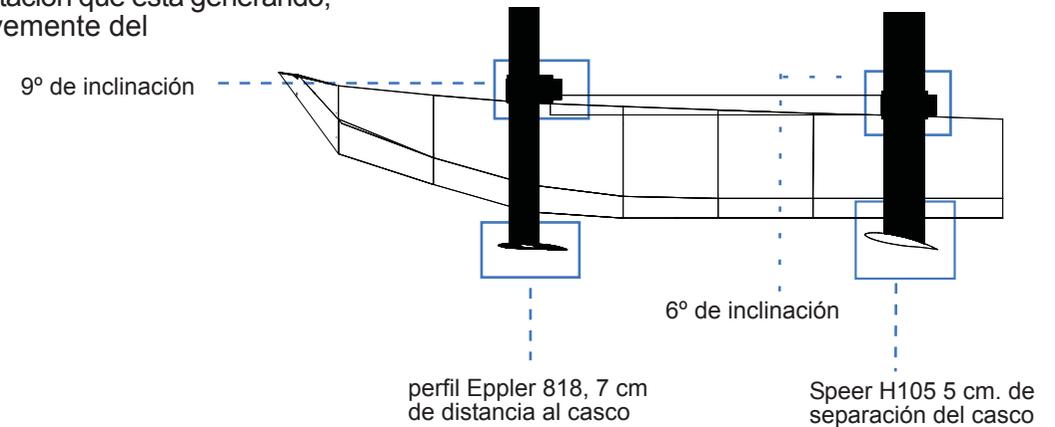
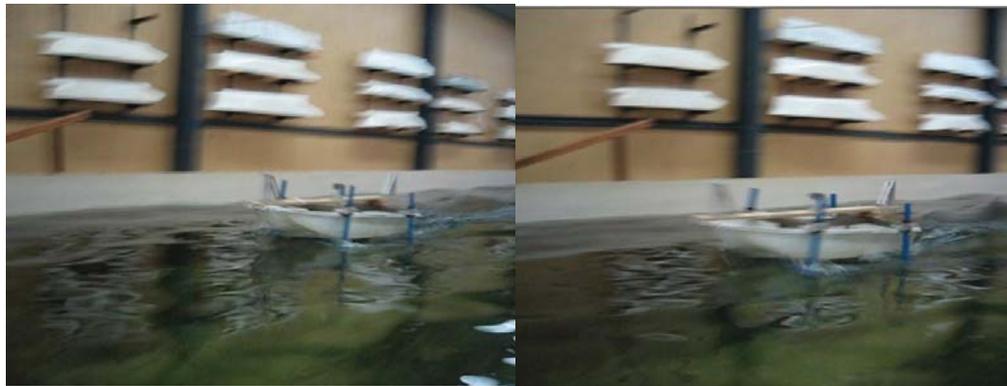
Sexto grupo de pruebas grupo de pruebas

Se vuelve a probar con la configuración Speer H 105 en popa y Eppler 818 en proa con flecha negativa. Esta vez se aumenta la profundidad del perfil Eppler, se deja a una distancia de 7 centímetros del casco y su ángulo de ataque se

fija en 9°. En tanto que el perfil de popa se prueba con su configuración inicial a 5 centímetros de profundidad y con una inclinación de 6°. La velocidad en la que se prueba el modelo es de 7 nudos a escala real.

Al bajar la profundidad del ala de proa se logra bajar el exceso de sustentación que está generando, el modelo se levanta levemente del

agua, pero aun mantiene la inestabilidad que se presento en las pruebas anteriores realizadas con perfiles Eppler, esto porque al alcanzar cierta velocidad el agua de la superficie produce un vacío, creando una alteración en el medio donde se desplaza el ala, que ocasiona una perdida de sustentación.



Séptimo grupo de pruebas

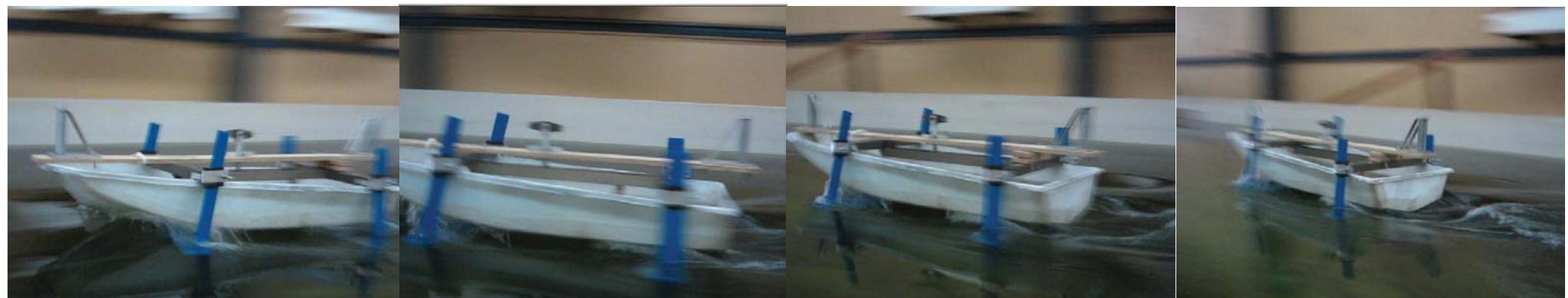
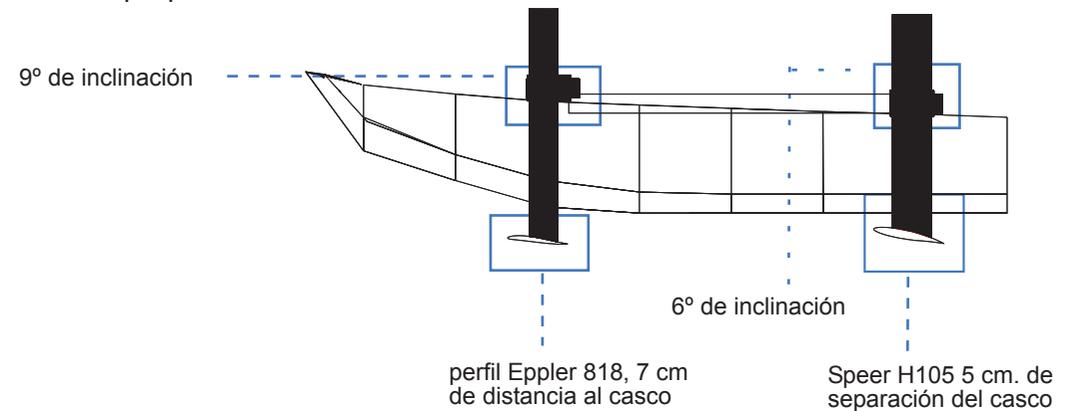
Se hacen correcciones al perfil de proa, aumentando la profundidad a la que se encuentra, para poder asegurar así que el ala no salga del agua una vez que logre levantar proa. Al aumentar la profundidad del perfil, se debe también aumentar el ángulo de ataque para que no pierda

sustentación.

La configuración del modelo es perfil Eppler 818 de proa con una profundidad de 10 centímetros y un ángulo de ataque de 12° , en popa se usa un perfil speer H105 a cms. de la quilla, con inclinación de 6° .

El modelo logra salir del agua, pero la estela que provoca es demasiado grande, lo que puede afectar

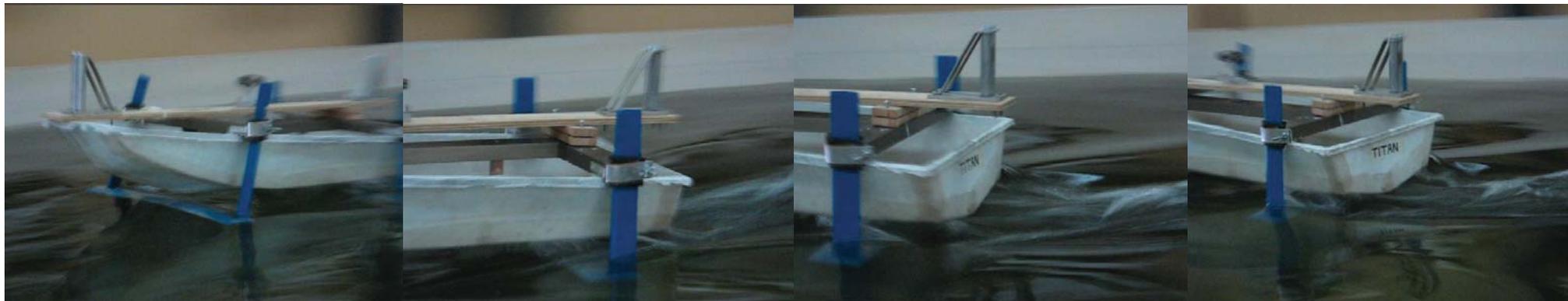
el funcionamiento de motor, además de producir un gasto innecesario de energía. La velocidad a la que se prueba el modelo es de 7 nudos escala real.



Octavo grupo de pruebas grupo de pruebas

Esta vez el modelo funciona óptimamente. El casco se levanta del agua completamente, lo hace a mayor altura en la proa que en la popa, si bien

está por sobre el agua no se produce a gran altura, esto es muy conveniente ya que permitiría el correcto funcionamiento del motor fuera de borda.



Noveno grupo de pruebas

Se prueba la misma configuración de alas, pero esta vez se realiza la prueba a una velocidad, 8 nudos a escala real. Pues se necesita que el modelo alcance mayor velocidad.

El modelo a esta velocidad comienza a cabecear. Con el aumento de velocidad, se aumenta la sustentación de ambos perfiles, pero el perfil que presenta mayores problemas es el de proa. Esto porque su sustentación aumenta demasiado lo que hace que el ala salga del agua y funcione en medios diferentes, pierde presión en la parte superior del ala, descompensándola.

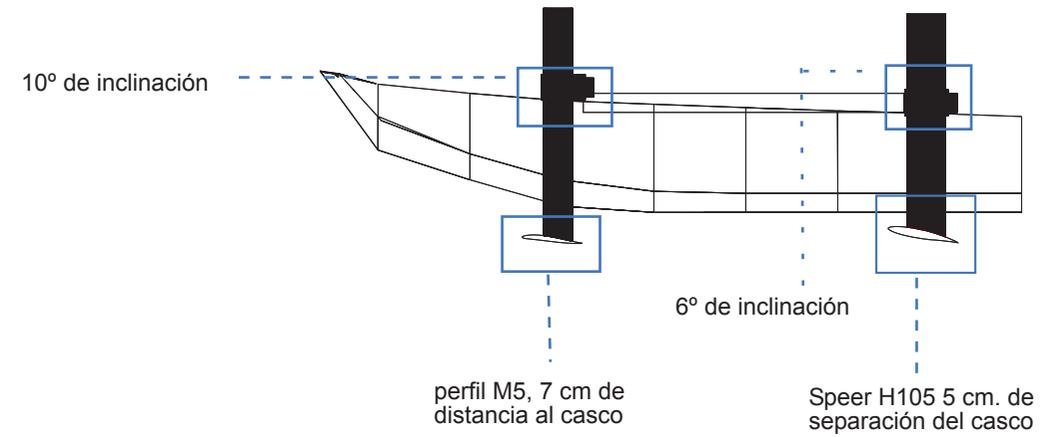
Al funcionar en medios de diferentes densidades el ala pierde bruscamente sustentación y la proa del modelo cae, golpeando con el agua. Luego, cuando el ala está nuevamente en el agua, recupera sustentación, levanta nuevamente el casco, hasta que nuevamente la sustentación es excesiva saliendo el ala del agua, produciendo que la embarcación cabecee constantemente.



Décimo grupo de pruebas

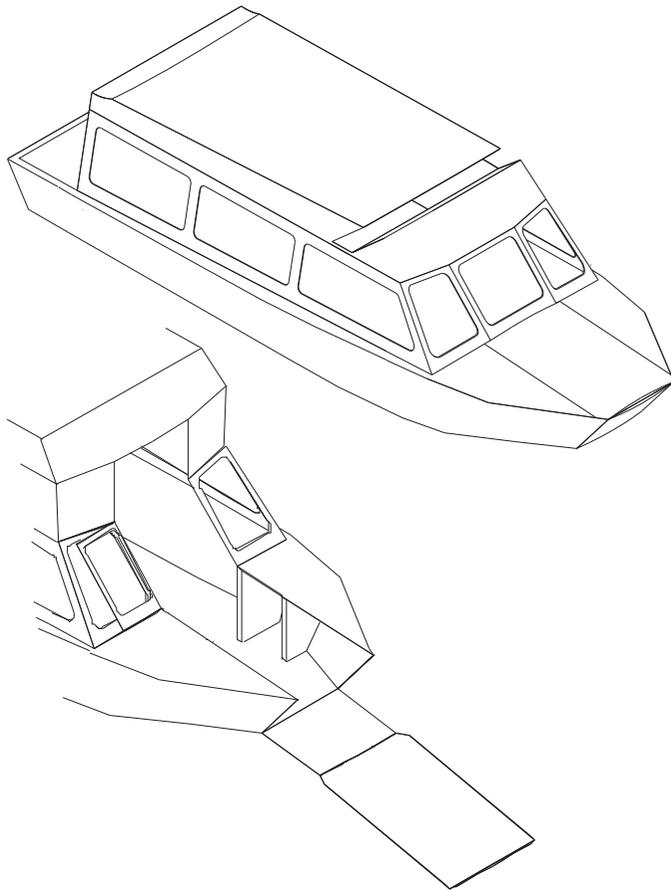
Se prueba nuevamente la configuración inicial, Speer en popa, pero esta vez se instala a una separación de 5 centímetros del casco con ángulo de ataque del perfil de 6°. En tanto que el perfil

m-5 en proa se coloca con una separación de 7 centímetros del casco y se le da un ángulo de ataque de 10°. La prueba se realiza con una velocidad de 7 nudos escala real.



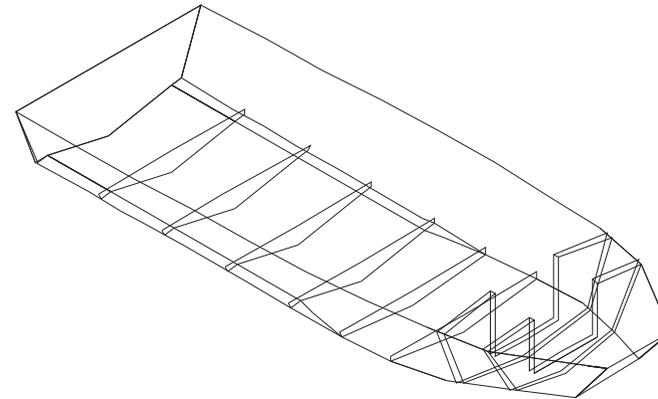
6. Planos constructivos del casco del prototipo

El modelo fue diseñado sin perder de vista los procesos constructivos para el prototipo. Generando la matricería del modelo para que puedan ser aplicados en aluminio. El trazado de la matricería del casco se traspasa a planchas flexibles, formando la curvatura por la unión entre ellas.



El proyecto no se enfoca únicamente en las hidroalas, es por esta razón que al incorporar las necesidades que debe satisfacer en el diseño, el casco sufre transformaciones. Permite abrir su proa, con el objetivo de poder crear un nexo entre la embarcación y el borde, en cualquier punto de la costa, prescindiendo de muelles, por el cual se pueda acceder fácilmente.

Estructura de cuadernas.

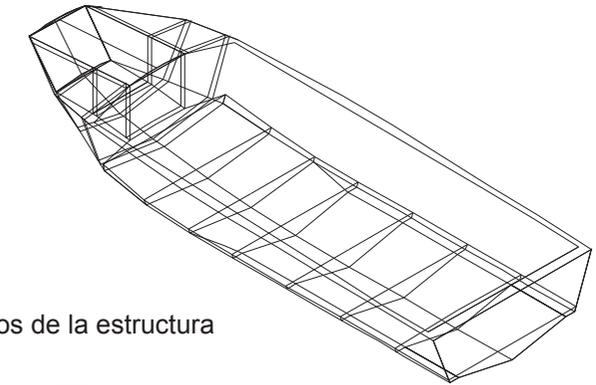


Al partir la proa para permitir abordar la embarcación por esta, se necesita estructura adiciones en el casco para que no sufra deformaciones.

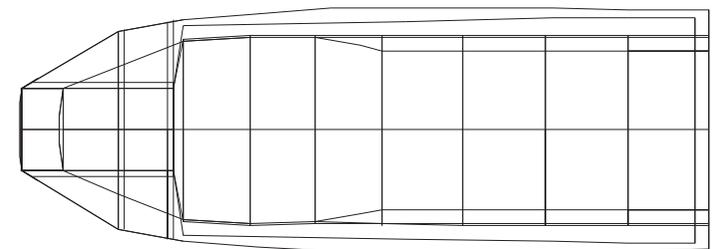
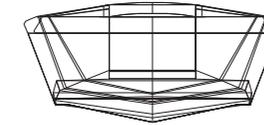
El casco en su interior pajo la cubierta del piso lleva vigas a lo largo de la parte posterior, mientras que en proa se construyen 2 muros que impiden que la embarcación se deforme, tendiendo a dividirse.

La cabina de la embarcación también se proyecta para ser armada a partir de una unión de planchas.

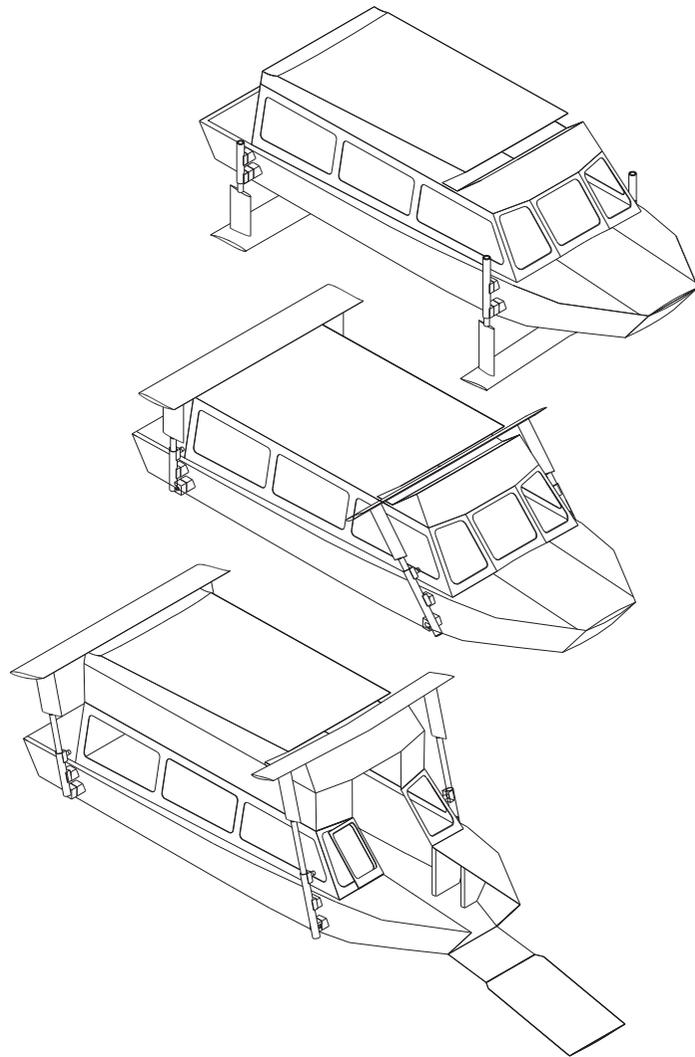
Se desarrolla una matricería aplicada en la maqueta de habitabilidad, garantizando la obtención de su geometría a través de planos y resistencia a las deformaciones.



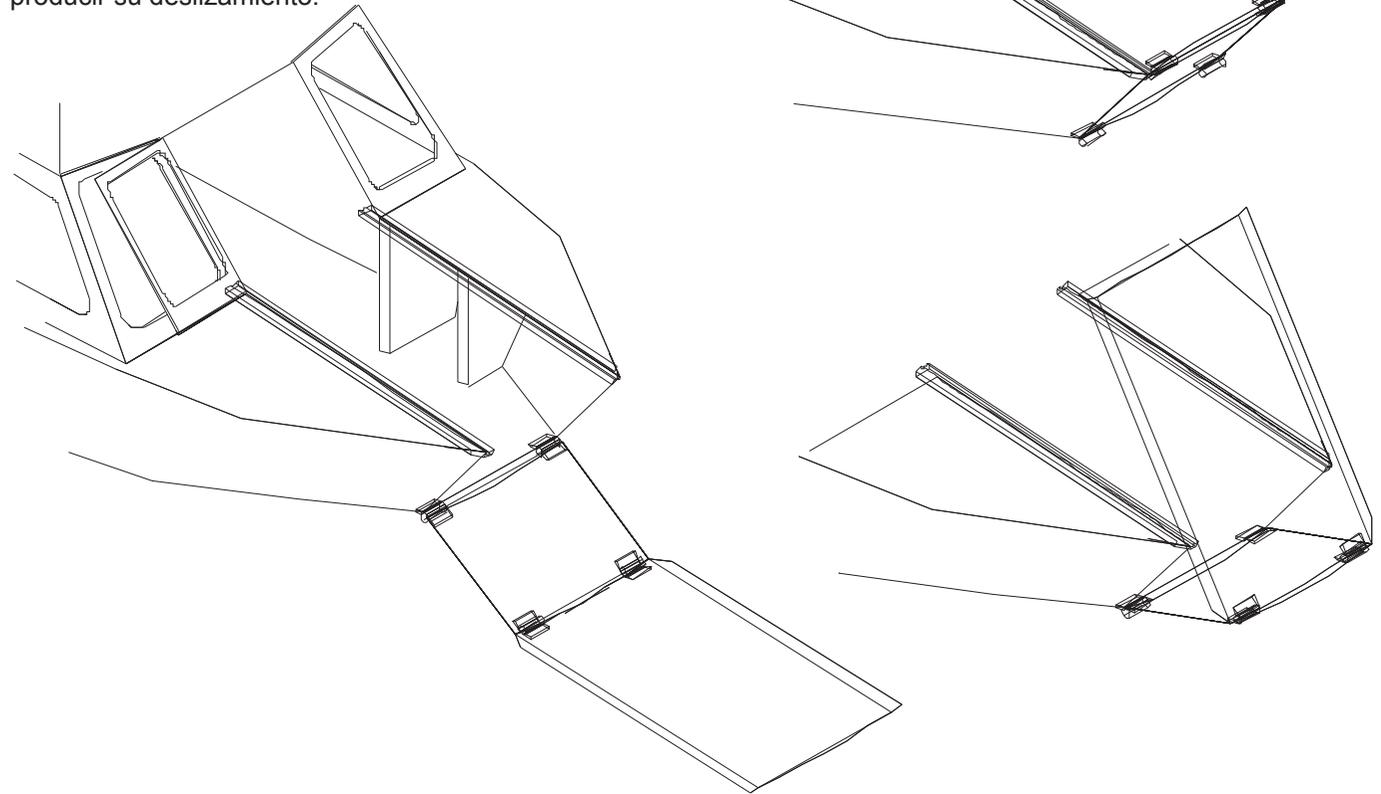
Planos de la estructura



6. Prototipo, despliegue de proa



La proa se despliega para permitir un fácil acceso a la embarcación desde el borde costero, con un ancho y una altura adecuada para abordar con carga hasta una camilla o silla de rueda. Las plataformas que se despliegan son formas por una plano que sobre ella se adhiere otra curva, con estructura interna obteniendo una viga. Se tiene que aislar del agua, integrando canales de evacuación y pendientes en la estructura superior, para producir su deslizamiento.



Conclusiones

De los resultados

Con la realización y pruebas del modelo, se logra obtener una configuración de alas capaz de elevar satisfactoriamente la proa del agua. El ala de popa se calcula para que ésta quede más cercana a la superficie de agua, permitiendo el funcionamiento de un motor fuera de borda.

Pruebas en el estero de Mantagua

De las pruebas realizadas en el canal, la configuración que obtuvo mejores resultados coincidió con las pruebas realizadas en el estero de Mantagua. Allí se calibró la profundidad de los perfiles, así como su ángulo de ataque. La configuración de las alas es en proa, un perfil M5 de doble curvatura en flecha negativa y con un ángulo de ataque de 10° y a 7 centímetros de profundidad. En popa es un perfil Speer H105 recto, con un ángulo de ataque de 6° y a una profundidad de 5 centímetros.

Canal de Pruebas (Valdivia)

En el canal de Valdivia se midieron las velocidades. El modelo con una velocidad de 7 nudos a escala real, se mantiene estable en su dirección, y no sufre escoras. También mantiene una sustentación estable, sin sufrir aumentos ni pérdidas, por lo que el modelo no cabecea.

De lo queda por resolver

Potencia

La potencia es un tema pendiente por no encontrarse en funcionamiento el instrumento que mide el roce en el canal, en el momento en que fueron realizadas las pruebas, es necesario este ensayo, para poder determinar la potencia del motor a emplear. Así mismo determinar la disminución de roce que la embarcación

experimenta al momento del despegue, cuantificando el ahorro energético.

Flujo turbulento

En el modelo no se realizaron pruebas con la variable de la posición longitudinal de las alas. El ala de proa genera una estela que produce un vacío entre ésta y el ala de popa. Se supone, que a pesar que no está afectando la estabilidad y consiguiendo una sustentación adecuada, pueda afectar el rendimiento del ala de popa, creando roce innecesario y sobre todo un flujo turbulento en el motor. Es importante realizar pruebas para determinar la distancia exacta que evite este vacío.

Aumento de velocidad

Unos de los puntos relevantes por resolver es lograr el aumento de la velocidad, conservando la estabilidad de la embarcación. El objetivo de la embarcación con hidroala es que funcione a altas velocidades, por lo que la velocidad estable obtenida en el canal no es suficiente. De los 7 nudos en los que se logra estabilizar la lancha, se debe llegar a 15 nudos como mínimo, siendo la velocidad óptima de 20 nudos. Un modo de lograr que la embarcación desarrolle 20 nudos, es retrasando la velocidad de despegue, se considera de forma general que la velocidad de despegue no debe ser inferior más de 5 nudos respecto a la velocidad máxima capaz de desarrollar la embarcación. Para lograr el incremento de velocidad, se cree que aumentando la profundidad del perfil de proa respecto al casco, la sustentación que produce no será suficiente como para hacer salir el perfil a la superficie, y se produzca una brusca pérdida de sustentación.

Incorporación de alerones

Otra de las medidas a considerar para evitar la violenta

pérdida de sustentación, al aumentar la velocidad, es incorporar a los perfiles un sistema de ángulo de ataque variable, o un sistema de alerones. Así se puede variar la sustentación del perfil al momento del despegue y una vez que la embarcación ha logrado elevarse por sobre el agua, regular el ángulo de ataque disminuyendo la sustentación, evitando que el perfil salga del agua, y por tanto el cabeceo de la embarcación.

Si bien la eficiencia lograda con los flaps es mucho mayor que un cambio de ángulo total del perfil alar, por ser un cambio de perfil alar y no solo de ángulo de ataque.

Se considera conveniente utilizar un sistema de cambio de ángulo de ataque, considerando la complejidad constructiva de un flap, e igualmente efectivo, por el medio en que se desplaza el perfil.

Túnel hidráulico

El canal de pruebas de Valdivia tiene limitaciones en la velocidad de sus pruebas, por lo que no se podrán comprobar en los modelos con hidroalas velocidades mayores de 20 nudos. Por esto se plantea la posibilidad de construir un túnel hidráulico, para realizar pruebas con los perfiles alares y determinar con exactitud los ángulos de ataque para producir la sustentación y estabilidad a altas velocidades.

Consideraciones generales de estabilidad

Garantizar la estabilidad de la embarcación, tanto longitudinal como transversalmente es primordial para la comodidad de los pasajeros.

La incorporación de flaps a los perfiles alares ayudará a mejorar la estabilidad longitudinal de la embarcación.

Controlando la sustentación de los perfiles se posibilita que no sufra violentos cambios. La estabilidad transversal al producir escora en la embarcación pierde sustentación

y dirección. Con flaps que funcionen independientes en babor y estribor se puede corregir la escora y permitir además el giro de la embarcación.

Otra forma de mejorar esta estabilidad transversal es aumentar la envergadura de los perfiles, obteniéndose una mayor superficie y favoreciendo el adrizamiento. Su contraparte es que, a mayor superficie, mayor roce.

Otra posibilidad es incorporar un tipo de alas adicionales ya sea en los perfiles verticales o en el casco de la embarcación, para corregir la escora cuando es muy pronunciada

Estos dispositivos aumentarán la sustentación de la borda que se encuentra en contacto con el agua, haciendo que ésta se levante y pueda adrizar la embarcación, ayudarán también al momento de girar la embarcación.

Otro dispositivo adicional a considerar son los utilizados por las lanchas de planeo, ya que la popa de la lancha no se debe levantar del agua. Así se considera la posibilidad de incorporar un dispositivo longitudinal que varíe el centro de gravedad de la embarcación. Desplazándose a proa cuando se produzca un asiento en la embarcación, de esta forma se asegura que la proa no se levante más de lo necesario y que la popa se levante más fácilmente.

Referencias bibliográficas

I. Encargo

UCV, Escuela de Arquitectura. (1971) Fundamentos de la Escuela de Arquitectura Universidad Católica de Valparaíso. Talleres del Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas. Santiago.

Ivelic, Boris. (2005). Embarcación Amereida y la épica de fundar el mar patagónico. Valparaíso, Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Varios Autores. (1986) Amereida II. Viña del mar, Taller de Investigaciones Gráficas. Escuela de Arquitectura UCV.

III. Fundamento

A. Estudios de la zona

Fundacion Huinay. Investigación y trabajo científico, el Fiordo Comau. 2006. Disponible en: <http://www.huinay.cl/comaue.html>

Fundacion Huinay. Acerca de Huinay, Entorno. 2006. Disponible en: <http://www.huinay.cl/ambiente.html>

Turismo rural Chile. La comuna de Hualaihué y el Volcán Hornopirén. 2008. Disponible en: www.turismoruralchile.cl/zones/hornopiren.htm

CONAF. Parque Nacional Hornopiren. 2006. Disponible en: www.conaf.cl/?seccion_id=edf97c2994943eabf2d7b305aa1f3cc0&unidad=2

B. Embarcación con hidroala

1. Definición

Histamar. 2008. Disponible en: <http://www.histamar.com.ar/InfGral/Hidroalasbas.e.htm>

2. Historia

Histamar. 2008. Disponible en: <http://www.histamar.com.ar/InfGral/Hidroalasbas.e.htm>

The International Hydrofoil Society. Photo Gallery. 2008. Disponible en: <http://foils.org/gallery/index.htm>

Russian hydrofoil. Agosto 2008. <http://www.hydrofoils.org/>

Clark, Dennis J., Ellsworth, William M., Meyer, John R. Abril 2004. The quest for speed at sea. [en línea]. Disponible en: http://foils.org/02_Papers%20downloads/041115NSWCTD_QuestSpeed.pdf

3. Tipos de hidroalas usadas en embarcaciones

The International Hydrofoil Society. 2008. Disponible en: www.foils.org

Histamar. 2008. Disponible en: <http://www.histamar.com.ar/InfGral/Hidroalasbas.e.htm>

Tom Speer's Home Page. 2001. Appendix B: generic hydrofoil trade study. [en línea]. Disponible en: <http://www.tspeer.com/Hydrofoils/generic.pdf>

4. Configuración de las superficies sustentadoras

William C. O'Neill. 2000. Hydrofoil Ship Design. [en línea]. Disponible en: http://foils.org/ONeill_Hyd_Des.pdf

5. Configuración de acuerdo a la distribución de cargas

Meyer, John. 2000. Hydrofoil Design Basic, A Brief Tutorial. [en línea]. Disponible en: <http://www.foils.org/basics.htm>

6. Tipo de embarcaciones con hidroalas

Clark, Dennis J., Ellsworth, William M., Meyer, John R. Abril 2004. The quest for speed at sea. [en línea]. Disponible en: http://foils.org/02_Papers%20downloads/041115NSWCTD_QuestSpeed.pdf

a) Transporte de pasajeros

Russian hydrofoil. Agosto 2008. <http://www.hydrofoils.org/>

Classic fast ferries. Abril 2003. Disponible en: www.classicfastferries.com/

b) Militares

The International Hydrofoil Society. Photo Gallery. 2008. Disponible en: <http://foils.org/gallery/usn.htm>

Clark, Dennis J., Ellsworth, William M., Meyer, John R. Abril 2004. The quest for speed at sea. [en línea]. Disponible en: http://foils.org/02_Papers%20downloads/041115NSWCTD_QuestSpeed.pdf

c) Recreativa

(1) De uso individual con propulsión humana

Free enterprises, hydrofoil. Abril 2008. <http://members.aol.com/jffreeent/hf.htm>

Punpabike. Abril 2008. Disponible en: <http://www.pumpabike.com/Site1/>

(2) De uso individual con motor

The International Hydrofoil Society. Photo Gallery, Dynafoil. 2008. Disponible en: <http://foils.org/gallery/dynafoil.htm>

(3) Veleros con hidroalas

Ian Ward. Diciembre 2004. Developer of the first dinghy foiler, Bifoiler and Unifoiler Moths. [en línea]. Disponible en: <http://foils.org/Ward%20Paper041017.doc>

The International Hydrofoil Society. Photo Gallery. 2008. Disponible en: <http://foils.org/gallery/sail.htm>

(4) Lanchas con hidroalas

Clark, Dennis J., Ellsworth, William M., Meyer, John R. Abril 2004. The quest for speed at sea. [en línea]. Disponible en: http://foils.org/02_Papers%20downloads/041115NSWCTD_QuestSpeed.pdf

The International Hydrofoil Society. Photo Gallery. 2008. Disponible en: <http://foils.org/gallery/sail.htm>

(5) Deportes extremos

Air Chair, hydrofoil water skis. Abril 2008. Disponible en: <http://www.airchair.com/>

7. Desarrollo reciente de embarcaciones con hidroalas

a) Hysucat

Hoppe, K. G. W. Septiembre 2001. Recent Applications of Hydrofoil-Supported-Catamarans. [en línea]. Disponible en: <http://www.hysucraft.com/Publications/RecentApplicationsofHydrofoil-SupportedCatamarans.pdf>

Hysucat. Abril 2004. Disponible en: <http://www.hysucat.net/catamaran/en.html>

Clark, Dennis J., Ellsworth, William M., Meyer, John R. Abril 2004. The quest for speed at sea. [en línea]. Disponible en: http://foils.org/02_Papers%20downloads/041115NSWCTD_QuestSpeed.pdf

b) Swath

Dubrovsky, Victor, Matveev, Konstantin. 2005. Hydrodynamic Aspects of a High-Speed SWATH and a New Hull Form. [en línea]. Disponible en: <http://hrcak.srce.hr/file/1021>

c) Hyswas

The International Hydrofoil Society. Photo Gallery. 2008. Disponible en: <http://foils.org/gallery/index.htm>

Clark, Dennis J., Ellsworth, William M., Meyer, John R. Abril 2004. The quest for speed at sea. [en línea]. Disponible en: http://foils.org/02_Papers%20downloads/041115NSWCTD_QuestSpeed.pdf

8. Desarrollo de embarcaciones con hidroalas en Chile

a) Hysucat Molly

Alwoplas S.A. 2006. Disponible en: <http://www.alwoplast.cl/index.htm>

b) Hysucat, Ferry 54F4 (Fiordos del Sur)

Alwoplas S.A. 2006. Disponible en: <http://www.alwoplast.cl/index.htm>

9. Hidroala como embarcación tradicional

Lanh, Tom. 2003. The Up-Right Hydrofoil Kits. The International Hydrofoil Society. [en línea]. Disponible en: <http://www.foils.org/upright.htm>

The International Hydrofoil Society. Photo Gallery. 2008. Disponible en: <http://foils.org/gallery/index.htm>

The International Hydrofoil Society . 2007. Dynamic developments, inc. Hydrofoil Sea wings, a kit for 14 to 16-foot boats. [en línea]. Disponible en: <http://foils.org/gallery/seawings.jpg>; <http://foils.org/gallery/seawingsinside.jpg>

10. Componentes de una embarcación con hidroalas

a) Casco

William C. O`Neill. 2000. Hydrofoil Ship Design. [en línea]. Disponible en: http://foils.org/ONeill_Hyd_Des.pdf

b) Perfil sustentador y vertical

William C. O`Neill. 2000. Hydrofoil Ship Design. [en línea]. Disponible en: http://foils.org/ONeill_Hyd_Des.pdf

11. Consideraciones de diseño

Eric Besnard, Adeline Schmitz, Kalle Kaups y George Tzong. 1998. Hydrofoil design and optimization for fast ships. [en línea]. Disponible en: www.csulb.edu/colleges/coe/ae/ae_dept/images/pdf/asme_paper.pdf

Clark, Dennis J., Ellsworth, William M., Meyer, John R. Abril 2004. The quest for speed at sea. [en línea]. Disponible en: http://foils.org/02_Papers%20downloads/041115NSWCTD_QuestSpeed.pdf

a) Peso

Clark, Dennis J., Ellsworth, William M., Meyer, John R. Abril 2004. The quest for speed at sea. [en línea]. Disponible en: http://foils.org/02_Papers%20downloads/041115NSWCTD_QuestSpeed.pdf

b) Propulsión

William C. O`Neill. 2000. Hydrofoil Ship Design. [en línea]. Disponible en: http://foils.org/ONeill_Hyd_Des.pdf

Clark, Dennis J., Ellsworth, William M., Meyer, John R. Abril 2004. The quest for speed at sea. [en línea]. Disponible en: http://foils.org/02_Papers%20downloads/041115NSWCTD_QuestSpeed.pdf

c) Estabilidad

William C. O`Neill. 2000. Hydrofoil Ship Design. [en línea]. Disponible en: http://foils.org/ONeill_Hyd_Des.pdf

Tom Speer's Home Page. 2001. Appendix B: generic hydrofoil trade study. [en línea]. Disponible en: <http://www.tspeer.com/Hydrofoils/generic.pdf>

d) Oleaje

Marveev, K y Duncan, R. 2004. Development of the Tool for Predicting Hydrofoil System Performance and Simulating Motion of Hydrofoil-Assisted Boats. [en línea]. Disponible en:

http://www.foils.org/02_Papers%20downloads/Matveev%20-%20Tool%20for%20Predicting%20Performance.pdf

e) Cavitación

Departamento de ingeniería mecánica. 2007. Introducción mecánica de fluidos. Apuntes 2º cuatrimestre, clases 2. Universidad de Buenos Aires. [en línea]. Disponible en: <http://www.fi.uba.ar/materias/6718/>

Russian hydrofoil. Agosto 2008. <http://www.hydrofoils.org/>

f) Interferencia

William C. O`Neill. 2000. Hydrofoil Ship Design. [en línea]. Disponible en: http://foils.org/ONeill_Hyd_Des.pdf

C. Estudios teóricos

1. Magnitudes físicas

Julio Gratton. 2006. Mecánica, magnitudes físicas. [en línea]. Disponible en: www.lfp.uba.ar/Julio_Gratton/mecanica/02.Magnitudes.pdf

a) Unidades y dimensiones de las magnitudes

Julio Gratton. 2006. Mecánica, magnitudes físicas. [en línea]. Disponible en: www.lfp.uba.ar/Julio_Gratton/mecanica/02.Magnitudes.pdf

(1) Magnitudes adimensionales

Julio Gratton. 2006. *Mecánica, magnitudes físicas*. [en línea]. Disponible en: www.lfp.uba.ar/Julio_Gratton/mecanica/02.Magnitudes.pdf

(a) Numero de mach

ONI. Tecnología. 2000. Disponible en: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/BUENOS_AIRES/62/tecnolog/alas.htm

(b) Numero de Reynolds

Arsystel, Curso de vuelo. 2005. Disponible en: http://usuarios2.arsystel.com/antomarto/curso_vuelo.htm

E. Seoane & MC Nóvoa. 1999. *Análisis dimensional y teoría de modelo, Apuntes de química técnica, Tema III*. [en línea]. Disponible en: <http://perso.wanadoo.es/eseoane/tema3.htm>

b) Propiedades geométricas de las magnitudes físicas

Julio Gratton. 2006. *Mecánica, magnitudes físicas*. [en línea]. Disponible en: www.lfp.uba.ar/Julio_Gratton/mecanica/02.Magnitudes.pdf

c) Simetría de escala

Julio Gratton. 2006. *Mecánica, magnitudes físicas*. [en línea]. Disponible en: www.lfp.uba.ar/Julio_Gratton/mecanica/02.Magnitudes.pdf

E. Seoane & MC Nóvoa. 1999. *Análisis dimensional y teoría de modelo, Apuntes de química técnica, Tema III*. [en línea]. Disponible en: <http://perso.wanadoo.es/eseoane/tema3.htm>

d) Semejanza geométrica

Julio Gratton. 2006. *Mecánica, magnitudes físicas*. [en línea]. Disponible en: www.lfp.uba.ar/Julio_Gratton/mecanica/02.Magnitudes.pdf

E. Seoane & MC Nóvoa. 1999. *Análisis dimensional y teoría de modelo, Apuntes de química técnica, Tema III*. [en línea]. Disponible en: <http://perso.wanadoo.es/eseoane/tema3.htm>

e) Semejanza física

Julio Gratton. 2006. *Mecánica, magnitudes físicas*. [en línea]. Disponible en: www.lfp.uba.ar/Julio_Gratton/mecanica/02.Magnitudes.pdf

f) Teoría de modelo

E. Seoane & MC Nóvoa. 1999. *Análisis dimensional y teoría de modelo, Apuntes de química técnica, Tema III*. [en línea]. Disponible en: <http://perso.wanadoo.es/eseoane/tema3.htm>

2. Perfil alar

a) Principios físicos

(1) Teorema de Bernouilli

Arsystel, Curso de vuelo. 2005. Disponible en: http://usuarios2.arsystel.com/antomarto/curso_vuelo.htm

M. A. Muñoz, Manual de vuelo. 2001. Disponible en: <http://www.manualvuelo.com/index.htm>

Delegación de estudiantes Universidad politécnica de Catalunya. 2006. *Introducción al vuelo a vela, aerodinámica*. [en línea]. Disponible en: http://delegetseiat.upc.es/vela/apunts/vuelo_a_vela_aerodinamica.pdf

(2) Efecto Venturi

Delegación de estudiantes Universidad politécnica de Catalunya. 2006. *Introducción al vuelo a vela, aerodinámica*. [en línea]. Disponible en: http://delegetseiat.upc.es/vela/apunts/vuelo_a_vela_aerodinamica.pdf

M. A. Muñoz, Manual de vuelo. 2001. Disponible en: <http://www.manualvuelo.com/index.htm>

(3) Leyes de Newton

Delegación de estudiantes Universidad politécnica de Catalunya. 2006. *Introducción al vuelo a vela, aerodinámica*. [en línea]. Disponible en: http://delegetseiat.upc.es/vela/apunts/vuelo_a_vela_aerodinamica.pdf

Anderson Giraldo y Carlos Andres Mesa. *Aerodinámica*. 2002. Freeservers. <http://dpacolombia.8k.com/html/aerodinamic.htm>

M. A. Muñoz, Manual de vuelo. 2001. Disponible en: <http://www.manualvuelo.com/index.htm>

b) Capa limite

Delegación de estudiantes Universidad politécnica de Catalunya. 2006. Introducción al vuelo a vela, aerodinámica. [en línea]. Disponible en: http://deleg-etsaiat.upc.es/vela/apunts/vuelo_a_vela_aerodinamica.pdf.

Arsystel, Curso de vuelo. 2005. Disponible en: http://usuarios2.arsystel.com/antomarto/curso_vuelo.htm

c) Introducción a los perfiles hidrodinámicos

Delegación de estudiantes Universidad politécnica de Catalunya. 2006. Introducción al vuelo a vela, aerodinámica. [en línea]. Disponible en: http://deleg-etsaiat.upc.es/vela/apunts/vuelo_a_vela_aerodinamica.pdf.

Wikipedia. 2001. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Ala_\(aeron%C3%A1utica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Ala_(aeron%C3%A1utica))

ONI. Tecnología, Alas y perfiles alares. 2000. Página web Olimpiada nacional de contenido educativo en Internet. 1997. http://www.oni.esuelas.edu.ar/2003/BUENOS_AIRES/62/tecnolog/alas.htm

Departamento de ingeniería mecánica Universidad de Buenos Aires. 2007. Unidad 4, Compresores axiales. Teoría alar. Efectos viscosos. Pérdidas.

Performance. Apuntes cátedra 1º cuatrimestre. [en línea]. Disponible en: www.fi.uba.ar/materias/6720/

Arsystel, Curso de vuelo. 2005. Disponible en: http://usuarios2.arsystel.com/antomarto/curso_vuelo.htm

d) Tipos de perfiles

Delegación de estudiantes Universidad politécnica de Catalunya. 2006. Introducción al vuelo a vela, aerodinámica. [en línea]. Disponible en: http://deleg-etsaiat.upc.es/vela/apunts/vuelo_a_vela_aerodinamica.pdf.

Arsystel, Curso de vuelo. 2005. Disponible en: http://usuarios2.arsystel.com/antomarto/curso_vuelo.htm

e) Clasificación Naca

Aerospacweb. org. 2006. The NACA airfoil serie. [en línea]. Disponible en: www.aerospacweb.org/question/airfoils/q0041.shtml

ONI. Tecnología. 2000. Disponible en: http://www.oni.esuelas.edu.ar/2003/BUENOS_AIRES/62/tecnolog/alas.htm

f) Angulo de ataque

Delegación de estudiantes Universidad politécnica de Catalunya. 2006. Introducción al vuelo a vela, aerodinámica. [en línea]. Disponible en: [http://deleg-](http://deleg-etsaiat.upc.es/vela/apunts/vuelo_a_vela_aerodinamica.pdf)

[etsaiat.upc.es/vela/apunts/vuelo_a_vela_aerodinamica.pdf](http://deleg-etsaiat.upc.es/vela/apunts/vuelo_a_vela_aerodinamica.pdf).

ONI. Tecnología. 2000. Disponible en: http://www.oni.esuelas.edu.ar/2003/BUENOS_AIRES/62/tecnolog/alas.htm

Arsystel, Curso de vuelo. 2005. Disponible en: http://usuarios2.arsystel.com/antomarto/curso_vuelo.htm

M. A. Muñoz, Manual de vuelo. 2001. Disponible en: <http://www.manualvuelo.com/index.htm>

g) Fuerzas ejercidas

(1) Sustentación

Delegación de estudiantes Universidad politécnica de Catalunya. 2006. Introducción al vuelo a vela, aerodinámica. [en línea]. Disponible en: http://deleg-etsaiat.upc.es/vela/apunts/vuelo_a_vela_aerodinamica.pdf.

ONI. Tecnología. 2000. Disponible en: http://www.oni.esuelas.edu.ar/2003/BUENOS_AIRES/62/tecnolog/alas.htm

Departamento de ingeniería mecánica Universidad de Buenos Aires. 2007. Unidad 4, Compresores axiales. Teoría alar. Efectos viscosos. Pérdidas. Performance. Apuntes cátedra 1º cuatrimestre. [en línea]. Disponible en: www.fi.uba.ar/materias/6720/

Veleros y electrónicos RC. 2002. *Introducción a la aerodinámica*. [en línea]. Disponible en: <http://www.infolaser.net/franpr/tecnica/aerodinamica/aerodinamica.html>

Pedro Fernández, Iván Fernández, Pedro R. Fernández. 2002. *Mecánica de fluidos, VIII teoría elemental de la capa límite bidimensional*. [en línea]. Disponible en: <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/MecanicaFluidos/PDFs/8MecFluidos.pdf>

Anderson Giraldo y Carlos Andres Mesa. 2002. *Aerodinámica*. [en línea]. Disponible en: <http://dpacolombia.8k.com/html/aerodinamic.htm>

M. A. Muñoz, Manual de vuelo. 2001. Disponible en: <http://www.manualvuelo.com/index.htm>

(2) Resistencia

Delegación de estudiantes Universidad politécnica de Catalunya. 2006. *Introducción al vuelo a vela, aerodinámica*. [en línea]. Disponible en: http://delegetseiat.upc.es/vela/apunts/vuelo_a_vela_aerodinamica.pdf

ONI. Tecnología. 2000. Disponible en: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/BUENOS_AIRES/62/tecnologia/alas.htm

Departamento de ingeniería mecánica Universidad de Buenos Aires. 2007. *Unidad 4, Compresores axiales. Teoría alar. Efectos viscosos. Pérdidas. Performance*. Apuntes cátedra 1º cuatrimestre. [en línea]. Disponible en: www.fi.uba.ar/materias/6720/

Veleros y electrónicos RC. 2002. *Introducción a la aerodinámica*. [en línea]. Disponible en: <http://www.infolaser.net/franpr/tecnica/aerodinamica/aerodinamica.html>

M. A. Muñoz, Manual de vuelo. 2001. Disponible en: <http://www.manualvuelo.com/index.htm>

h) Diagrama polar

Delegación de estudiantes Universidad politécnica de Catalunya. 2006. *Introducción al vuelo a vela, aerodinámica*. [en línea]. Disponible en: http://delegetseiat.upc.es/vela/apunts/vuelo_a_vela_aerodinamica.pdf

Departamento de ingeniería mecánica Universidad de Buenos Aires. 2007. *Unidad 4, Compresores axiales. Teoría alar. Efectos viscosos. Pérdidas. Performance*. Apuntes cátedra 1º cuatrimestre. [en línea]. Disponible en: www.fi.uba.ar/materias/6720/

Veleros y electrónicos RC. 2002. *Introducción a la aerodinámica*. [en línea]. Disponible en: <http://www.infolaser.net/franpr/tecnica/aerodinamica/aerodinamica.html>

i) Desplazamiento del centro de empuje

Delegación de estudiantes Universidad politécnica de Catalunya. 2006. *Introducción al vuelo a vela, aerodinámica*. [en línea]. Disponible en: http://delegetseiat.upc.es/vela/apunts/vuelo_a_vela_aerodinamica.pdf

Veleros y electrónicos RC. 2002. *Introducción a la aerodinámica*. [en línea]. Disponible en: <http://www.infolaser.net/franpr/tecnica/aerodinamica/aerodinamica.html>

M. A. Muñoz, Manual de vuelo. 2001. Disponible en: <http://www.manualvuelo.com/index.htm>

(1) Ubicación del centro de empuje

Veleros y electrónicos RC. 2002. *Introducción a la aerodinámica*. [en línea]. Disponible en: <http://www.infolaser.net/franpr/tecnica/aerodinamica/aerodinamica.html>

Carlos López. 2001. *El centro de gravedad*. [en línea]. Disponible en: <http://www.rcnoticias.com/juanchi/cg.html>

j) Planta del ala

M. A. Muñoz, Manual de vuelo. 2001. Disponible en: <http://www.manualvuelo.com/index.htm>

k) Forma en planta de las alas

ONI. Tecnología. 2000. Disponible en: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/BUENOS_AIRES/62/tecnologia/alas.htm

Wikipedia. 2001. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Ala_\(aeron%C3%A1utica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Ala_(aeron%C3%A1utica))

Arsystel, Curso de vuelo. 2005. Disponible en: http://usuarios2.arsystel.com/antomarto/curso_vuelo.htm

M. A. Muñoz, Manual de vuelo. 2001. Disponible en: <http://www.manualvuelo.com/index.htm>

ONI. Tecnología. 2000. Disponible en: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/BUENOS_AIRES/62/tecnolog/alas.htm

Alberto García Pérez. 2004. *Aeronáutica, configuración y tipos de ala*. [en línea]. Disponible en: <http://asficheros.org/aeronautica/aeronautica2003/a07.htm>

l) Ala en flecha invertida

Wikipedia. 2001. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Ala_en_flecha_invertida

Archytas. 1994. *Aerodinámica nº13, diferentes tipos de ala, parte 2*. [en línea]. Disponible en: <http://www.aeroespacio.com.ar/%20577/site/aerodinamica.htm>

m) Diedros

Delegación de estudiantes Universidad politécnica de Catalunya. 2006. *Introducción al vuelo a vela, aerodinámica*. [en línea]. Disponible en: http://deleg-etseiat.upc.es/vela/apunts/vuelo_a_vela_aerodinamica.pdf.

M. A. Muñoz, Manual de vuelo. 2001. Disponible en: <http://www.manualvuelo.com/index.htm>

Rolando Tamayo. 2007. *Aerodinámica, sección B estabilidad*. [en línea]. Disponible en:

<http://www.sdfir.com/Downloads/Pilot%20Training/AERODINAMICA%20Seccion%20B%20FIR.pdf>

3. Estabilidad

Guerrero, Boris. 2006. Curso de estabilidad. Magíster náutico y marítimo. Universidad Católica de Valparaíso.

Departamento de ingeniería mecánica Universidad de Buenos Aires. 2007. *Unidad 4, Compresores axiales. Teoría alar. Efectos viscosos. Pérdidas. Performance*. Apuntes cátedra 1° cuatrimestre. [en línea]. Disponible en: www.fi.uba.ar/materias/6720/

IV. Resultados

D. Primer modelo

2. Calculo de sustentación

a) Eppler 818

Dayton A. Griffin. 2000. *NREL Advanced Research Turbina (ART) Aerodynamic Design of ART-2B Rotor Blades*. [en línea]. Disponible en: www.nrel.gov/docs/fy00osti/28473.pdf

b) Naca Munk-6

George J. Higns. 1927. *The characteristics of the N.A.C.A 97, Clark Y, and N.A.C.A M-6 airfoils with particular referente to angle o attack*. [en línea]. Disponible en: <http://naca.central.cranfield.ac.uk/reports/1927/naca-tn-270.pdf>

G. Segundo modelo

2. Perfiles alares

a) Eppler 818

Dayton A. Griffin. 2000. *NREL Advanced Research Turbina (ART) Aerodynamic Design of ART-2B Rotor Blades*. [en línea]. Disponible en: www.nrel.gov/docs/fy00osti/28473.pdf

b) Naca Munk-6

George J. Higns. 1927. *The characteristics of the N.A.C.A 97, Clark Y, and N.A.C.A M-6 airfoils with particular referente to angle o attack*. [en línea]. Disponible en: <http://naca.central.cranfield.ac.uk/reports/1927/naca-tn-270.pdf>

c) Speer H105

Thomas E. Speer. 1999. *Low Reynolds Number Hydrofoils*. [en línea]. Disponible en: <http://www.tspeer.com/Hydrofoils/h105/h105.htm>