



Universidad Politécnica de Cartagena
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica
Ingeniería Técnica Naval, Esp. Estructuras Marinas

PROYECTO FIN DE CARRERA

DISEÑO BÁSICO, MATERIALES Y
MÉTODO DE FABRICACIÓN DEL
CASCO DE UNA EMBARCACIÓN
DE PLANEADO

Rosa Rodríguez Paniagua

Departamento: Ingeniería de materiales y fabricación

Junio, 2012.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	5
CAPÍTULO I. PLANEADORES.....	7
1.1) PLANEADORES.....	8
1.2) TIPOS DE FORMAS DE PLANEADORES.....	10
1.3) PRINCIPIOS FUNDAMENTALES A LA HORA DE PROYECTAR LAS FORMAS.....	11
1.3.1) Forma de las secciones de carena	
1.3.2) Perfil longitudinal	
1.3.3) Astilla muerta	
1.3.4) Forma en planta del codillo	
1.3.5) Otros parámetros de importancia	
1.3.6) Recomendaciones para mejorar la estabilidad de ruta	
CAPÍTULO II. DISEÑO DE LA EMBARCACIÓN.....	22
2.1) DISEÑO DE LA EMBARCACIÓN. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA.....	23
2.1.1) Eslora	
2.1.2) Manga	
2.1.3) Óptima relación calidad/precio	
2.1.4) Categoría de diseño	
2.1.5) Zona de navegación	
2.1.6) Relación entre categoría de diseño, zona de navegación y títulos	
2.1.7) Autonomía	
2.1.8) Coste de matriculación	
2.1.9) Desplazamiento y motorización	
CAPÍTULO III. DISEÑO DE LAS FORMAS.....	38
3.1) LA CARENA.....	39
3.2) LA QUILLA.....	39
3.3) FLAPS.....	40



3.4) ASTILLA MUERTA.....	40
3.5) REDANES.....	41
3.6) FORMAS DEL CASCO.....	42
CAPÍTULO IV. MATERIAL DEL CASCO: PLANEADORES.....	44
4.1) MATERIAL DEL CASCO.....	45
4.2) ACERO.....	46
4.3) ALEACIONES DE ALUMINIO.....	47
4.4) MATERIALES COMPUESTOS.....	48
4.4.1) Fibra de vidrio	
4.4.2) Aramida	
4.4.3) Carbono	
4.4.4) Polietileno	
4.4.5) Poliéster	
4.4.6) Boro	
4.4.7) Fibras naturales	
CAPÍTULO V. EL CASCO: PLÁSTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO.....	56
5.1) PLÁSTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO.....	57
5.2) COMPOSICIÓN.....	58
5.2.1) Refuerzos de vidrio	
5.2.2) Resinas	
5.2.3) Aceleradores y catalizadores	
5.3) PRECAUCIONES.....	63
5.4) VENTAJAS Y DEVENTAJAS DE LA CONSTRUCCIÓN EN PRF.....	64
5.5) MÉTODOS DE MOLDEO.....	66
5.4.1) Moldeo por contacto	
5.4.2) Moldeo por preformado	
5.4.3) Moldeo por bobinado	
5.4.4) Saco de vacío	
5.4.5) Saco de presión	



- 5.4.6) Matrices metálicas
- 5.4.7) Pultrusión
- 5.4.8) Colada centrífuga
- 5.4.9) Laminado continuo
- 5.4.10) Preimpregnado
- 6.4.11) Laminado sandwich por vacío

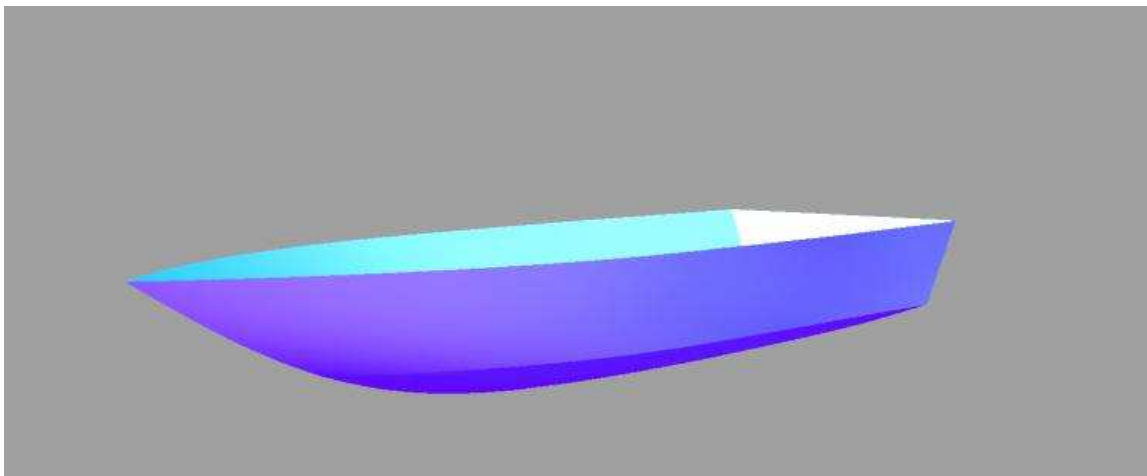
CAPÍTULO VI. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL CASCO.....	73
6.1) EL TALLER.....	74
6.2) MODELO DEL CASCO.....	75
6.3) EL MOLDE.....	76
ANEXO I. PLANEADORES.....	78
1.1) CONDICIONES DE PLANEAMIENTO.....	79
1.2) FLUJO Y PRESIONES EN EL CASCO DE UN PLANEADOR.....	85
1.3) RESISTENCIA AL AVANCE DE UN PLANEADOR.....	86
ANEXOII. ESTABILIDAD EN PLANEADORES.....	88
2.1) INESTABILIDAD DINÁMICA DE LOS PLANEADORES.....	89
2.2) CONTROL DEL TRIMADO DINÁMICO.....	92
2.3) COMPORTAMIENTO EN LA MAR.....	95
BIBLIOGRAFÍA.....	98



INTRODUCCIÓN

El presente proyecto expone el diseño básico de una embarcación rápida de 7,4m de eslora para cuyo material del casco se ha seleccionado previamente el plástico reforzado con fibra de vidrio. Se realiza su diseño junto con un estudio del material del casco y el procedimiento de construcción del mismo.

Los planeadores son las embarcaciones rápidas más simples y extendidas por todo el mundo. Estas embarcaciones, antes consideradas demasiado pesadas, de navegaciones incómodas o carentes de la suficiente potencia, ahora han superado estos problemas al hacerse técnica y económicamente accesible su construcción en materiales ligeros.



Estas embarcaciones se diseñan para que se genere en su fondo una sustentación dinámica que crezca con la velocidad, elevándose así la embarcación, parcial o totalmente, por encima de su flotación en reposo. Destaca el caso frecuente de embarcaciones de planeo de competición, en que la sustentación dinámica soporta



prácticamente el peso total del planeador, apareciendo la embarcación totalmente fuera del agua.

El diseño del planeador viene estructuralmente gobernado por los efectos de los posibles impactos con las olas y de las aceleraciones inducidas por sus movimientos. Para la fabricación y construcción de cascos ligeros lo suficientemente resistentes, generalmente, no se requieren técnicas demasiado sofisticadas e incluso para construir dichos cascos se puede seguir en gran medida los procesos normales de construcción de los astilleros.

Por todo esto, son numerosos los astilleros interesados en construir este tipo de embarcaciones rápidas en las que destaca el menor coste intrínseco de la embarcación con respecto a otros vehículos especiales, generando así una competencia más fuerte junto con una mayor experiencia y documentación sobre el diseño y construcción de este tipo de embarcaciones.



CAPÍTULO I. PLANEADORES



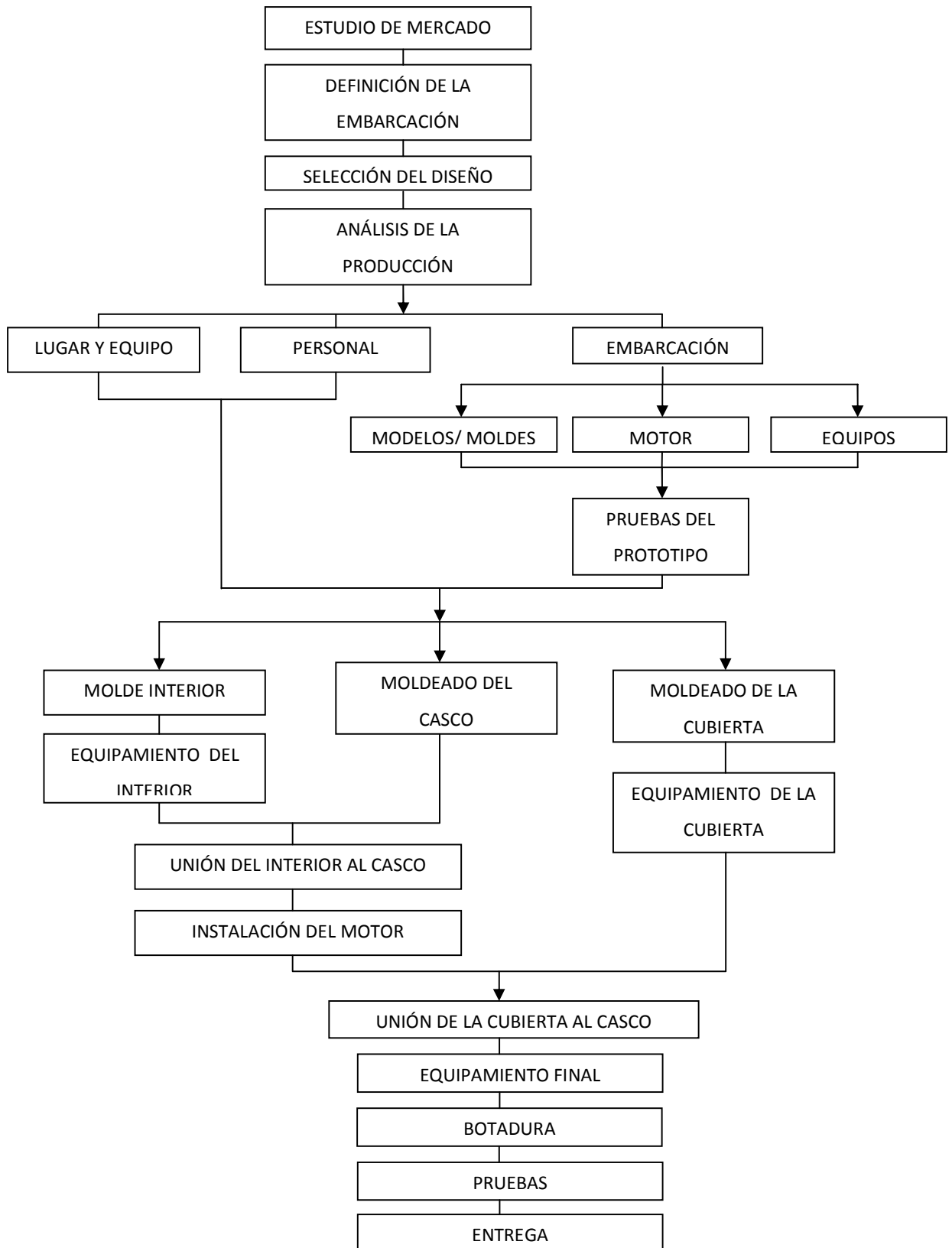
1.1. PLANEADORES:

Actualmente están al alcance de cualquier armador. Se trata de embarcaciones de planeo con un comportamiento en el mar satisfactorio para su tamaño sin que se penalice demasiado la máxima velocidad alcanzable en aguas tranquilas. Los planeadores actuales han vencido los problemas de las “jorobas de resistencia” que se explican más adelante, haciendo posible mayores capacidades de carga y un cierto potencial para alcanzar desplazamientos importantes.

Se recuerda que incluso para la construcción del planeador más sencillo, se ha de establecer un control riguroso de pesos con el que muchos astilleros no están familiarizados. En caso contrario, existirán muchas probabilidades de que se produzcan fracasos y sorpresas desagradables durante las pruebas de mar.

La importancia de este control de pesos, tanto en magnitud como en posición del centro de gravedad de la embarcación, se apreciará claramente al entender como se genera la sustentación dinámica en el fondo de los planeadores.

El proceso a seguir por la empresa para la producción del planeador o cualquier otra embarcación puede expresarse a través del esquema mostrado en la siguiente página.





1.2. TIPOS DE FORMAS DE PLANEADORES:

Se puede decir que, en general, las formas de cualquier planeador han de tener unas características determinadas:

- a) Han de tener popas de espejo.
- b) Los longitudinales de popa han de ser rectos o poco curvados con una suave pendiente ascendente hasta morir en el espejo, salvo que haya que corregirlo en el extremo de popa para controlar el asiento dinámico del planeador. Así se evitan presiones negativas en popa, se minimiza la separación del flujo del casco, y se consigue una separación clara y limpia del flujo en el espejo con lo que éste quedará seco a las velocidades de planeo.
- c) Se han de disponer medios pasivos o activos para controlar el trimado dinámico (cuñas de popa estructurales o postizas o flaps).
- d) Controlar la superficie mojada, limitándola, para conseguir la separación neta del flujo por medio de codillos estructurales, junquillos anti-spray, junquillos de fondo, escalones transversales, etc.
- e) Quillotes centrales para suministrar área de deriva, de la que suelen andar escasos los planeadores, para mejorar su estabilidad de rumbo aún a costa de aumentar la superficie mojada y con ello la resistencia al avance.
- f) La astilla muerta suele ir creciendo de popa hasta proa. Esta variación de la astilla muerta con la eslora suele marcar mucho las prestaciones de un proyecto tanto en aguas tranquilas como en olas.

Se puede intuir que la generación de la sustentación dinámica en el fondo de los planeadores dependerá, más de los coeficientes o las relaciones adimensionales de forma que se manejan en el diseño de embarcaciones convencionales, de la forma de las secciones transversales y de los cortes longitudinales a los que éstas dan lugar.



Así, dependiendo principalmente de la velocidad máxima de proyecto del planeador, se decidirán las formas más adecuadas para la embarcación existiendo en principio los dos grandes grupos de planeadores:

➤ **Planeadores de sección transversal redondeada, de pantoque redondeado, o de semidesplazamiento (round bilge):**

Son adecuadas, normalmente, para navegar a números de Froude comprendidos entre 0,50 y 1,00 aproximadamente. Sus flotaciones deben ser finas y rectas. Las curvas de áreas del cuerpo de popa suelen ser también rectas.

Las secciones de proa tienen bastante astilla muerta y han de llenarse inmediatamente por encima de la flotación para proporcionar volumen frente al cabeceo de la embarcación, lo que suele dar lugar a cuadernas convexas que, como se ha señalado anteriormente, se han de dotar de junquillos anti-spray para controlar la superficie mojada y evitar la aparición de presiones negativas.

➤ **Planeadores de sección transversal recta o poco curvada con uno o más codillos pronunciados (hard chine):**

Se suelen diseñar para navegar a números de Froude máximos superiores a 1,00. Se caracterizan por grandes ángulos de entrada en la flotación; astilla muerta creciente hacia proa para reducir los efectos de los pantocazos y aumentar el área de deriva. Longitudinales rectos en popa para evitar presiones negativas en el fondo y para favorecer la separación del flujo.

Los longitudinales en popa han de ser más rectos y los espejos de popa más anchos y profundos que los de otros planeadores más lentos. Los planeadores de codillo pronunciado tienen un mayor amortiguamiento de balance que los de pantoque redondeado.



La principal característica de un planeador es la consecución de una separación efectiva del flujo no sólo en el espejo de popa sino también en los costados. Esto último se logra empleando codillos pronunciados o disponiendo correctamente junquillos anti-spray o de fondo que hagan esta separación compatible con secciones de mayor astilla muerta o más redondeadas.

A veces se instalan, en planeadores de velocidades muy altas, a popa de la línea de estancamiento, escalones transversales que reducen la superficie mojada dejando seca una porción del fondo del planeador.

Se insiste en el hecho de que las formas de las embarcaciones de planeo deben proyectarse para minimizar la superficie mojada, ya que una vez superado el máximo de la curva resistencia-velocidad, la mayor parte de la resistencia al avance vuelve a ser, igual que a velocidades muy bajas, principalmente de carácter friccional.

Aunque una superficie plana es la más eficiente para el planeo, deberá disponerse siempre de una cierta astilla muerta para proporcionar a las embarcaciones gobernabilidad, estabilidad de ruta y seguridad en las viradas. Una astilla muerta aún mayor será necesaria, sobre todo en proa, si el comportamiento en la mar es prioritario en el proyecto y si la probabilidad de sufrir pantocazos de fondo es considerable.

En la actualidad los dos tipos clásicos de formas de secciones de los planeadores convergen hacia una solución común en la que se quieren aunar un buen comportamiento, tanto en aguas tranquilas como en la mar, con una cierta facilidad de construcción. Estas formas combinan rodillos estructurales con junquillos postizos tanto de spray como de fondo, y hacen constructivamente sencillo el aumento de la astilla muerta de las secciones desde popa hasta proa (warping) manteniéndose, generalmente, la astilla muerta constante a lo largo de todo el cuerpo de popa.



1.3. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES A LA HORA DE PROYECTAR LAS FORMAS:

A la hora de proyectar un planeador tendremos, por orden de importancia, los siguientes principios fundamentales que se han de tener en cuenta:

1.3.1) FORMA DE LAS SECCIONES DE CARENA

A) Secciones de codillo pronunciado:

-Transversales convexas:

Las secciones convexas dan lugar a embarcaciones “más mojadas” por lo que requieren junquillos anti-spray. Tienen buen comportamiento estructural por lo que la embarcación puede requerir menores escantillones y resultar algo más ligera.

Al aumentar la velocidad y levantarse el casco, la astilla muerta efectiva disminuye y, por tanto, aumenta la componente vertical de la sustentación.

-Transversales cóncavas:

Las secciones cóncavas se comportan de manera opuesta a las convexas. Normalmente, proporcionan navegaciones más secas que las secciones convexas.

Al aumentar la velocidad y levantarse el casco, la astilla muerta efectiva aumenta con lo que disminuye la componente vertical de la sustentación. A igualdad de sustentación, las secciones cóncavas necesitan más superficie mojada que las convexas. La estabilidad transversal se ve perjudicada por valores bajos de la manga mojada.

Las secciones cóncavas dan lugar a fondos cerca de los codillos bastante horizontales lo que facilitará la probabilidad de impactos de fondo.



-Transversales rectas o en "V":

Las embarcaciones con secciones transversales rectas tienen los defectos de las dos anteriores: Son secciones mojadas con fuertes y frecuentes impactos de fondo. Aun así, parece despreciarse este hecho dado que estas formas resultan bastante comunes dada su mayor facilidad de construcción.

Si tienen una gran astilla muerta pueden dotarse de dos junquillos o de varios junquillos de fondo para planear a baja velocidad sobre una superficie grande y a alta velocidad sobre una pequeña, reduciendo así la superficie mojada.

-Transversales de campana invertida:

Secciones de campana invertida o de fuerza constante poseen la quilla redondeada lo que reduce mucho los impactos de fondo pero origina una gran inestabilidad de ruta, por lo que resulta conveniente la instalación de un quillote central para romper el flujo transversal.

Si el abanico queda demasiado horizontal pueden darse en él impactos severos.

B) Secciones de formas redondeadas:

La instalación de junquillos anti-spray resulta inexcusable. Además de controlar y reducir la superficie mojada, ayudan a que los planeadores no hundan demasiado la proa.

Hay que buscar el equilibrio en la distribución de astilla muerta en el cuerpo de proa. Poca astilla muerta aumenta la severidad de impactos; debemos procurar que justo por encima de la flotación las secciones abran suavemente para dar volumen en proa.

Una embarcación de formas redondas podría planear con menos resistencia al avance que una de codillos pronunciados en aguas tranquilas. La causa de este



hecho puede ser la diferencia del trimado óptimo en cada caso, que suele ser mayor en las embarcaciones redondas.

1.3.2) PERFIL LONGITUDINAL

Los perfiles de la quilla y de los longitudinales de los planeadores pueden ser convexos, cóncavos o rectos, dando lugar a diferentes comportamientos durante la navegación.

A) Quillas convexas:

Para conseguir un cierto trimado medio, el ángulo de incidencia del flujo sobre una quilla convexa será mayor que sobre una quilla recta. Esto originará una distribución longitudinal de presiones más picuda con su máximo hacia proa, y una mayor resistencia a igualdad del resto de parámetros.

Si aumenta la velocidad del planeador se levantará con lo que la quilla cortará a la superficie más a popa con lo que se reducirá el ángulo de incidencia y, por lo tanto, la sustentación.

Por ello, las velocidades más altas requerirán trimados mayores, y con ello la tendencia al porpoising también aumentará. Por el contrario, en los casos que se haya de operar a altas velocidades y el trimado resultante sea excesivamente bajo, convendría curvar el final de los longitudinales hacia arriba para aumentar este trimado (rockers).

B) Quillas cóncavas:

En este caso, para conseguir un cierto trimado medio el ángulo de incidencia del flujo sobre una quilla cóncava será menor que sobre una quilla recta, lo que originará una distribución longitudinal de presiones menos picuda con el máximo más bien hacia popa y altas velocidades relativamente bajas.

Si aumenta la velocidad, el planeador se levantará con lo que la quilla cortará a la superficie más a popa con lo que aumentará el ángulo de incidencia. Para



mantener el equilibrio, el trimado del planeador deberá reducirse aumentándose así la superficie mojada y con ello la resistencia de fricción.

Como anteriormente se ha visto, la navegación con trimados excesivamente bajos puede producir la inestabilidad conocida como “chine walking” que puede degenerar en inestabilidad de ruta.

C) Quillas rectas:

A las distintas velocidades de navegación, el ángulo de incidencia del flujo sobre una quilla recta permanece constante por lo que se puede mantener constante la relación sustentación/resistencia.

Los longitudinales de popa rectos son lo más fáciles de construir y de predecir su comportamiento. Y si no se quieren instalar flaps o interceptores, a veces es necesario terminar los longitudinales con concavidades o convexidades para, respectivamente, disminuir o aumentar el trimado.

Lo normal es que el perfil de un planeador sea recto desde el espejo, empezando a hacerse cóncavo aproximadamente al 60% de la eslora en la flotación.

D) Escalones transversales:

Pueden diseñarse los fondos de los planeadores con escalones transversales. La sustentación se produce a proa del escalón y en la zona de popa del planeador, quedando en medio una zona seca del fondo que no contribuye a la sustentación pero que permanecen seca con lo que se reduce la resistencia al avance.

Con la adopción de escalones transversales se reduce la superficie mojada, se puede ajustar el trimado dinámico de diseño y se aumenta la relación de envergadura de las áreas de planeo, con lo que aumenta la relación sustentación/resistencia.



Dado que la superficie de planeo posterior desliza sobre la estela de la de proa, los planeadores con escalones transversales suelen dar problemas de estabilidad de ruta y de gobierno. Además, con mala mar la navegación resulta muy dura y peligrosa.

1.3.3) ASTILLA MUERTA

Es importante el estudio del efecto de la astilla muerta en el comportamiento del planeador:

- A) Es el segundo parámetro en importancia para el proyectista. En general, mayores astillas muertas proporcionarán mejores prestaciones en olas del planeador pero perjudicarán a su comportamiento en aguas tranquilas.
- B) A mayor astilla, mayor trimado óptimo y menor eficacia de planeo. Por lo tanto, a igualdad de sustentación se necesitará una mayor superficie mojada con lo que aumentará su resistencia al avance.
- C) A mayor astilla muerta menores aceleraciones verticales y menos impactos de fondo y de menos severidad.
- D) Grandes astillas muertas en el espejo proporcionan una mayor estabilidad de ruta y, en general, una mejor maniobrabilidad con los giros con una mayor escora hacia su centro.
- E) Lo normal es el diseño de fondos con variación de la astilla muerta a lo largo de la eslora (warping): la solución óptima es usar una forma prismática a popa de la línea de estancamiento con astillas muertas pequeñas, aumentando la inclinación de costados a proa de dicha línea.
- F) El warping se debe diseñar teniendo en cuenta las limitaciones de estabilidad, de flotabilidad y de calado del planeador.
- G) A igualdad de área de la sección, una mayor astilla muerta aumentará el calado y reducirá la inmersión del codillo.



H) Si la astilla muerta resulta ser excesiva en proa puede hacer que la roda no levante, aumentando la superficie mojada y la inestabilidad de rumbo. Poca astilla muerta en proa hace que haya muchos impactos de fondo y mala estabilidad de ruta.

1.3.4) FORMA EN PLANTA DEL CODILLO

A) Para un peso de la lancha y una velocidad dadas, la manga entre codillos y la posición longitudinal del centro de gravedad son las características de mayor influencia.

B) A mayor razón de envergadura mayor relación sustentación/resistencia. Para planeadores no merece la pena pasar de razones de envergadura de la unidad (la relación de envergadura es la superficie de planeo dividida entre el cuadrado de la eslora de planeo o, aproximadamente, manga de planeo dividida por la eslora de planeo).

C) Para una razón de envergadura dada, existe una superficie mojada óptima que produce el trimado óptimo.

D) Si ha de operar cerca de la joroba, sí serán necesarios espejos anchos para proporcionar sustentación hidrostática.

E) En planeo puro se puede reducir la anchura del espejo para disminuir la fricción sin demasiada pérdida de sustentación (siempre que se garantice que se pasa la joroba).

F) La proa estrecha también es buena en mares de popa para prevenir el broaching. En esta situación las popas anchas deben tener poca astilla muerta.

G) Los codillos en proa no deben ser muy anchos ya que darían lugar a bajas astillas muertas con el consiguiente aumento de la severidad de los impactos y de las mojaduras.



H) Un codillo de entradas finas no tendrá muchos impactos, será seco si se le dota de junquillos anti-spray y no se hundirá en mares de popa si se abren claramente las secciones por encima de dicho codillo.

1.3.5) OTROS PARÁMETROS DE IMPORTANCIA

-El parámetro principal sobre el que puede actuar el proyectista es la relación entre la eslora y la manga entre codillos ($\frac{L_c}{B_c}$).

-Salvo consideraciones de estabilidad transversal, de espacio interior o de mojaduras en cubierta, siempre interesan planeadores esbeltos de altas relaciones $\frac{L_c}{B_c}$.

-A desplazamiento constante, relaciones $\frac{L_c}{B_c}$ altas mejoran el comportamiento en la mar. Si baja la manga bajan las aceleraciones verticales proporcionalmente con una relación cúbica. Una reducción de la manga de codillo de un 5% reducirá las aceleraciones en un 15% aproximadamente.

-A mayor eslora menor cabeceo.

-Desplazamiento: Sobre él, el diseñador no tiene demasiado control. El desplazamiento puede afectar al comportamiento en la mar de formas opuestas.

-Posición longitudinal del centro de gravedad (LCG): Es un factor crítico para mantener al planeador sin inestabilidades en aguas tranquilas: si LCG resulta menor que el valor de proyecto se tendrán trimados excesivos que favorecerán la aparición de porpoising. En cambio, si LCG resulta mayor que el valor de proyecto se tendrán trimados demasiado pequeños que favorecerán la aparición del "chine walking".

-Las cuñas y los flaps solucionan los problemas cuando el LCG queda demasiado a popa.

-Se ha de tener en cuenta que al navegar con pequeños trimados las aceleraciones verticales serán menores pero la resistencia de fricción aumentará al hacerlo la superficie mojada.



-A más LCG menos trimado, menos aceleraciones verticales y menos resistencia en la joroba.

-Se ha de buscar el equilibrio, como en todo tipo de buque, entre la seguridad de la embarcación y la comodidad a bordo.

-Los junquillos anti spray juegan un papel importante y además ayudan a la estabilidad transversal y a la estabilidad de rumbo, sobre todo en el caso de las embarcaciones de formas de secciones redondas. Se aconseja que la superficie inferior del junquillo, la que para el agua, tenga pendientes suaves. Si estas superficies tienen demasiada inclinación el spray puede rebotar en el agua y mojar nuevamente la embarcación.

-Se recomienda disponer los junquillos anti-spray o de fondo paralelos a los codillos.

1.3.6) RECOMENDACIONES PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE RUTA

1) Con trimados dinámicos por la popa, normalmente, los planeadores resultan direccionalmente estables a las velocidades de diseño.

2) Se ha de procurar que el centro de gravedad del área de deriva esté a popa del centro de gravedad de la lancha.

3) A baja velocidad, como no suelen tener trimados positivos, los planeadores pueden resultar inestables.

4) No es difícil conseguir planeadores con estabilidad direccional en aguas tranquilas y en mares de proa.

5) En mares de través puede haber problemas cuando las quillas sean demasiado redondeadas y permitan el flujo cruzado entre las dos bandas del planeador que origina fuertes fuerzas transversales.

6) Este flujo cruzado se puede evitar disponiendo junquillos de fondo suficientemente bajos, pequeñas quillas postizas o secciones transversales menos redondeadas.



- 7) Cuando resulten necesarios, se deben diseñar los quillotes centrales del tamaño justo para conseguir una solución de equilibrio entre la capacidad de evolución y la estabilidad de rumbo del planeador.
- 8) Un warping adecuado puede reducir al mínimo el tamaño del quillote y con ello la fricción.



CAPÍTULO II. DISEÑO DE LA EMBARCACIÓN



2.1. DISEÑO DE LA EMBARCACIÓN. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA:

Englobaremos características tales como:

- Eslora.
- Manga.
- Óptima relación calidad/precio.
- Categoría de diseño.
- Zona de navegación.
- Relación entre categoría de diseño, zona de navegación y títulos.
- Autonomía.
- Coste de matriculación.
- Desplazamiento y motorización.

2.1.1) ESLORA:

Queremos que nuestra embarcación se dirija a un amplio margen de clientes. Por ello, con motivo de obtener éxito a la hora de vender nuestra embarcación, vamos a diseñarla para que ésta pueda ser pilotada sin más títulos que el PNB “Patrón de navegación básica”.

La eslora límite para que se pueda gobernar con el título de Patrón de de Navegación Básica (PNB) es de 8 metros para vela y 7,5 metros si es a motor. Construiremos nuestra embarcación con una eslora de 7,4 m.



2.1.2) MANGA:

Queremos, por motivos de mercado, que nuestra embarcación resulte transportable para el cliente. Por ello no excederemos de 2,5 m de manga. Suficiente para dimensionar una bañera de 2 a 2,3 m de ancho.

Escogeremos una manga de 2,3 m.

2.1.3) ÓPTIMA RELACIÓN CALIDAD/PRECIO:

Es una de las variables más importantes para entrar en el mercado con garantías de éxito. Debemos diseñar la embarcación teniendo en cuenta la correcta elección de los materiales dentro de un proceso productivo pensado para realizar su fabricación y montaje lo más eficiente posible.

El material seleccionado para la construcción del casco es la fibra de vidrio y el proceso productivo será explicado más adelante.

2.1.4) CATEGORÍA DE DISEÑO:

El Real Decreto 297/98 traspone al Derecho Español a Directiva Europea 94/25/CE, en cuyo anexo I se clasifican las embarcaciones dependiendo de las características constructivas.

Han sido agrupadas en 4 categorías en función de las condiciones de navegación (altura de olas y fuerza del viento) para las que han sido diseñadas.



Categoría de diseño	Fuerza del viento	Altura de las olas en metros	Definición	Zonas de Navegación
"A" Oceánica	Más de 8	Más de 4	Embarcaciones diseñadas para viajes largos en los que los vientos puedan superar la fuerza 8 y las olas una altura significativa de 4 metros o más, y que son embarcaciones autosuficientes en gran medida.	1,2,3,4,5,6,7
"B" Alta Mar	Hasta 8 incluido	Hasta 4 incluido	Embarcaciones diseñadas para viajes en alta mar en los que puede encontrarse vientos de hasta fuerza 8 y las olas de altura significativa de hasta 4 metros	2,3,4,5,6,7
"C" En aguas Costeras	Hasta 6 incluido	Hasta 2 incluido	Embarcaciones diseñadas para viajes en aguas costeras, grandes bahías y grandes estuarios lagos y ríos en los que puede encontrarse vientos de hasta fuerza 6 y las olas de altura significativa de hasta 2 metros	4,5,6,7
"D" En aguas protegidas	Hasta 4 incluido	Hasta 0,5 incluido	Embarcaciones diseñadas para viajes en pequeños lagos, ríos y canales en los que puede encontrarse vientos de hasta fuerza 4 y las olas de altura significativa de hasta 0,5 metros	7



2.1.5) ZONA DE NAVEGACIÓN:

En el momento de la expedición o renovación del Certificado de Navegabilidad, la Autoridad Marítima, teniendo en cuenta la actualización del equipo de seguridad que haya realizado la embarcación, le asignará la correspondiente Zona de navegación en función de diseño.

Categoría de diseño	Zona	Límites	Navegación
"A" Oceánica	1	Ilimitada	Zona de navegación ilimitada.
"B" En alta mar	2	60'	Navegación en la zona comprendida entre la costa y la línea paralela a la misma trazada a 60 millas.
	3	25'	Navegación en la zona comprendida entre la costa y la línea paralela a la misma trazada a 25 millas.
"C" En aguas costeras	4	12'	Navegación en la zona comprendida entre la costa y la línea paralela a la misma trazada a 25 millas.
	5	5'	Navegación en la cual la embarcación no se aleje más de 5 millas de un abrigo o playa accesible.
	6	2'	Navegación en la cual la embarcación no se aleje más de 5 millas de un abrigo o playa accesible.
"D" En aguas protegidas	7	<i>Protegidas</i>	Navegación en aguas costeras protegidas, puertos, radas, rías, bahías abrigadas y aguas protegidas en general.



2.1.6) RELACIÓN ENTRE CATEGORÍA DE DISEÑO, ZONA DE NAVEGACIÓN Y TÍTULOS:

CATEGORIA DE DISEÑO	A – OCEÁNICA	Fuerza más de 8, altura de las olas mas de 4 metros						
	B – ALTAMAR	Hasta F=8 y hasta 4 metros de ola						
	C – AGUAS COSTERAS	Hasta F=6 y hasta 2 metros de ola						
	D – AGUAS PROTEGIDAS	F=4 y 0,5 m						
ZONA DE NAVEGACIÓN		7	6	5	4	3	2	1
MILLAS		Protegidas						
TÍTULOS	Capitán de Yate	Sin límites						
	Patrón de Yate	<=20mts de eslora y 60' millas						
	Patrón Embarcaciones Recreo	<=12mts de eslora y 12' millas						
	Patrón Navegación Básica	Vela <=8 mts 5' millas						
	Patrón Navegación Básica	Vela <=6 mts 5' millas						
	Certificado de la Federación	<=6 mts 1'						
	Sin Título	<=4 mts 1'						

Nuestra embarcación se halla dentro de la categoría C. Por tanto hablaremos de aguas costeras para las categorías 4, 5, 6 y 7 hasta 12 millas. Si como mencionamos antes nuestro cliente solo tiene el PNB, la embarcación no debe alejarse más de 5 millas (en cualquier dirección) de un abrigo.

2.1.7) AUTONOMÍA:

La autonomía, lógicamente va a depender de la motorización y del consumo del mismo, pero podríamos establecer un máximo de navegación de 110 millas.



2.1.8) COSTE DE MATRICULACIÓN:

Como anexo, calculamos el posible *coste*^(*) de matriculación de nuestra embarcación. Para ello emplearemos los propios precios de matriculación expuestos por una gestoría náutica (Gestoría Picaza) en función de nuestra eslora y manga:

(*)Dicho precio de matriculación es meramente orientativo. Variará según el año de matriculación y según la gestoría contratada.

Dada nuestra eslora y manga (7,3 m y 2,3 m respectivamente), podemos extraer por interpolación el valor de la matriculación de nuestro barco.

- Para eslora 7,3 m y 2,25 m de manga tenemos: 541,85 euros.
- Para eslora 7,3 m y 2,4 m de manga tenemos: 546,41 euros.
- Para eslora 7,9 m y 2,25 m de manga tenemos: 547,47 euros.
- Para eslora 7,9 m y 2,4 m de manga tenemos: 552,40 euros.

→ En función de la eslora para manga 2,25 m:

$$\frac{7,9 - 7,3}{547,47 - 541,85} = \frac{7,9 - 7,4}{547,47 - x}$$

$$x = 542,787 \text{ €}.$$

→ En función de la eslora para manga 2,4 m:

$$\frac{7,9 - 7,3}{552,4 - 546,41} = \frac{7,9 - 7,4}{552,4 - x}$$

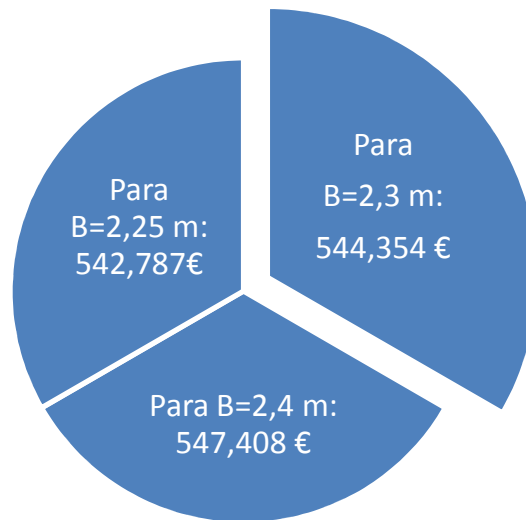
$$x = 547,408 \text{ €}.$$



Interpolamos los resultados para B=2,3 m y obtenemos:

$$\frac{2,4 - 2,25}{547,488 - 542,787} = \frac{2,4 - 2,3}{547,488 - x}$$

$$x = 544,354 \text{ €}.$$



→ En función de la manga para eslora 7,3 m:

$$\frac{2,4 - 2,25}{546,41 - 541,85} = \frac{2,4 - 2,3}{546,41 - x}$$

$$x = 543,37 \text{ €}.$$

→ En función de la manga para eslora 7,9 m:

$$\frac{2,4 - 2,25}{552,4 - 547,47} = \frac{2,4 - 2,3}{552,4 - x}$$

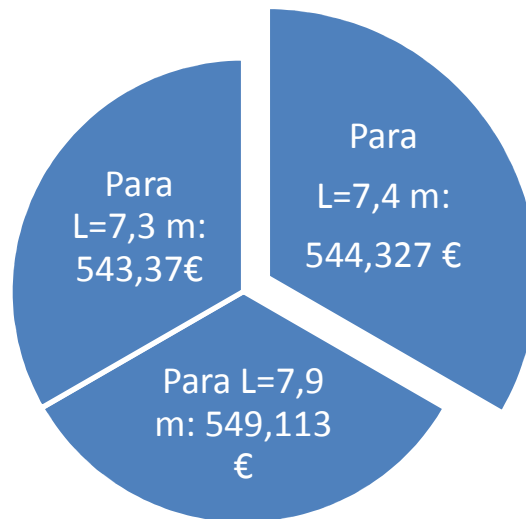
$$x = 549,113 \text{ €}.$$

Interpolamos los resultados para L=7,4 m y obtenemos:



$$\frac{7,9 - 7,3}{549,113 - 543,37} = \frac{7,9 - 7,4}{549,113 - x}$$

$$x = 544,327 \text{ €}.$$



Haciendo la media con los valores obtenidos tenemos un coste estimado de matriculación de valor:

$$x = 544,35 \text{ €}.$$

2.1.9) DESPLAZAMIENTO Y MOTORIZACIÓN:

En la siguiente tabla se ofrece información sobre diversos barcos que conocemos. Vamos a hacer un estudio de los mismos y las características técnicas que poseen para conseguir una aproximación acerca del desplazamiento y la motorización que tendrá nuestra embarcación rápida.



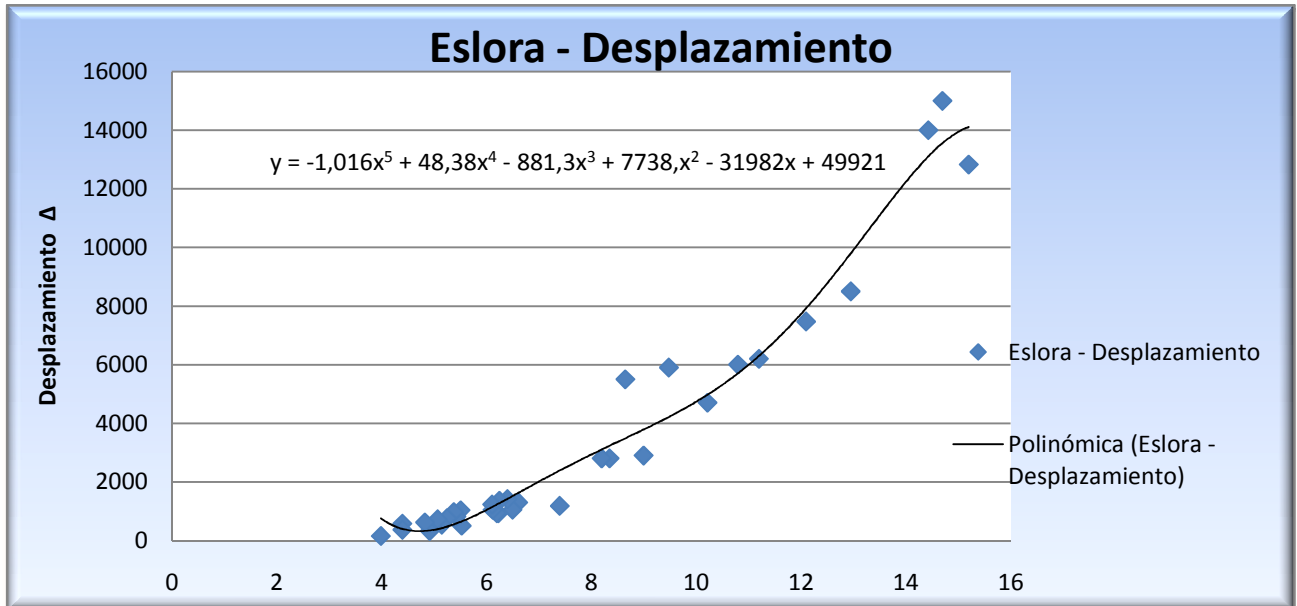
Nombre	Eslora χ_1 (m)	Manga χ_2 (m)	Desplazamiento Δ (kg)	Motorización (Hp)
Prestige 500Sy 500	15,20	4,50	12827	2x435
Airon Marine 4800 T Top	14,70	4,30	15000	2x435
Belliure 46	14,43	4,20	14000	2x370
WB 40	12,95	4,00	8500	2x380
Bénéteau Flyer Gran Turismo 38	12,10	3,47	7470	2x260
Bavaria Sport 34	11,20	3,59	6200	2x225
Fjord 36 Open	10,80	3,65	6000	2x260
Bénéteau Antares 32	10,22	3,39	4700	2x200
Rodmas Spirit 31 Open	9,48	3,36	5900	2x220
Saver 300 Walkaround	9,00	2,98	2900	2x250
Faeton F300 Fly Hybrid	8,65	3,10	5500	2x220
Saber280 Cabin	8,35	3,00	2800	2x254
Lema Jara	8,20	2,90	2800	2x150
Scout 245 XSF	7,40	2,60	1179	1f.b. hasta 300
Pacific Craft 660 Timonier	6,61	2,52	1300	1f.b. hasta 150
Quicksilver Activ 675 Open	6,50	2,55	1050	1f.b. hasta 200
Quicksilver Activ 640 Open	6,40	2,53	1410	220
Quicksilver Activ 645 Cabin	6,25	2,40	1360	1f.b. hasta 175
Jeanneau Cap Camarat 6.5 DC	6,23	2,48	930	1f.b. hasta 200
Cap Camarat 6.5 WA	6,20	2,48	930	200
Quicksilver Activ 605 Sundeck	6,12	2,40	1045	150
Flyer 650 Open	6,11	2,44	1230	200
Moggaro 550 Deportivo	5,53	2,32	500	150
Flyer 550 Open	5,51	2,34	1030	115
Cap Camarat 5.5 DC	5,43	2,38	820	120
Quicksilver 530 Pilothouse	5,38	2,39	965	90



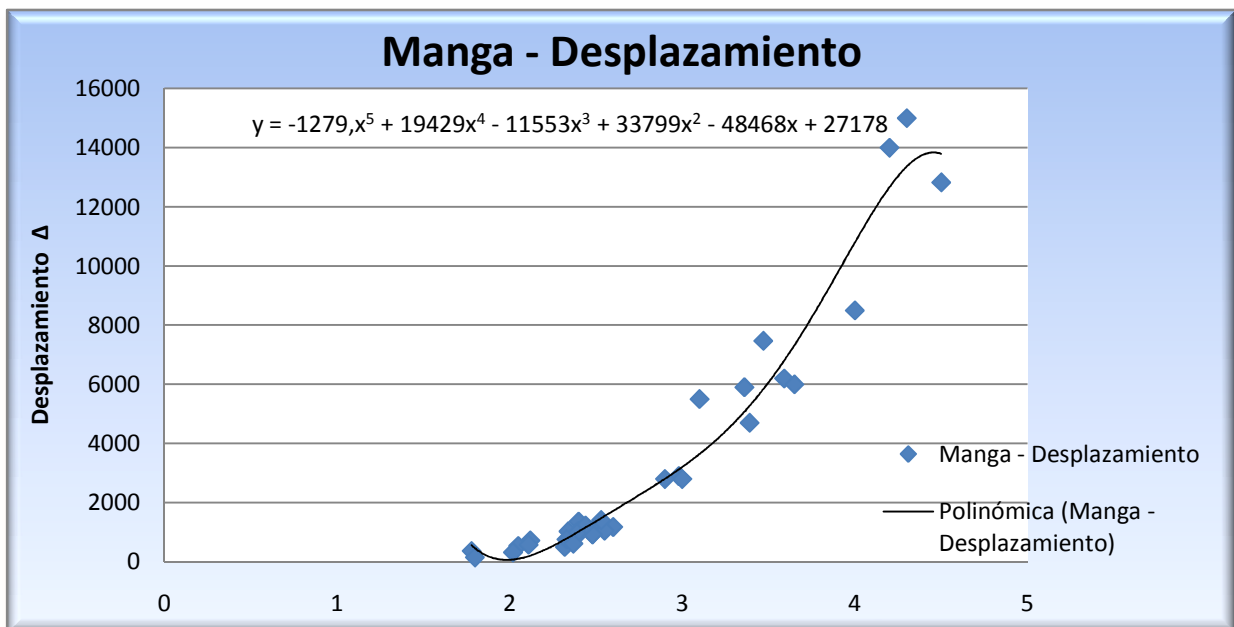
Quicksilver Activ 510 Cabin	5,25	2,33	760	90
Quicksilver 500 Fish	5,15	2,05	540	60
Quicksilver Activ 505 Open	5,07	2,12	720	60
Moggaro 500 Deportivo	4,92	2,02	320	90
Quicksilver Activ 470 Cabin	4,83	2,37	615	60
Quicksilver Activ 430 Cabin	4,40	2,11	575	50
Quicksilver 440 FISH	4,40	1,78	365	30
Moggaro 400 Deportivo	3,99	1,80	150	25



➔ Representación gráfica de los valores eslora – desplazamiento con curva de ajuste:



➔ Representación gráfica de los valores manga – desplazamiento junto con curva de ajuste:





- Entrando con nuestra eslora de 7,4 m deberíamos tomar un desplazamiento de: 2387 kg.
- Entrando con nuestra manga de 2,3 m deberíamos tomar un desplazamiento de: 681,151 kg.

-La media estimada de nuestro desplazamiento será:

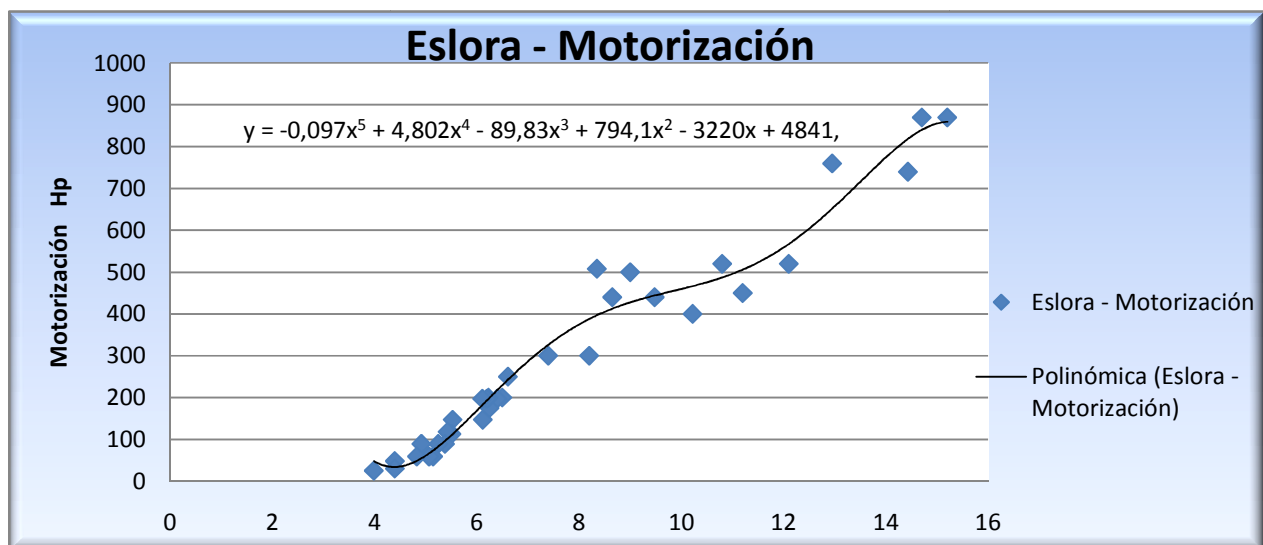
$$\chi = \frac{2387 + 681,2}{2} = 1534,1 \text{ kg.}$$

$$\Delta = 1534,1 \text{ kg.}$$

-Este desplazamiento solo es un valor orientativo ya que el desplazamiento variará según el material de fabricación del casco y los pesos a bordo.

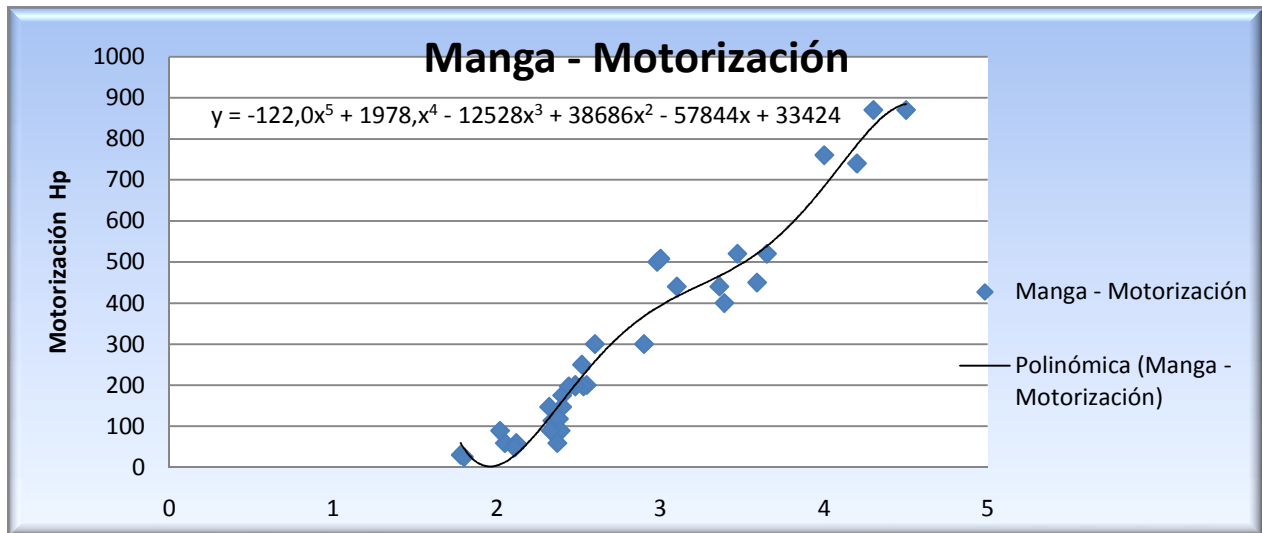
Del mismo modo, calcularemos de forma orientativa el valor de la motorización que llevará nuestra embarcación rápida.

➔ Representación gráfica de los valores eslora – motorización junto con curva de ajuste:





→ Representación gráfica de los valores manga – motorización junto con curva de ajuste:



- Entrando con nuestra eslora de 7,4 m deberíamos tomar una motorización de: 326,8 Hp.
- Entrando con nuestra manga de 2,3 m deberíamos tomar una motorización de: 104,9 Hp.

- El valor medio estimado para nuestra motorización será:

$$\chi = \frac{326,8 + 104,9}{2} = 215,85 \text{ Hp.}$$

$$\chi = 215,85 \text{ Hp.}$$



RESUMEN DE LOS PARÁMETROS INICIALES:

ESLORA	7,4 m.
MANGA	2,3 m.
MATERIAL DEL CASCO	PRF.
CATEGORÍA DE DISEÑO	Categoría "C".
ZONA DE NAVEGACIÓN	Zonas 4, 5 y 6.
AUTONOMÍA	110 millas.
COSTE DE MATRICULACIÓN	544,35 €.
DESPLAZAMIENTO	1564 kg.
MOTORIZACIÓN	216 Hp.

-Anotación:

RESOLUCIÓN de 25 de septiembre de 2007, de la Dirección General de la Marina Mercante, por la que se actualiza el anexo XVIII del Real Decreto 2127/2004, de 29 de octubre, por el que se regulan los requisitos de seguridad de las embarcaciones de recreo, de las motos náuticas, de sus componentes y de las emisiones de escape y sonoras de sus motores.

Dentro de este anexo XVIII se puede mencionar, para este tipo de embarcación, las siguientes normas que pudieran seguirse para un marcado CE si se quisiera profundizar:

UNE-EN ISO 11592: 2002 Embarcaciones de recreo de eslora menor de ocho metros. Determinación de la potencia nominal máxima de propulsión (ISO 11592:2001).



UNE-EN ISO 11812: 2002 Embarcaciones pequeñas. Bañeras estancas y bañeras de vaciado rápido (ISO 11812:2001).

UNE-EN ISO 12215-1: 2001 Embarcaciones de recreo. Construcción de cascos y escantillones. Parte 1: Materiales: resinas termoestables, refuerzos de fibra de vidrio, laminado de referencia (ISO 12215-1:2000).

UNE-EN ISO 12215-3: 2003 Embarcaciones de recreo. Construcción de cascos y escantillones. Parte 3: Materiales: acero, aleaciones de aluminio, madera y otros materiales (ISO 12215-3:2002).

UNE-EN ISO 12215-4: 2003 Embarcaciones de recreo. Construcción de cascos y escantillones. Parte 4: Materiales: talleres de construcción u fabricación (ISO 12215-4:2002).

UNE-EN ISO 12216:2003 Embarcaciones de recreo. Ventanas, ojos de buey, escotillas, lumbreras de cubierta y puertas. Requisitos de resistencia y estanqueidad (ISO 12216-1:2002).

UNE-EN ISO 12217-1: 2002 Embarcaciones de recreo. Evaluación y clasificación de la estabilidad. Parte 1: Embarcaciones no propulsadas a vela de eslora igual o superior a seis metros (ISO 12217-1:2002).

UNE-EN ISO 12217-2: 2002 Embarcaciones de recreo. Evaluación y clasificación de la estabilidad. Parte 2: Embarcaciones propulsadas a vela de eslora igual o superior a seis metros (ISO 12217-2: 2002).



CAPÍTULO III. DISEÑO DE LAS FORMAS



3.1. LA CARENA:

Lo primero que se hace es seleccionar el tipo de carena que debe tener la embarcación. La mejor forma de un casco para el planeo es la de una superficie totalmente plana, como la de los skis acuáticos, pero un barco con esta forma de casco sería un auténtico suplicio durante el paso de olas, por lo que se adopta un compromiso con una forma de 'V' que aunque no es ideal para el planeo, permite afrontar las olas con más seguridad y comodidad. Por ello, en este caso, se opta por **carenas transversales rectas o en "V"**. Formas que resultan bastante comunes, y aunque cuenten con fuertes y frecuentes impactos de fondo, este defecto se ve recompensado por su mayor facilidad de construcción.

3.2. LA QUILLA:

En segundo lugar, se decide el tipo de quilla que lleva la embarcación de planeo. Entre las posibles se selecciona una **quilla recta**:

Características que obtiene la embarcación gracias a la selección de quilla recta:

-El ángulo de incidencia del flujo sobre una quilla recta permanece constante, a las distintas velocidades de navegación, por lo que se puede mantener constante la relación sustentación/resistencia.

-Los longitudinales de popa rectos son lo más fáciles de construir y de predecir su comportamiento.

Y si no se quieren instalar flaps o interceptores, a veces es necesario terminar los longitudinales con concavidades o convexidades para, respectivamente, disminuir o aumentar el trimado. Lo normal es que el perfil de un planeador sea recto desde el



espejo, empezando a hacerse cóncavo aproximadamente al 60% de la eslora en la flotación.

3.3. FLAPS:

Dado que esta embarcación rápida cuenta con una quilla del tipo recta, no se instalan flaps.

3.4. ASTILLA MUERTA:

Se ha de tomar en cuenta la influencia de la astilla muerta en este tipo de embarcaciones, influencia antes mencionada en el apartado 3) de “PRINCIPIOS FUNDAMENTALES A LA HORA DE PROYECTAR LAS FORMAS”.

Se selecciona un diseño del fondo con variación de la astilla muerta a lo largo de la eslora (warping): la solución óptima es usar una forma prismática a popa de la línea de estancamiento con astillas muertas pequeñas, aumentando la inclinación de costados a proa de dicha línea.

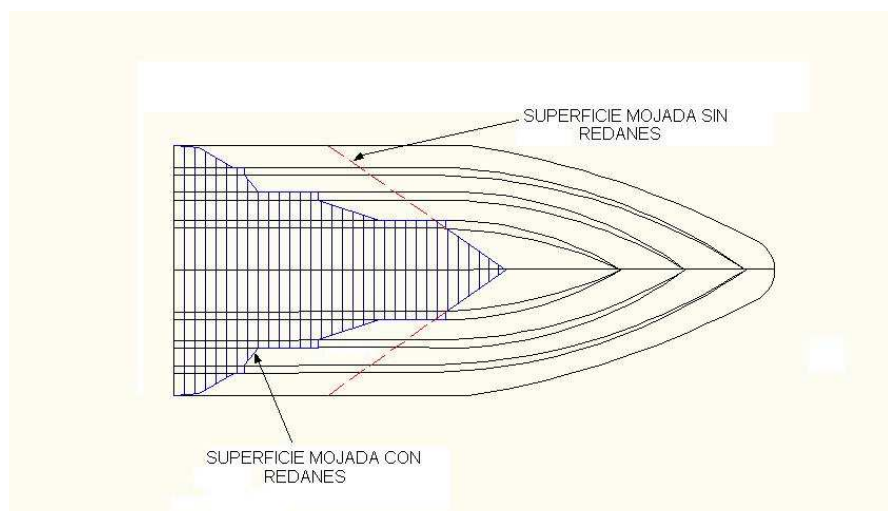
A igualdad de área de la sección, una mayor astilla muerta aumentará el calado y reducirá la inmersión del codillo.



3.5. REDANES:

Se conocen como tales a los realces longitudinales instalados simétricamente debajo del casco. Se instalan en los cascos de planeo y semiplaneo con la finalidad de contribuir a la sustentación del barco fuera del agua. No aumentan la superficie de contacto con el agua, sino que la disminuyen, lo que permite mayores velocidades. También contribuyen a mantener la estabilidad direccional, incluso en los giros.

Figura 3.5.a Variación de la superficie mojada.



Los redanes longitudinales pueden recorrer la carena del barco hasta la popa o no. Si se prolongan hasta la popa o muy cerca de ella, suele ser porque el barco pretende altas prestaciones y una trazada muy precisa en los giros; si por el contrario no llegan todos los redanes, es porque se pretenden giros más suaves. También existen los redanes transversales. Se aplican a los barcos de muy altas prestaciones, lanchas rápidas para el esquí o la competición. Los redanes transversales suponen una reducción aún mayor de la superficie mojada del casco y, en consecuencia, la posibilidad de alcanzar mayor velocidad. Muy pocos astilleros en todo el mundo los aplican a sus modelos.



Esta embarcación incluye redanes longitudinales que recorren toda la popa: contribuyendo a la sustentación del barco, reduciendo la superficie mojada y, con ello, aumentando la velocidad, ofreciendo trazadas precisas en los giros.

3.6. FORMAS DEL CASCO:

- Atendiendo a los criterios anteriormente mencionados, se diseña la embarcación rápida obteniendo las formas del casco mostradas en la siguiente página.



Figura 3.6.a: Vista en perfil de la embarcación rápida.

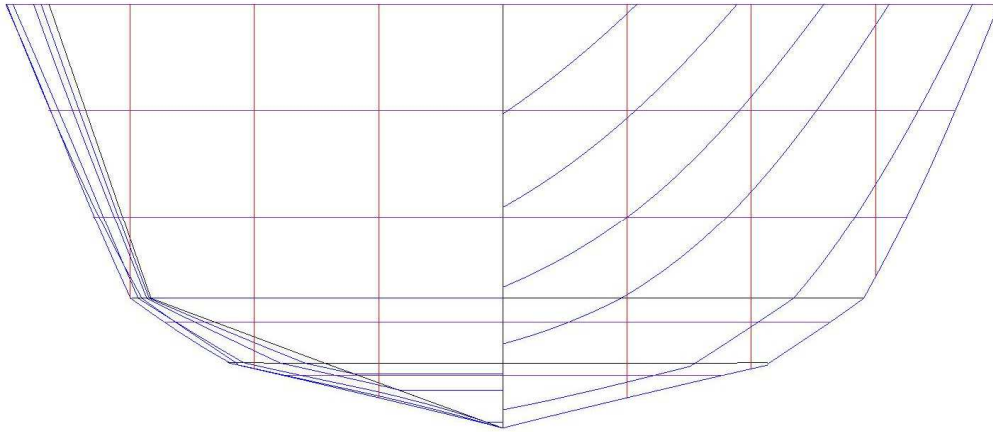
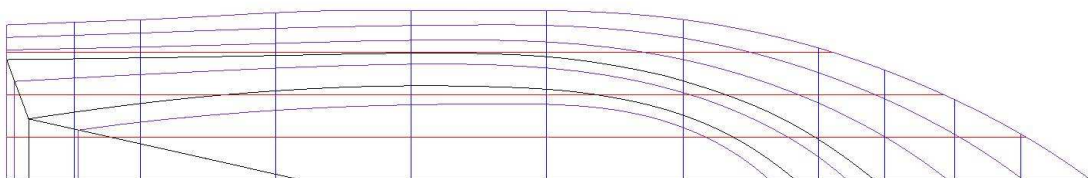
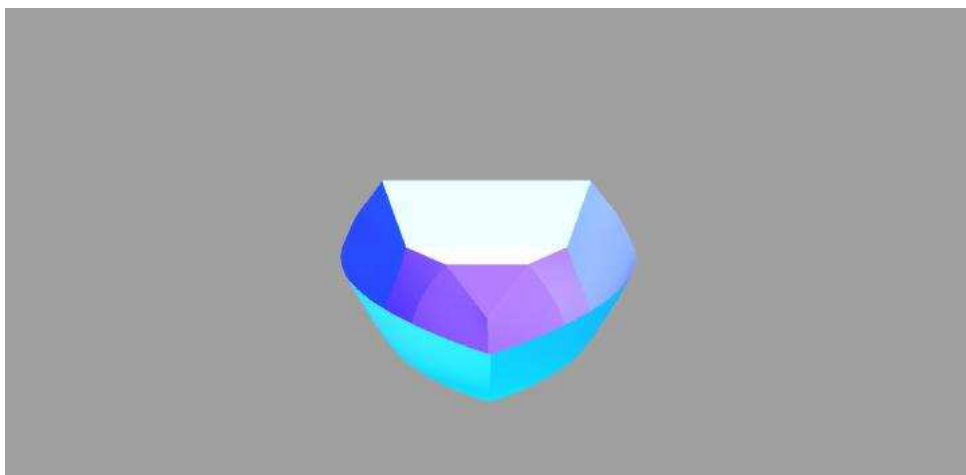
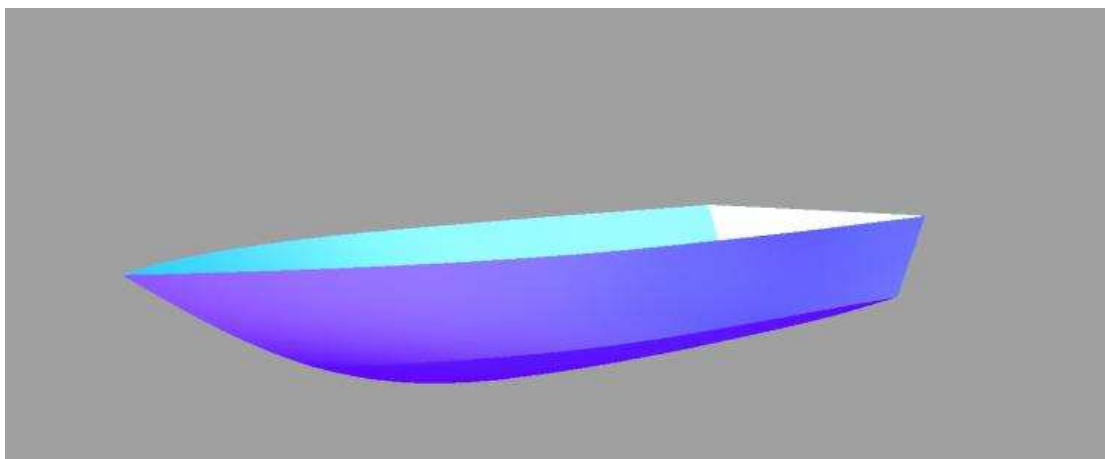
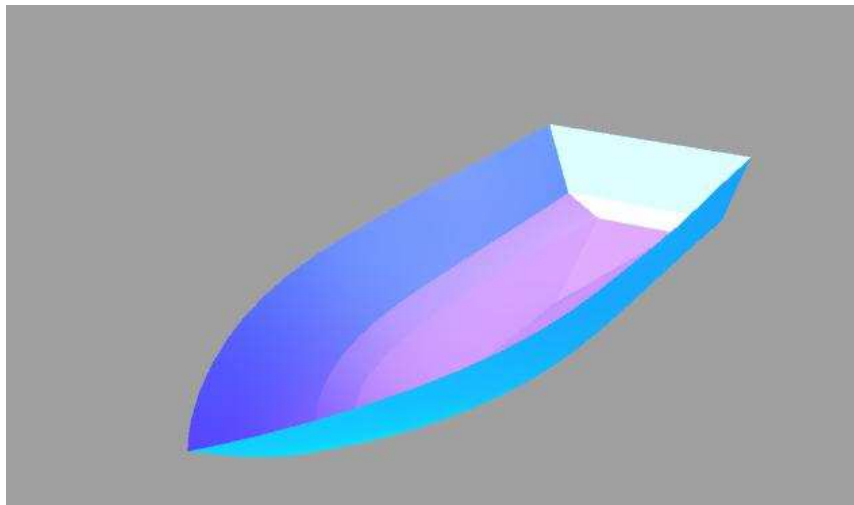


Figura 3.6.b: Vista frontal de la embarcación rápida.



Figura 3.6.c: Vista en planta de la embarcación rápida.







CAPÍTULO IV. MATERIAL DEL CASCO: PLANEADORES



4.1. MATERIAL DEL CASCO:

El material seleccionado para la fabricación del casco de la embarcación es el plástico reforzado con fibra de vidrio el cual se estudia más adelante, pero antes se dará una breve descripción de los principales materiales que podrían haberse escogido.

A la hora de seleccionar el material de construcción del casco en una embarcación rápida hay muchos más grados de libertad que en un buque convencional. Suele predominar acero dulce pero también acero de alta tensión, con aleaciones de aluminio, con fibra de vidrio o con otros materiales compuestos más sofisticados. Se trata de seleccionar el material para la construcción del casco buscando reducir el peso del mismo.

Es frecuente construir también el casco de acero y las superestructuras de otros materiales más ligeros como aluminio o materiales compuestos.

Este estudio se centra única y exclusivamente en los materiales para la construcción del casco. Los parámetros que, por normal general se toman para seleccionar el material, son:

1. Dimensiones de la embarcación.
2. Peso de la embarcación.
3. Coste de construcción y de mantenimiento.
4. Vida prevista del buque.
5. Disponibilidad de los materiales y de las tecnologías constructivas.

Los materiales principalmente empleados son el acero, las aleaciones de aluminio y ciertos materiales compuestos, siendo estos últimos los seleccionados para la embarcación.



4.2. ACERO:

Aunque el casco de acero suele ser el más barato y el más fiable, resulta el más pesado, por lo que solo se emplea como material de construcción del casco de embarcaciones rápidas más grandes y relativamente más lentas.

Incluso, a veces, al usar aceros de alto límite elástico, los espesores necesarios resultan ser muy pequeños necesitando reducir las claras entre refuerzos, por motivos de carácter estructural local, normalmente para evitar una deformación excesiva de las chapas.

En situaciones como ésta, los ahorros de peso se verán mermados y los costes de construcción incrementados al aumentarse la longitud de soldadura total.

Destacar, la vulnerabilidad de los aceros navales a la corrosión (tanto a la galvánica como a la causada por la oxidación del aire) por lo que se deben proteger con pinturas o con corrientes impresas.

Para el caso de embarcaciones rápidas suele ser fácil justificar el empleo de las corrientes impresas para evitar la presencia de ánodos de sacrificio que siempre incrementarán la resistencia al avance. También se verá óptima la inversión en pinturas autopulimentantes o basadas en elastómeros siliconados que reducirán la resistencia de fricción de la embarcación.

Es frecuente recurrir a combinar cascos de acero con superestructuras de aleaciones de aluminio con lo que se puede reducir el peso del buque en rosca. Si empleamos ésta técnica se debe prestar especial atención a la elaboración de las juntas entre acero y aluminio aislándolos para romper la conexión galvánica. Dichas juntas suelen ser vulnerables a la corrosión producida por la capilaridad favorecida por los distintos coeficientes de dilatación de ambos materiales.



4.3. ALEACIONES DE ALUMINIO:

El aluminio puro se caracteriza por ser poco resistente, de bajo límite elástico y blando, por lo que no resulta útil en la construcción naval. Por ello se emplean aleaciones de aluminio con manganeso, magnesio, cobre, zinc, etc.

Entre las aleaciones más empleadas podemos mencionar las denominadas 5083, 5383 ó 5383 NG, que resultan ser mucho más ligeras que el acero ($\rho_{aleaciones} \approx \frac{2}{3} \times \rho_{acero}$).

Dado que el aluminio no es magnético queda excluido de la construcción de cazaminas y de algunos buques de investigación científica.

El uso extendido del aluminio en la construcción naval se debe, además de las mejoras de las cualidades según las distintas aleaciones, a los avances en los métodos de soldadura. Sobre todo para los espesores menores en los que los riesgos de quemaduras y perforaciones del material son considerables.

Uno de los inconvenientes que presentan es la capa de óxido que se forma en su superficie al exponerse a la intemperie. Esta capa (muy densa) protege de la corrosión al resto de la pieza pero si por cualquier causa se rompe, el aluminio se oxidará rápidamente.

Las aleaciones de aluminio se arañan muy fácilmente, tienen muy poca resistencia a la entalladura, se manchan con el agua y, debido a su alta conductividad térmica, son muy propensas a “sudar” cuando se almacenan cerca de fuentes de calor. Por ello, el almacenamiento de las aleaciones de aluminio debe hacerse con especial cuidado siendo más que recomendable separar en el astillero las zonas de trabajo de acero de las zonas de trabajo de las aleaciones de aluminio.

Los equipos de corte y soldadura resultan ser más caros para las aleaciones de aluminio que los empleados para trabajar el acero. Sin embargo, una vez que se dispone



de los medios adecuados, las velocidades de realización de estas operaciones son significativamente mayores, hasta tres veces, que las empleadas en la construcción con acero.

4.4. MATERIALES COMPUESTOS:

Cualquier mezcla de materiales del cual se obtenga como resultado otro cuyas características sean distintas a las que los forman, se puede llamar material compuesto. En la práctica los compuestos están formados por una masa llamada matriz y un refuerzo para mejorar sus propiedades normalmente fibras de algún material.

Los materiales compuestos los podemos clasificar en tres grandes grupos:

a) **MATERIALES COMPUESTOS CON MATRICES METÁLICAS (MMC's):**

Los materiales compuestos con matriz metálica son cada vez más frecuentes en el sector automovilístico y suelen ser del tipo matriz de aluminio con refuerzo de "silicon carbide".

b) **MATERIALES COMPUESTOS CON MATRICES CERÁMICAS (CMC's):**

Los materiales compuestos con matriz cerámica trabajan en ambientes de muy alta temperatura y se suelen reforzar con fibras cortas que pueden ser de silicio y boro.



c) MATERIALES COMPUESTOS CON MATRICES POLIMÉRICAS (PMC's):

Los materiales compuestos con matriz polimérica son los más comunes y son objeto de este estudio. También conocidos como FRP (fibre reinforced polymers or plastics), estos materiales usan una matriz basada en un polímero reforzada con fibras de distintos materiales como vidrio, carbono o Aramida.

➤ Los materiales poliméricos como epoxis o poliésteres están limitados en cuanto a la creación de estructuras por sí mismos, porque sus cualidades mecánicas no son demasiado buenas cuando son comparadas a otros materiales como la mayoría de metales. Y a la vez son fácilmente moldeables en formas complejas.

➤ Materiales como el vidrio, la aramida o carbono tienen una alta resistencia a tracción y compresión, en forma sólida como bloque pero de ese modo no son aprovechables, debido a que en una masa amorfa el flujo omnidireccional de esfuerzos hace que el material rompa antes que el punto de rotura teórico. Para evitar este mecanismo los materiales se producen en forma de fibra, y de este modo ante la misma cantidad de flujos de fuerza aleatorios estos quedan limitados a cada fibra y no se expanden a todo el material haciendo que el conjunto si llegue a su punto de rotura teórico. De este modo el material solo puede trabajar a tracción.

Es entonces cuando combinamos resina y fibra de refuerzo, obteniendo así un material de características excepcionales. La matriz polimérica reparte los esfuerzos entre cada una de las fibras y también las protege de impactos o abrasiones. Alta resistencia mecánica, facilidad para formar formas complejas, alta resistencia química al entorno, todo mezclado con bajas densidades hace que el compuesto resultante sea un material superior a los metales para muchas aplicaciones.



FIBRAS DESTACADAS:

4.4.1) FIBRA DE VIDRIO

Se produce mezclando productos de cantera como Sílice, Caolín, Alúmina, Cal, Dolomita etc. Esto se hace fundiendo a 1600°C temperatura a la que se forma el vidrio líquido. Este líquido se pasa por micro-filtros de aleación de platino y de cada uno de los orificios el líquido sale formando un hilo, se va enfriando y estirando mediante rodillos u otros métodos, formando así los distintos filamentos del orden de 5 a 25 micrómetros de diámetro. Estos filamentos son unidos en trenzados que finalmente son recubiertos con una capa superficial para procurar una buena adhesión a la resina y para proteger a la fibra de la abrasión.

4.4.2) ARAMIDA

La fibra de Aramida se obtiene de un polímero orgánico hecho por el hombre, que es una poliamida aromática, esta fibra se produce por hilado de una fibra sólida a partir de un compuesto químico líquido. Las fibras son de un color característico, amarillo brillante, dependiendo de los productos químicos usados para obtener la poliamida aromática los distintos tipos de fibras obtenidas pueden tener varias propiedades concretas distintas entre ellas. Aun así, todas las fibras de Aramida tienen propiedades comunes entre ellas, todas tienen una excelente resistencia a tracción y muy baja densidad lo que conduce a una resistencia específica muy alta, todas las Aramiditas ofrecen buena resistencia al impacto, y su deformación es bastante baja, por ello se usan Aramiditas en aplicaciones balísticas. La resistencia a compresión es similar a la que posee el vidrio E.

La Aramida más conocida es de Dupont y su nombre comercial es Kevlar, ellos fueron los creadores de este material en 1965, aunque hoy en día hay varios fabricantes como Azko novel que llama a su producto "Twaron". Todos los fabricantes ofrecen una gran variedad de fibras de Aramida con sendos módulos de elasticidad y varios acabados



superficiales para distintas aplicaciones. Las fibras de Aramida además de ofrecer unas buenas propiedades mecánicas poseen también una alta resistencia a la abrasión química y térmica notables, por otro lado son susceptibles de degradarse bajo los efectos de la luz ultravioleta.

4.4.3) CARBONO

Esta es una fibra que se produce mediante la oxidación controlada, la carbonización y grafitización de materiales orgánicos ricos en carbono. El precursor más común es el Poliacrilonitrilo (PAN) porque de él se obtiene la fibra de carbono con mejores propiedades, aunque la fibra de carbono también puede ser obtenida a partir de celulosa o de ciertos hidrocarburos obteniendo fibras menos resistentes que las basadas en PAN. Variando el proceso de grafitización se pueden obtener distintas cualidades, así por ejemplo se pueden obtener fibras de alta dureza con temperaturas de proceso de aproximadamente 2600 °C o fibras de alto módulo elástico con una temperatura de aproximadamente 3000 °C. Entre estos dos puntos existen combinaciones de estas cualidades dependiendo de la temperatura del proceso.

Una vez ya está generado el carbono se le da un tratamiento superficial con el objetivo de asegurar una buena unión entre fibra y resina y proteger químicamente al carbono durante su manipulación.

Durante su aparición en los 60 un kilogramo de fibra de carbono básico podía costar alrededor de 400 euros. En la actualidad debido a la gran producción y demanda un kilogramo de fibra equivalente alrededor de 30 euros, lo que hace pensar que se transformará en un material de uso más común en el futuro.



4.4.4) POLIETILENO

Con orientación aleatoria las moléculas de polietileno de alto peso molecular ofrecen unas propiedades mecánicas bastante pobres. Pero si se disuelve, y la disolución es transformada en filamentos mediante el método “gel –spinning” las moléculas de polietileno se alinean con el filamento. Este alineamiento produce que el filamento tenga una resistencia a tensión notable, y por ello la resistencia a tracción de toda la fibra también la tenga.

4.4.5) POLIÉSTER

Es una fibra con alta tenacidad y buena resistencia a impacto pero el módulo de elasticidad es bajo. Se suele usar cuando es necesario un material que resista la abrasión o el impacto y se disponga de poco presupuesto. Se mezcla bien con casi todas las resinas y se usa también como capa superficial ya que puede dejar muy alisado y pesa poco.

4.4.6) BORO

La fibra de carbono y las fibras metálicas están recubiertas por una capa de boro, para mejorar las propiedades de la fibra. El elevado coste de este material hace que su aplicación se vea reducida a aplicaciones a alta temperatura del campo aeroespacial y a algún equipamiento deportivo especial. Las fibras de boro se combinan con las de carbono formando un tejido que impregnado en Epoxi produce un material compuesto que tiene propiedades mecánicas superiores a las que tendrían tanto el boro como el carbono solos con la resina.



4.4.7) FIBRAS NATURALES

En otro tipo de aplicaciones (no tan exigentes en cuanto a resistencia física) es posible usar fibras naturales como refuerzo, las hay muy ligeras y hacen posible una relación aceptable entre peso y resistencia.

Una embarcación se puede realizar al 85% en materiales compuestos, aunque por lo general en embarcaciones de recreo a vela lo normal es que se construya el casco, los mamparos, estructura de fondo, estructura de cubierta, un porcentaje del mobiliario y la cubierta.

El casco es la parte más importante del barco, por ello su composición y estructura son complejas y únicas en cada tipo de embarcación.

El casco es un elemento estructural por lo que no solo ha de tener unas formas que favorezcan el movimiento en un medio fluido sino que además ha de ser resistente, para soportar las cargas a las que está sometido. El casco de materiales compuestos suele construirse en laminado clásico sin núcleo o tipo sándwich las ventajas de este último son que se consigue un peso considerablemente menor, ya que como núcleo se usan materiales de baja densidad como la madera de balsa u otros y se obtienen valores de resistencia altos.

Esto es debido a que el eje neutro en flexión se mantiene en el centro y en ese punto el esfuerzo es cero pero aumenta linealmente a medida que nos alejamos de él por un lado a compresión y por el otro a tracción, hay una franja cercana al núcleo que nunca soporta grandes esfuerzos y las zonas más alejadas son las que soportan mayor esfuerzo por ello un sándwich optimiza el material de acuerdo al esfuerzo, pero a cortadura no



trabaja mejor. El aislamiento térmico y el acústico son mejores pero el proceso de fabricación es más caro y laborioso. Además es más delicado su mantenimiento y más caro por ser más fácil que se rompa.

Tras esta introducción a los materiales principales para la fabricación de cascos, este estudio se centrará en la fibra de vidrio, material compuesto con el que se fabricará el casco de esta embarcación de planeo.



*CAPÍTULO V. PLÁSTICO
REFORZADO CON FIBRA DE
VIDRIO*



5.1. PLÁSTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO:

Para el término PRF se acepta generalmente como traducción: plástico reforzado con fibra. También son usados poliéster reforzado con fibra de vidrio, vitroresina y plástico reforzado con vidrio (PRV). Se compone de una serie de refuerzos y productos químicos líquidos que cuando se juntan en proporciones específicas, puede ser formado en figuras fuertes, sólidas y flexibles.

Con los años este material ha sido desarrollado para múltiples usos. Al cambiar la composición química de las resinas y cambiando los refuerzos, las propiedades otorgadas del PRF varían para las distintas aplicaciones deseadas.

El PRF como material para la construcción de embarcaciones fue desarrollado con propósitos militares en Norte América al final de los años 40. Los primeros cascos fueron hechos tapizando el refuerzo sobre una plantilla o formador hecho de madera (molde macho) y pintando con la resina.

Pronto, cubiertas e interiores fueron hechos de PRF de manera que los barcos ya no fueron hechos a mano de madera pieza por pieza, eran atornillados y unidos juntos en una línea de ensamble. La industria de construcción de embarcaciones se dio cuenta del ahorro de costos al extremo tal que los actuales yates, embarcaciones de motor y pequeñas embarcaciones de trabajo son más populares que las embarcaciones de madera.

La principal razón para el cambio a PRF fueron los menores costos de producción para las embarcaciones pequeñas fabricadas en serie.

La herramienta principal para la fabricación de barcos de PRF es el molde. El tipo más común es el molde hembra que puede ser descrito como el reverso o la imagen en espejo del casco terminado y que permite a los materiales de PRF ser aplicados en el interior. Está también fabricado de PRF y está tomado de un modelo que es una reproducción del casco o la cubierta, exacto en tamaño, forma y cualquier otro detalle.



El modelo es el inicio de todo el proceso y es una réplica exacta hecha a mano del casco final. Normalmente se hace en madera y se usa solo para hacer el molde y después es desechado. Se requiere altos niveles de habilidad para lograr un acabado suave y uniforme. Será reproducido fielmente todas y cada una de las veces que se fabrica un casco, de manera que cuanto mejor sea el molde, mejor será el casco.

Por ello, para el primer casco creado de un molde nuevo se necesita hacerlo tres veces: la primera, para crear el modelo de madera, la segunda será al fabricar el molde, y la última para el propiamente dicho casco de PRF.

Es importante establecer la producción de un número mínimo de embarcaciones para obtener beneficio de los gastos que la fabricación del modelo y del molde conlleva.

5.2. COMPOSICIÓN:

Los principales componentes materiales previamente mencionados son el refuerzo y la resina. Como refuerzo mencionaremos el más usual que es una forma de vidrio.

Este es procesado en filamentos y después se teje o se corta en pedazos y es proveído en rollos similares a los de la tela. El espesor de la tela varía con el peso de vidrio en gramos por metro cuadrado. Los dos tipos principales son: “colchoneta” (chopped strand mat) y “petadillo” (woven roving). E igualmente, a nivel de trabajo, hay dos tipos de resina: para laminación y para acabado (gelcoat).

La resina para laminado es un líquido translúcido de varios colores pálidos con un fuerte olor a estireno, característico de estas resinas. Por el contrario, la resina para acabado es un líquido más viscoso pero con un olor semejante. La diferencia principal es que ésta última se aplica directamente al molde sin refuerzo y es principalmente para dar un suave y coloreado acabado al exterior del casco, mientras que la resina para laminado provee la matriz en la cual el refuerzo queda embebido.



5.2.1) REFUERZOS DE VIDRIO

El vidrio se encuentra normalmente como hojas planas. Si la composición química se altera cuando está en estado fundido y es procesado en filamentos de 8-14 micras puede llegar a tener una resistencia estructural mayor que la del acero. Para el constructor de embarcaciones la especificación del vidrio está dada por la designación del tipo. Tipo A, E o S son los generalmente ofrecidos por los fabricantes.

1.1.1- Colchoneta de hebras cortadas (CHC):

El filamento continuo forma la base de casi todos los refuerzos. Sin mayor procesamiento que cortarlo en longitudes de 50 mm, estas piezas cortas son depositadas mediante una máquina en una banda transportadora en movimiento y se mantienen unidos con un pegamento de manera que se forma una hoja continua de colchoneta de espesor variable. Este material es especificado por peso en g/m^2 . El constructor de embarcaciones lo compra en rollos de 30-35 kg en aproximadamente 1m de ancho.

Un lado del material es ligeramente más suave que el otro, lo que refleja el lado liso de la banda transportadora en la cual se hizo la colchoneta. Es el lado áspero el que debe ponerse hacia abajo cuando se está laminando.

1.1.2- Mecha continua:

Un paso alternativo en el proceso de los filamentos es su formación en hebras que son torcidas suavemente para formar mechas. El rango normal es de 60 a 120 hilos por mecha. Estas mechas parecen una cuerda floja de vidrio que puede ser enrollada en carretes o formada en trama de mecha o petatillo (TM).



1.1.3- Petatillo o trama de mecha:

Este es otro refuerzo popular que se compra de manera similar al CHC y también se especifica por peso. Durante la manufactura, la mecha se teje en una tela de tal manera que las mechas longitudinales son continuas a lo largo del rollo, lo cual resulta en una alta resistencia a la tensión. El TM da también un mayor contenido de vidrio por unidad de volumen que la colchoneta y reduce la cantidad de resina necesitada.

Sin embargo, es raro encontrar petatillo en embarcaciones menores de 6 m y es igualmente raro encontrar botes totalmente fabricados con petatillos. Laminados de colchoneta son normalmente adecuados para botes pequeños mientras que laminados totalmente de petatillo no dan una buena unión interlaminar (adhesión de capas sucesivas) para cualquier tamaño de bote. Por estas razones, la experiencia indica que los laminados normales de barcos están mejor hechos con capas alternas de colchoneta y petatillo con colchoneta extra cerca de la superficie exterior.

1.1.4- Mecha unidireccional:

Está caracterizada por mecha continua en la dirección longitudinal sin ninguna mecha transversal excepto un pequeño hilo de vidrio cosido a intervalos muy espaciados para evitar que el tejido se desbarate con el manejo. Raramente se encuentra en barcos de trabajo, pues es difícil mantener la forma, es raro y solamente se necesita donde hay requerimientos de alta resistencia y peso ligero.

1.1.5- Tela de vidrio:

Tiene un aspecto similar al petatillo pero en una escala más fina. Está disponible en varios anchos, desde rollos de hasta 25mm. Estos tamaños pequeños se conocen como cinta de vidrio y dan una indicación de sus usos, que son para los tamaños



angostos, unión de ensamblajes y pequeñas reparaciones o en los tamaños grandes para dar alta resistencia con un acabado suave. (Más caro que TM.)

1.1.6- Tejido de superficie o velo:

Es muy delgado y puede ser comparado con una colchoneta muy fina y suave pero está hecho de filamento de vidrio soplado. Raramente se usa excepto para soportar una carga de gelcoat más gruesa de lo normal o para producir un acabado suave y cosmético en la capa más interna de un laminado.

5.2.2) RESINAS

El principal tipo de resina empleado en la industria de la construcción de barcos es la resina de poliéster. El término resina poliéster “insaturada” es el término empleado para el estado líquido en el cual se recibe. Cuando se cura a un estado sólido durante el proceso de laminación, se “satura”.

La resina es un derivado de carbón y aceite. La base industrial para la fabricación de resinas es una refinería petrolera e instalaciones petroquímicas que raramente se encuentran en naciones en desarrollo. Su olor característico está dado por el estireno que se le añade a la base de poliéster en una de las últimas etapas de producción.

1.2.1- Disposición:

Tras producir la resina de poliéster básica, algunos cambios pueden hacerse por el fabricante de manera que la resina obtenga características requeridas para una aplicación en particular (por ejemplo, resistencia a los ataques químicos si el producto va a emplearse para un tanque de combustible).



1.2.2- Propiedades:

Entre las propiedades a destacar de una resina para la construcción de barcos se encuentran:

- Resistencia a la absorción.
- Resistencia mecánica.
- Cualidades adhesivas.
- Resistencia a la radiación ultravioleta.
- Reacción de o hacia otros líquidos y sólidos.

Cuando el contacto directo con el proveedor no es posible, debe ordenarse una resina “Marina de Uso General”, que haya sido previamente aprobada por una Sociedad de Clasificación.

La resina para aplicación a mano para los astilleros de naciones en desarrollo es surtida en tambores de 200 litros y para poder curarla (endurecimiento) requiere de un catalizador y un acelerador.

El último paso antes de aplicar la resina en el molde es la adición del catalizador. Es recomendable solicitar la resina pre acelerada por dos razones: el proveedor hará una mezcla más precisa y homogénea, y por el hecho de ser un paso menos que el usuario tiene que hacer. Recordar que personal no experimentado puede cometer equivocaciones en el cálculo de las cantidades empleadas.

5.2.3) ACELERADORES Y CATALIZADORES

El catalizador es el agente que cambia la resina poliéster monomérica e insaturada a una resina polimérica saturada que es el estado duro, por la producción de una reacción exotérmica.



Esto comienza inmediatamente después de agregar el catalizador por ello, debe ser enfatizado que la adición del catalizador a la resina debe ser la última acción antes de ser aplicada al molde.

La velocidad de la reacción es controlada por el acelerador pero sin el catalizador no tiene efecto en la resina. Por ello puede mezclarse meses antes de su uso.

(El acelerador y el catalizador nunca deben mezclarse solos pues pueden provocar una explosión).

5.3. PRECAUCIONES:

- a) El principal riesgo es el de incendio debido al manejo incorrecto de las resinas y el catalizador. El catalizador y el acelerador pueden formar una mezcla explosiva como todas las resinas basadas en carbón y petróleo.
- b) Se ha de tener cuidado en la proporción correcta de catalizador en la resina para evitar una mezcla “caliente” que pueda producir una reacción exotérmica tan fuerte que pueda auto incendiarse.
- c) Cualquier cubeta de resina que esté produciendo humo debe sacarse inmediatamente del taller de moldeado y llenarse con agua.
- d) También se ha de tener cuidado por riesgo de incendio con solventes limpiadores, monómero de estireno y trapos contaminados con líquidos inflamables.
- e) Estos materiales son tóxicos si se ingieren, especial cuidado con el catalizador (es un peróxido orgánico) que causa quemaduras en la piel y probablemente ceguera si entra en contacto con los ojos.
- f) Debe contarse en el taller de moldeado con extintores a mono junto con un botiquín de primeros auxilios.



- g) Ha de contarse con una ventilación adecuada del taller y máscaras faciales que pueden ofrecer alivio cuando se lamina en áreas confinadas cuando se lijan laminados ya curados.

5.4. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA CONSTRUCCIÓN EN PRF:

- **Ventajas:**

- No requiere calafateado.
- Los cascos de PRF, generalmente, se fabrican de una sola pieza continua sin uniones ni ranuras no dejan pasar agua (no vías de agua). Aunque en el caso de barcos de esloras superiores a 130 pies puedan utilizarse sistemas combinados, sobre todo para algunas zonas.
- Construcción más simple. Una vez el molde está hecho, pueden hacerse muchas copias idénticas de un casco y en menor tiempo.
- El problema de construcción que se presenta con otros materiales a la hora de realizar alguna parte complicada por las formas se resuelve con facilidad con el uso del PRF.
- Los barcos de madera experimentan un encogimiento de la tablazón cuando se sacan del agua y se dejan al sol. El PRF no se encoge ni se engruesa de modo que este encogimiento es evitado.
- Su flexibilidad: Al tener un bajo módulo de elasticidad, es un material excelente para absorber la energía por cargas de impacto.
- El PRF no es orgánico y por tanto no se pudre.
- El PRF es inerte. Como plástico no se corroe.
- La corrosión y electrólisis se reducen.
- Menor mantenimiento: Por su naturaleza anticorrosiva el PRF tiene un bajo coste de mantenimiento para embarcaciones pequeñas.



Quizás los ahorros pueden ser menores en buques grandes, puesto que las pinturas antiincrustantes deben aplicarse en los mismos intervalos de tiempo que para los buques de acero

-La resistencia inherente al PRF es elevada comparada con su peso.

-Se pueden aprovechar determinadas direcciones de las fibras para aumentar la resistencia en esa dirección.

- **Inconvenientes:**

-La selección del barco es fija una vez que el diseño es escogido y los moldes son fabricados.

-Rigidez del casco_ El módulo de elasticidad de laminados normales de PRF no excede de $2.5 \cdot 10^6$ psi (módulo de elasticidad del acero de $30 \cdot 10^6$ psi). Esto significa que un casco de acero flexa unas 12 veces menos que uno de fibra de vidrio para un grosor equivalente.

Por ello para buques de gran eslora no es aconsejable el uso de PRF, puesto que las tuberías y ejes del interior del barco orientados en sentido longitudinal sufrirían también la flexión.

- El bajo módulo de elasticidad del PRF puede originar problemas con las frecuencias naturales y la resonancia potencial en las vibraciones forzadas de la propulsión.

-Riesgos de incendio y para la salud por causa de los materiales químicos.

-Requiere una alta inversión al empezar.



5.5. MÉTODOS DE MOLDEO:

Para el moldeo podemos recurrir a diversos métodos. La selección de un método u otro dependerá principalmente de los siguientes factores:

- Las instalaciones del astillero.
- Disponibilidad de materiales.
- Tamaño de la embarcación.
- Número a producir.
- Tamaño de la embarcación.

A continuación, se muestra una descripción de los métodos más empleados:

5.5.1) MOLDEO POR CONTACTO

El moldeo por contacto es la técnica más empleada en la fabricación de plásticos reforzados. Hay dos procedimientos principales:

➔ **Laminación manual:**

El proceso de laminación manual comienza una vez dispuesto el molde con desmoldeante, con la aplicación del gel coat, y se completa con la posterior laminación de sucesivas capas de fibra impregnada de resina. Para poder efectuar esta operación el gel coat debe estar en estado de gel, lo que significa que debe tener una ligera adherencia pegajosa.

Para la aplicación de la primera capa de refuerzo conviene extender sobre el gel coat una capa de resina y después se coloca el refuerzo que vuelve a impregnarse con resina nuevamente, mediante brocha o rodillo, procurando que quede completamente cubierto.

La operación de impregnación con brocha se efectúa mediante un movimiento de picado sobre el refuerzo de vidrio, sin realizar movimientos de



laminado de la superficie. Realizada la operación correspondiente a la aplicación de la primera capa de refuerzo, se procede a efectuar una segunda aplicación de igual forma, y así sucesivamente hasta el espesor requerido.

Como durante la estratificación los tejidos de cada capa no son enteros, al colocarlos deben solaparse por lo menos 20 mm con el objetivo de que no se formen discontinuidades vacías en el laminado.

Por lo general, es preciso reforzar la pieza en determinadas zonas y por ello se colocan en los lugares deseados capas de refuerzo o bien se adaptan nervios mediante formas que han sido preparadas con anterioridad.

Cuando la pieza puede ser atacada por las condiciones ambientales a través de la parte más exterior del laminado, entonces se procede a la impregnación de la pieza con una última capa de resina especial, el top coat, que evita el ataque del laminado por este lado. Para que la terminación de la superficie rugosa mejore su apariencia se aconseja la utilización de un mat o tejido de superficie.

Cuando se utilizan las resinas de curado en frío, la polimerización continúa lentamente durante un largo tiempo después de endurecer la resina. Con la adición de catalizador y activador a una resina se origina una reacción que genera calor y se produce el curado de la resina. A veces conviene que el refuerzo sea lento con objeto de poder estratificar los refuerzos al laminado.

Una pieza debe estar por lo menos 24 horas en el molde, y aún después debe dejarse curar a temperatura ambiente de 20º C más o menos, durante dos semanas por lo menos. El curado en frío puede acelerarse mediante la aplicación de un calor moderado. Señalaremos que la temperatura debe elevarse ligeramente para evitar la evaporación del estireno. Antes de la gelificación no se debe pasar de 35ºC. Una vez endurecida la resina, el calor puede incrementándose gradualmente.



→ **Aplicaciones spray con proyección de fibra y resina:**

El equipo consiste fundamentalmente en un sistema de resinas de poliéster catalizadas y aceleradas, separadas en envases de presión individuales, las cuales se inyectan a través de una pistola con spray de dos salidas.

Las dos resinas están separadas hasta que salen por la boquilla en forma de spray, uniéndose luego con la fibra de vidrio cortada, que se produce y proyecta desde el cortador montado encima de las boquillas, la longitud de la fibra cortada varía de 0,6 a 3,8 cm. Las resinas y fibras así proyectadas y mezcladas son depositadas sobre la superficie del molde, formando con ello una capa que una vez laminada con un rodillo o brocha adecuados, se endurece al polimerizar. El ángulo de encuentro que forman las boquillas de proyección es ajustable para facilitar el punto de encuentro de las resinas.

La proyección de fibra y resina se controla con manorreductores de presión de aire y una vez ajustada la presión de proyección, que dependerá de la viscosidad de la resina y la relación resina/fibra de vidrio, se obtiene un rendimiento exacto.

Con este procedimiento la resina poliéster y la fibra de vidrio quedan distribuidas uniformemente por toda la superficie del molde en las proporciones adecuadas.

-Como ventajas de la laminación con spray pueden citarse:

- 1) Equipo fácilmente transportable.
- 2) El precio de coste del equipo es relativamente barato
- 3) Se utiliza hilo de roving, que es una forma económica relativa dentro de los tipos de refuerzos de características aceptables.
- 4) Las tasas de producción son más elevadas que con la técnica manual.
- 5) Los costes de producción se reducen para altas producciones.



-Como inconvenientes podemos citar:

- 1) Las piezas solo tienen una superficie lisa
- 2) La uniformidad de las capas queda a juicio del operario.
- 3) El procedimiento de spray resulta poco económico para pequeñas producciones.
- 4) Resulta difícil de obtener un reparto uniforme de las capas en moldes pequeños.

5.5.2) MOLDEO POR PREFORMADO

El preformado se aplica para designar masa de fieltro colocadas sobre pantallas reticuladas adaptadas estrechamente a los contornos del molde definitivo. La masa se mantiene unida mediante una pequeña cantidad de resina. Hay 2 sistemas:

➔ **Seco:**

Este sistema puede dividirse a su vez en dos subsistemas, en uno de ellos se dirige mediante presión un chorro de fibra de vidrio cortada, que se impregna con la resina, procedente de una pistola que maneja un operador, a una de las pantallas reticuladas que están situadas sobre un tambor que da vueltas. El otro método consiste en que una cámara aspira el hilo cortado al mismo tiempo que es rociado con resina al caer sobre la pantalla de la preforma.

➔ **Húmedo:**

El hilo de vidrio cortado viene pre impregnado con resina de poliéster pigmentada y se trata con fibra celulósica de un depósito que contiene líquido. Después se extrae la preforma y se seca con aire caliente hasta que adquiere la suficiente consistencia para ser manejada. Una vez realizadas estas operaciones se coloca la preforma sobre un útil formado por dos matrices enfrentadas y se añade resina para rellenar los huecos durante la operación de prensado que se efectúa mediante el apriete de las dos matrices citadas. El moldeo de preformas se



considera el más económico para producir formas complejas en ciclos continuos de producción.

5.5.3) MOLDEO POR BOBINADO

Para obtener una utilización muy eficiente de la fibra de vidrio, aprovechando al máximo sus propiedades mecánicas, se emplea este método, consistente en un bobinado de filamentos continuos de roving sobre un útil.

La tensión del vidrio puede controlarse durante el enrollamiento, se puede pretensar una determinada hebra con una tensión determinada, siendo la resistencia a tracción de las piezas acabadas lo más alta posible. Con este método se obtiene la relación más alta resistencia/peso.

5.5.4) SACO DE VACÍO

En este procedimiento el laminado se cubre con una hoja de celofán o poliacetato de vinilo y se hace vacío. La presión del aire exterior facilita la distribución de la resina.

5.5.5) SACO DE PRESIÓN

Consiste en la aplicación de aire a presión (hasta 3.5 kg/cm^2) en una cámara formada por una lona de caucho que se adapta al laminado y una placa metálica que cierra el laminado por su parte interior.



5.5.6) MATRICES METÁLICAS

Con el procedimiento de matrices metálicas enfrentadas pueden conseguirse las mejores propiedades sobre la base de una rápida producción. En esencia el método consiste en el moldeo con calor y presión de la resina y el refuerzo, produciendo piezas que tienen una excelente uniformidad y acabado.

5.5.7) PULTRUSIÓN

Se utiliza la pultrusión para obtener perfiles, placas, etc. Mediante un proceso continuo. En este método el hilo de vidrio procedente de los carretes pasa a un baño de resina y posteriormente a una boquilla de acero que controla la resina y fija la forma de la pieza. El curado se efectúa arrastrando el troquel a través de un horno y después se corta el laminado continuo según las longitudes deseadas.

5.5.8) COLADA CENTRÍFUGA

Es un método que se emplea sobre todo para la fabricación de tuberías y depósitos. La pieza se forma sobre el interior de un mandril hueco. El refuerzo cortado y la resina se colocan dentro del mandril y son distribuidos uniformemente cuando giran en un horno.

5.5.9) LAMINADO CONTINUO

Los tejidos o capas de mat pasan en este proceso a través de un baño de resina y posteriormente entre dos láminas continuas de celofán que cubren su superficie por arriba y por debajo, y que se adaptan a los refuerzos mediante cilindros que controlan el espesor y contenido de resina. El curado se efectuará en un horno.



5.5.10) PREIMPREGNADO

Es una combinación de resinas y refuerzos dispuestos en hojas u otras fácilmente manejables. Se producen por impregnación en continuo de refuerzos con resinas mediante dispositivos adecuados que controlan las cantidades de los componentes. Las resinas se mantienen en el preimpregnado en una situación de polimerización parcial lo que permite el almacenamiento durante períodos que fijan en cada caso los fabricantes de resinas.

Al someter a calor y presión los preimpregnados en el momento de elaboración de las piezas, se efectúa el curado total de la resina.

5.5.11) LAMINADO SANDWICH POR VACÍO

En esta técnica los refuerzos de fibra de vidrio se depositan sobre el molde sin resina. Después de efectuada la operación anterior se aplican sobre los tejidos bloques de espuma según el espesor de proyecto. Posteriormente se cubren los bloques de espuma nuevamente con refuerzos, uniendo las capas en contacto con el molde con las últimamente depositadas.

A continuación se tapa el sandwich seco así formado, con una lona especial que se une al molde por el contorno aislando el sándwich del contacto con el exterior.

El molde y la lona poseen determinados orificios que sirven unos para extracción del aire del interior y otros para la entrada de la resina una vez producido el vacío. Cuando la resina ha impregnado el refuerzo se deja curar el sándwich procediéndose después al desmolde.

Esta técnica se utiliza para producción de paneles y cascos de embarcaciones. Con este sistema se pueden construir barcos de hasta 40 metros de eslora.



CAPÍTULO VI. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL CASCO



6.1. EL TALLER

El moldeado de cascos de barcos de plástico debe llevarse a cabo bajo condiciones controladas si se quiere mantener un trabajo de calidad. Las condiciones del taller serán por tanto de vital importancia si la resina debe llegar a sus máximas propiedades mecánicas.

Un astillero de PRF puede ser ampliamente dividido en dos secciones diferenciadas:

- a) La sección de plástico que comprende el taller de moldeado y sus talleres asociados y almacenes que manejan las resinas y los refuerzos.
- b) El cobertizo de ensamble y su taller de madera, pintura y almacenes generales y un taller de maquinaria para el mecánico.

Entre las condiciones en las que debe encontrarse el taller del departamento de PRF destacamos:

- Adecuada iluminación ya sea por luz natural, artificial o una combinación de las dos. Si se deja incidir la luz solar directamente puede provocar la excesiva evaporación del estireno.
- La luz fluorescente se instalará debe instalarse bastante arriba de la superficie de los moldes, pues emite radiaciones ultravioleta que tienen el mismo efecto que la luz solar.
- Los cables y las mangueras deben ser lo más corto posible para manejar mejor y más fácilmente el equipo y resulta un suelo menos obstruido.
- La humedad relativa no debe exceder 80%. Por encima de este nivel, las fibras de vidrio pueden tomar humedad, lo cual afectará el curado y la unión.
- El equipo para rociado de resina necesitará un sistema de aire comprimido que debe tener un nivel muy bajo de humedad de manera que se evite contaminar la resina.



- Los ventiladores no deben apuntar a los moldes ni causar una evaporación excesiva. En las áreas de ajuste y lijado, ventiladores de tiro vertical que succionan en vez de soplar resuelven la problemática de soplar el polvo sobre los trabajadores y los laminados húmedos.
- Las puertas principales del taller deben ser lo suficientemente grandes para permitir que las embarcaciones sean desplazadas sin riesgo de daños.

6.2. MODELO DEL CASCO

Las cuadernas del modelo se erigen en una posición invertida sobre un piso firme. Esto es usualmente una armazón fuerte de madera, colocado sobre un suelo nivelado. Cuando toda la estructura es erigida, el esqueleto puede ser forrado con tiras de madera o acabado con cualquier otro material que se juzgue conveniente para obtener la forma del casco. En el borde de la cubierta, que en este caso estará cerca del suelo mientras que la quilla está a una distancia arriba de ésta, se coloca una pestaña de madera terciada de manera que durante el proceso de moldeo, el PRF en estado de gel, pueda ser recortado para dejar un laminado sólido con un borde limpiamente cortado.

Es usual cubrir el modelo con una capa de PRF tan pronto como la forma en bruto de la embarcación esté lista, para reducir la distorsión debida al encogimiento de la madera. Esta capa puede ser resanada donde sea necesario con pasta de resina para corregir pequeñas depresiones que serían evidentes una vez la capa de PRF está consolidada.

Así mismo, cualquier irregularidad que descomponga las líneas debe ser quitada lijando a mano. Este proceso de terminado a mano será repetido hasta que el encargado considere el modelo lo suficientemente suave para recibir una capa de gelcoat para moldes. Mientras más tiempo se dedique al lijado a mano con lija seca o de agua, mejor



será el modelo. Más rellenado con pasta de resina puede ser necesario hasta obtener un acabado satisfactorio.

El pulido con una cera sin silicón para dar 5 a 7 capas y un lustre brillante, precede a una capa de agente desmoldante de APV (alcohol polivinílico), lo cual es el paso final antes de empezar el molde propiamente dicho. Una cubierta contra polvo es útil en las etapas finales.

6.3. EL MOLDE

Para la realización del molde el proceso es el inverso de la fabricación del modelo. Su espesor puede ser del doble del casco terminado.

No hay mucha justificación para usar petatillo en el molde pues el espesor de la colchoneta da la requerida estabilidad dimensional. Una vez que el molde ha curado, refuerzos rígidos pueden ser pegados a la parte de afuera, de manera que haya un refuerzo exterior para soportar al molde cuando se suelte y proveer una estructura para sujetar y permitir que se pueda mover dentro del taller.

El molde de una sola pieza puede ser quitado directamente del modelo en el caso de una embarcación pequeña pero salen algunas complicaciones si el diseño tiene curvas inversas, espejo invertido, una quilla profunda y angosta o simplemente por el hecho de ser muy grande.

Si se sospechan zonas que por efectos de vacío sean difíciles se deben dejar hechos tubos de entrada en el molde durante la construcción del modelo/molde de manera que aire comprimido o agua a presión puedan ser introducidos para mejorar la separación entre molde y casco. El proceso es el siguiente: antes de que el gelcoat que formará la superficie del molde sea rociado en el modelo, se fijan entradas en el modelo con arcilla de modelar. El gelcoat y el laminado se colocan alrededor de éstas, dejando la parte de conexión de esta entrada sobresaliendo a través del laminado terminado.



Como alternativa si el molde tiene ángulos agudos de salida creados por la forma del casco, entonces podemos usar un “molde partido”. Este es un molde que está hecho en dos o más piezas de manera que permita un acceso más fácil a áreas consideradas difíciles de moldear o de separar las piezas moldeadas cuando la forma no permita la salida si fuese un molde de una sola pieza.

Cualquier comprador de una embarcación de PRF esperará una embarcación de primera clase, de manera que el molde debe mantenerse en óptimas condiciones. Por ello, cada vez que se moldee debe revisarse por daños y recibir una capa de cera. La prioridad es mantener las superficies internas tan suaves y lisas como sea posible.

De igual forma, si el molde va a someterse a períodos de larga inactividad, necesita ser guardado bajo cubierta. La exposición al sol y al aire no se recomienda pues la superficie brillante del gelcoat pronto se hará opaca. Los moldes pequeños pueden ponerse boca abajo o cubiertos con una funda.



ANEXO I. PLANEADORES



1.1. CONDICIONES DE PLANEADO:

Cuando una embarcación planea parcial o totalmente, navegando en aguas tranquilas a velocidad constante, actúan sobre él un conjunto de fuerzas de distinta naturaleza que no son pocas ni fáciles de calcular.

Para describir las características del comportamiento durante la navegación en aguas tranquilas de un buque se recurre a adimensionalizar su velocidad por medio del número de Froude que gobierna la relación entre las fuerzas de inercia y las de gravedad actuantes en cada momento.

$$F_{NL} = \sqrt{\frac{V}{g \times L_S}}$$

Dos buques semejantes que naveguen al mismo número de Froude generarán también trenes de olas semejantes.

Por otro lado, la longitud de ola producida por un punto de presión que se desplaza a una cierta velocidad constante en aguas de profundidad ilimitada viene dada por la expresión:

$$L_W = \frac{2 \times \pi}{g} \times V^2$$

Eliminando la velocidad entre las dos ecuaciones anteriores, queda una relación aproximada entre la longitud de la ola transversal generada por la roda de un buque que se desplaza a una cierta velocidad constante, y su eslora en la flotación, en función del número de Froude:

$$\frac{L_W}{L_S} = 2 \times \pi \times F_{NL}^2$$

Según va aumentando la velocidad, la magnitud, naturaleza y punto de aplicación de todas y cada una de las fuerzas actuantes sobre la embarcación varían, con lo que lo



hace también la posición de equilibrio del planeador. De ello se deduce que, evidentemente, la posición de equilibrio es distinta para cada velocidad de navegación.

Actitud del planeador en función del número de Froude:

- Si el número de Froude es cercano o inferior a, aproximadamente, 0.30 la resistencia de la embarcación es principalmente de origen friccional, el desplazamiento se compensa casi en su totalidad con fuerzas hidrostáticas, y el caso se mueve hundiéndose algo con relación a su flotación en reposo y navegando sobre unos dos largos de ola que él mismo genera.
- Superando $F_{NL} = 0.30$, la resistencia por formación de olas va aumentando con la velocidad, haciéndolo muy rápidamente para $F_{NL} = 0.35$, hasta que para $F_{NL} = 0.40$ el buque navega sobre un largo de la ola que genera.

En esta situación, y para números de Froude mayores, la resistencia por formación de olas constituye una barrera para el aumento de velocidad que es franqueada muy costosamente para las embarcaciones de desplazamiento puro.

Este límite práctico se puede explicar debido a que las formas de los buques convencionales son redondas, por ello, al aumentar la velocidad del barco, lo harán más aún las velocidades locales del agua sobre el casco con lo que se desarrollarán presiones negativas, es decir, menores que la hidrostática correspondiente, que harán que el buque se hunda pesadamente trimando por popa.

La forma de vencer ésta dificultad en embarcaciones de un solo casco, se basa en evitar cuerpos de popa con formas excesivamente convexas, y en fomentar una separación clara y limpia del flujo del agua sobre la carena para evitar las presiones negativas y conseguir que la embarcación adopte una navegación cómoda. También es muy importante dar volumen en la zona de popa del buque para que se oponga a la succión creada por el flujo y reducir así su hundimiento.



Para ello se deben alterar las formas clásicas de los barcos, curvadas longitudinalmente hacia la flotación y con popa de crucero, que están pensadas para minimizar la separación del flujo sobre el casco y, con ello, la resistencia a las relativamente bajas velocidades de las embarcaciones convencionales.

Las formas apropiadas para planeadores serán formas del cuerpo de popa que proporcionen longitudinales poco inclinados y prácticamente rectos, casi sin curvatura y que mueran en una popa de espejo.

Figura 1.1.a compara formas de una embarcación convencional con las de una embarcación rápida (línea azul). Vista frontal.

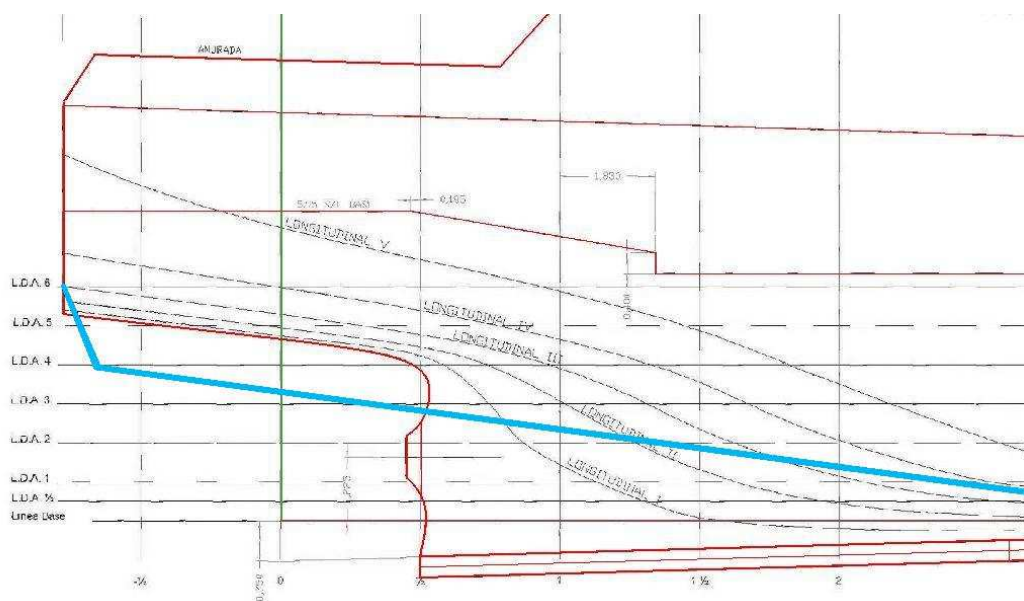




Figura 1.1.b comparación de la vista en planta.

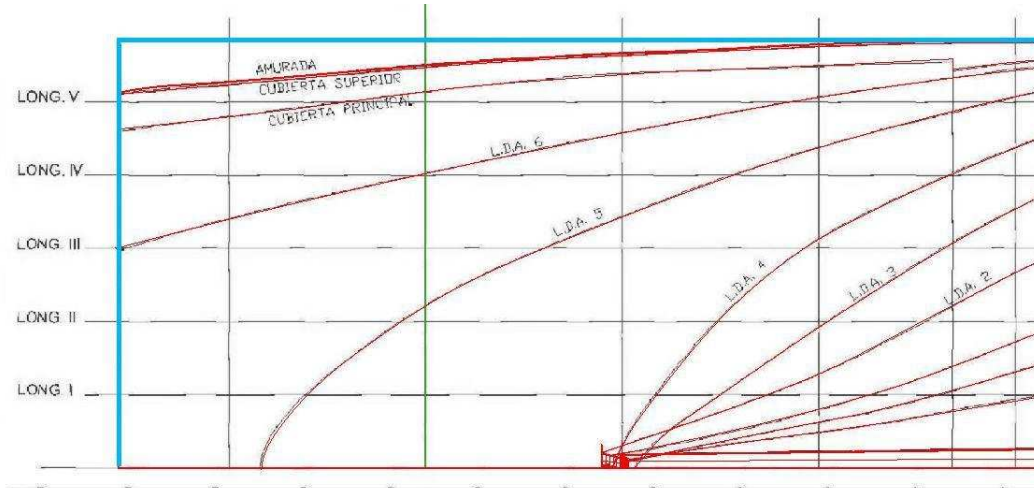
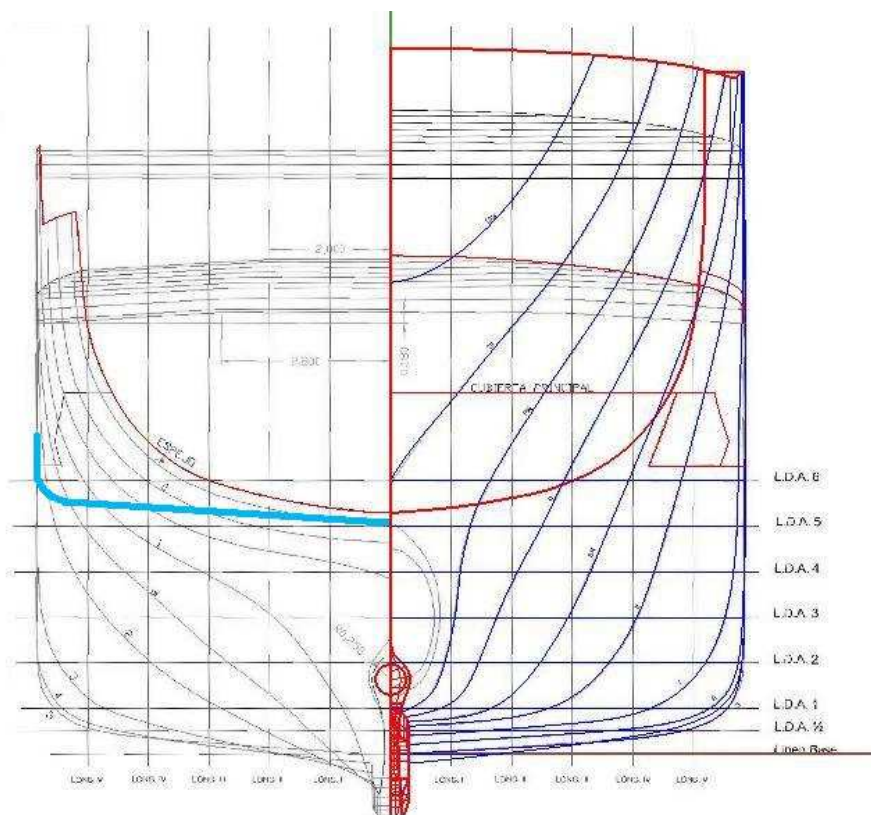


Figura 1.1.c comparación de la vista en perfil.





- ➔ A partir de $F_N = 0.45$, la segunda cresta de la ola generada por el planeador se alejará de la popa del barco, y ésta, al presentar un cierto volumen, no se hundirá tanto en el seno de la ola. Los longitudinales poco curvados disminuirán también la separación no deseada del flujo en ellos, y por lo tanto el riesgo de que aparezcan presiones negativas en el casco. A pesar de todo ello, la resistencia por formación de olas presentará su máximo a estos números de Froude.
- ➔ Si la velocidad sigue creciendo, la sustentación generada en el casco aumenta y se empieza a planear; la segunda cresta se aleja del espejo y este se quedará seco, creándose un seno aguas abajo del mismo.

El centro de gravedad de la embarcación, que desciende con respecto a la flotación al navegar a velocidades bajas, ya empieza a levantar con respecto a dicha flotación, reduciéndose así tanto el volumen de carena sumergido como la superficie mojada del casco.

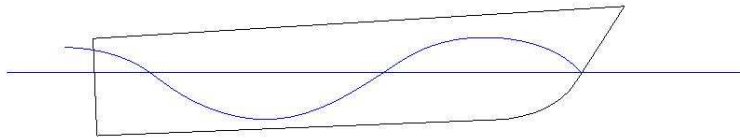
- ➔ Al crecer aún más la velocidad, la resistencia de fricción vuelve a aumentar su contribución a la resistencia total al avance, llegando ésta a ser casi totalmente de origen friccional a las velocidades de planeo. En estas condiciones se puede disminuir aún más la superficie mojada disponiendo junquillos y/o escalones transversales en el fondo del planeador.

Según aumente la velocidad de proyecto del planeador serán más convenientes longitudinales más rectos aún y popas de espejo más anchas y más hundidas, aunque puedan emplearse todavía secciones transversales más o menos redondas.

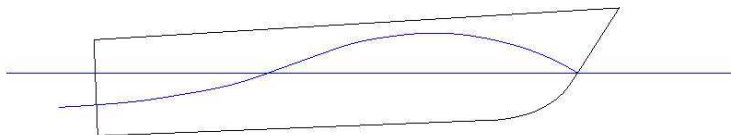


Figura 1.1.d: esquematiza los largos de ola de navegación a distintos números de Froude.

Para $F_{NL} = 0.35$:



Para $F_{NL} = 0.45$:



Para $F_{NL} = 0.80$:



El flujo alrededor de una popa de espejo de una embarcación planeando se caracteriza porque dicho flujo se despega y se separa. Es importante destacar que la parte del espejo que en reposo estaba sumergida ahora queda seca. También destaca cómo se forma un seno de ola tras el espejo que acaba levantándose en una cresta que puede dar una idea del aumento de eslora virtual de navegación del planeador sin ningún incremento de superficie mojada.

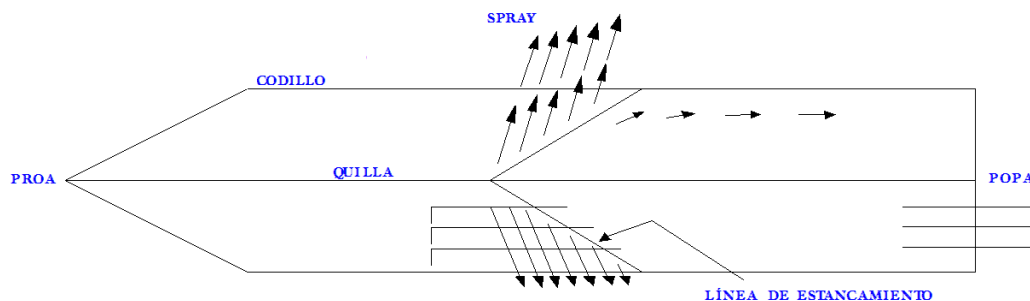


1.2. FLUJO Y PRESIONES EN EL CASCO DE UN PLANEADOR:

Una de las fuerzas principales que actúan sobre un planeador es, lógicamente, la sustentación dinámica que se genera en su fondo. La magnitud y distribución de ésta sustentación se puede discutir a partir del teorema de Bernoulli: *“Cuanto menor sea la velocidad del agua sobre el casco mayor será la presión sobre el fondo y viceversa.”*

La figura 1.6 muestra un esquema del flujo de agua sobre el casco de un planeador de formas prismáticas que navega a velocidad constante con un cierto trimado dinámico. Se observa que se establece una línea de estancamiento del casco que da lugar a una línea de presiones máximas. A popa de esta línea las presiones van disminuyendo anulándose en el espejo de popa donde se tendrá presión atmosférica.

Figura 1.2.a:



A popa de la línea de estancamiento el casco del planeador está mojado. A popa de esa línea, la componente transversal de la velocidad del flujo se reduce rápidamente hasta que las líneas de corriente quedan paralelas al plano de crujía, es decir que el flujo sigue los longitudinales del casco.



A proa de la línea de estancamiento el agua sigue trayectorias con una componente transversal muy pronunciada, incluso una parte del flujo invierte su sentido. Una parte de este flujo desigual que moja al casco a proa de la línea de estancamiento, sin producir sustentación se suele llamar spray.

1.3. RESISTENCIA AL AVANCE DE UN PLANEADOR:

La resistencia al avance de un planeador en aguas tranquilas puede dividirse en:

- a) Resistencia viscosa formada por una componente de fricción en la zona de presión, función del número de Reynolds, y otra de presión de origen viscoso, pequeña a números de Froude por encima de 0.60, que incluye el efecto de la forma del casco distinta de la placa plana, separaciones de flujo, formación de torbellinos, etc.
- b) Resistencia inducida por la sustentación, esto es, la componente horizontal de las fuerzas de presión hidrodinámica. Varía linealmente con el ángulo de trimado dinámico.
- c) Resistencia por la generación del spray que tiene una componente de presión y una viscosa. Esta resistencia es difícil de calcular al no tenerse certidumbre ni sobre la velocidad del spray, ni sobre su grado de turbulencia y, ni siquiera, sobre el valor de la superficie que moja. Suele despreciarse para las velocidades bajas.
- d) Resistencia por formación de olas, que resulta relativamente pequeña a velocidades de planeo.
- e) Resistencia de apéndices: timones, quillotes, arbotantes, aletas estabilizadoras, quillas de balance, etc. En este apartado se incluye la resistencia de origen friccional, la de perfil, la de interferencia entre apéndices, la inducida por la sustentación que puedan generar y la debida a la cavitación.



- f) Resistencia aerodinámica de la obra muerta y de las superestructuras.
- g) Resistencia parásita: entradas de agua de refrigeración, ánodos de sacrificio, etc.
- h) Resistencia añadida debida a las olas que pudieran existir en la mar, a guiñadas producidas al gobernar el buque, etc.



ANEXO II. ESTABILIDAD EN PLANEADORES



2.1. INESTABILIDAD DINÁMICA DE LOS PLANEADORES:

El planeador alcanza su posición de equilibrio en aguas tranquilas cuando, navegando a velocidad constante, se equilibran todas las fuerzas y momentos actuantes. Éstas se describen muy brevemente a continuación:

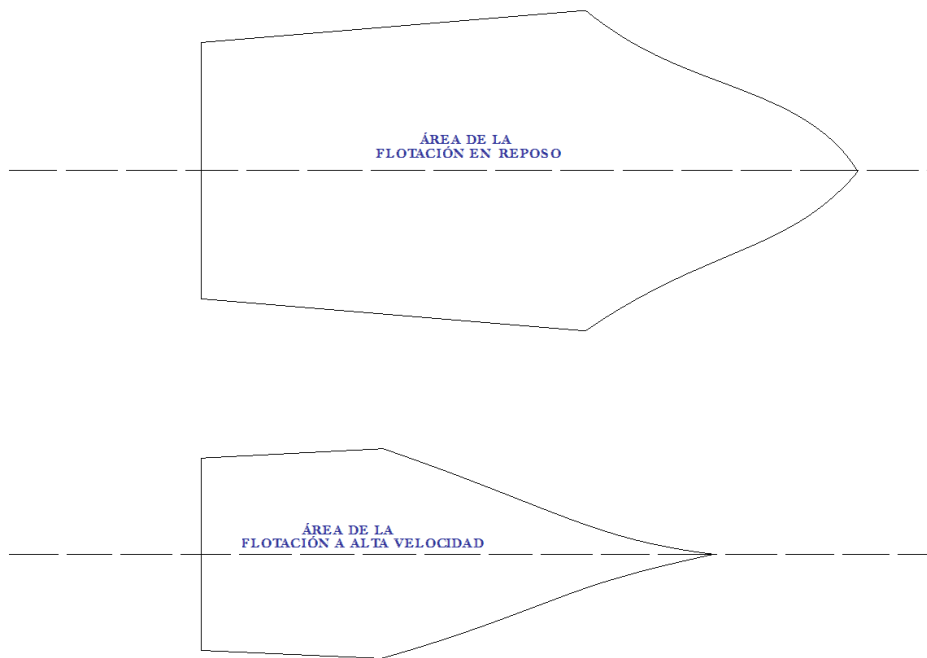
- Fuerzas gravitatorias: peso del buque (Δ).
- Fuerzas debidas al empuje hidrostático generadas en las partes del casco que permanecen sumergidas.
- Fuerzas debidas a la sustentación hidrostática (N) que se genera en el fondo del planeador. Estas fuerzas dan lugar a una sustentación vertical neta y a una resistencia al avance inducida.
- Resistencia al avance del casco (D_f), principalmente de origen friccional a las velocidades de planeo, pero con otras componentes a velocidades de preplaneo o semiplaneo (por formación de olas, resistencia de formas, etc.)
- Resistencia al avance y sustentación generada en todos y cada uno de sus apéndices (timones, arbotantes, líneas de ejes, etc.)
- Fuerzas de empuje (T) generadas por los propulsores de la embarcación (hélices o chorros de agua).

Al ir aumentando con la velocidad la sustentación dinámica y variando su punto de aplicación, disminuye también la obra viva y la superficie mojada dando lugar a una disminución de la resistencia al avance.

Si se aumenta la velocidad del planeador todas las fuerzas actuantes se modificarán y se volverán a equilibrar dando lugar a un nuevo trimado dinámico y, por lo tanto, a una disminución del área de la flotación y a una variación de la forma de ésta.



Figura 2.1.a Variación de la flotación.



Por lo general, la inercia de la flotación disminuirá con lo que lo hará la estabilidad de formas del vehículo y, por lo tanto, se favorecerán las inestabilidades de balance, guiñada y cabeceo del planeador incluso en aguas tranquilas.

Los junquillos anti-spray o de fondo, cuya finalidad principal es la de controlar la superficie mojada del casco propiciando la separación del flujo o del spray, suministran también una aportación adicional a la estabilidad transversal de la embarcación que puede resultar necesaria si se requiere una navegación segura a altas velocidades sin riesgo de que se produzcan trompos, guiñadas o balances bruscos.

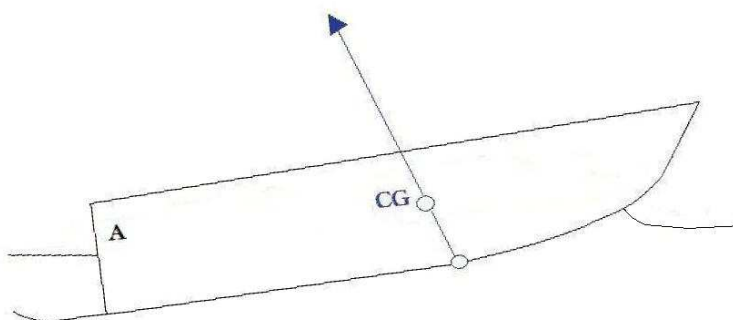


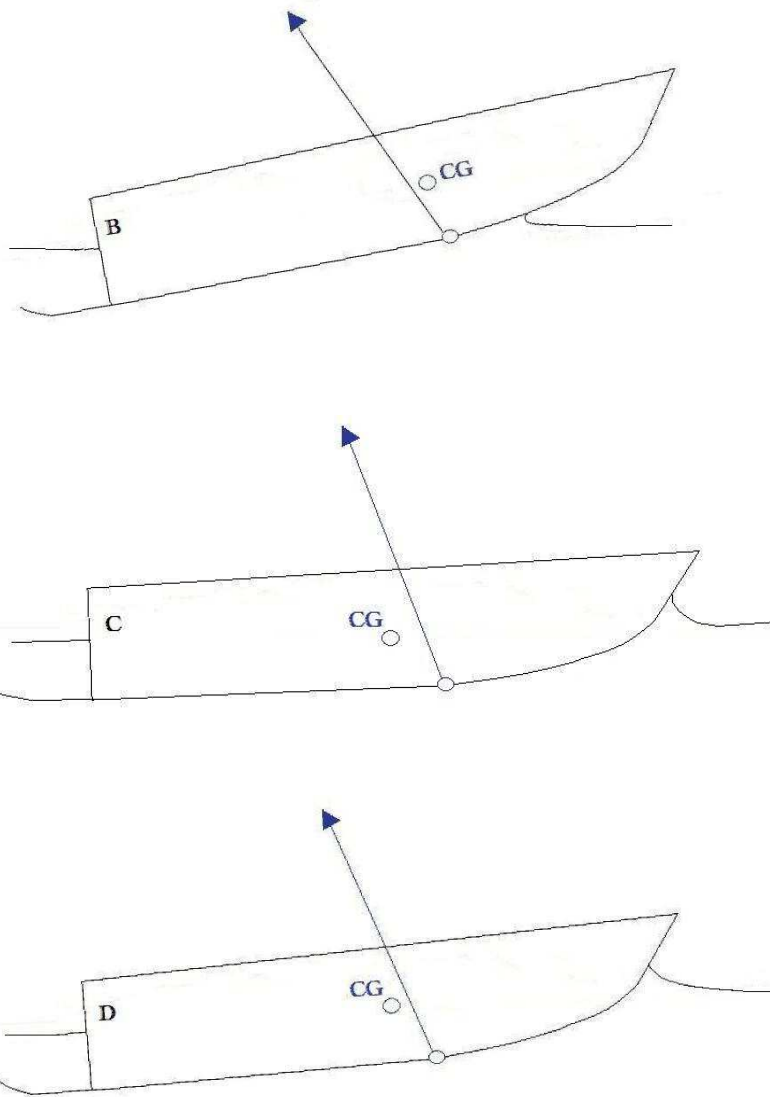
Trimados excesivamente pequeños o excesivamente grandes también son causa de peligrosas inestabilidades en aguas tranquilas. De ahí, se insiste en la importancia de controlar durante la construcción del planeador la posición del centro de gravedad.

Debemos mencionar que durante la navegación a alta velocidad de un planeador en aguas tranquilas se puede dar un fenómeno de inestabilidad longitudinal denominado en inglés “porpoising”, consistente en la variación cíclica del punto de aplicación de la resultante de las fuerzas de sustentación dinámicas e hidrostáticas. Dicha variación causa el cambio de sentido del par formado por esta resultante y por el peso de la embarcación haciéndola cabecear suave pero continuamente. Este fenómeno puede irse autoamplificando y resultar, por tanto, muy brusco y peligroso al posibilitar los trompos en el plano vertical.

Los planeadores navegando a velocidades mayores, con mayores trimados y/o con menores astillas muertas son más propensos al “porpoising” que aquellos más lentos con trimados menores y/o con astillas muertas mayores.

Figura 2.1.b: Desarrollo del porpoising o caballeo.





2.2. CONTROL DEL TRIMADO DINÁMICO:

Si el trimado resultante es excesivamente alto el planeador será propenso al porpoising y si es excesivamente bajo será propenso al “chine walking”, que se basa en la generación de presiones negativas en los redondos de proa del buque que tienden a



succionar el casco escorándolo hacia una banda. Esta escora se para al sumergirse el codillo o algún junquillo lateral. Se recupera de la escora y empezará a escorarse hacia la otra banda. Proceso que puede repetirse y amplificarse hasta causar violentos trompos horizontales en la embarcación, de ahí el nombre “chine walking”, es decir, caminando sobre los codillos.

Puede darse el caso de que una embarcación con suficiente potencia como para poder planear cómodamente, no llegue a hacerlo por adoptar en la zona de preplaneo un trimado tal que haga aumentar la resistencia al avance hasta el punto de que no pueda llegar a superar la resistencia y, por tanto, no llegue a alcanzar las condiciones de planeo.

Es por lo tanto conveniente dotar a estas embarcaciones de algún dispositivo que permita actuar sobre su asiento dinámico.

El recurso de movimientos de pesos o de trasiego de lastre o combustible no es de aplicación en estas embarcaciones en las que la minimización del peso del buque en rosca es el principal objetivo. Muy al contrario, en estas embarcaciones se tiende a colocar los tanques de combustible en la vertical del centro de gravedad del planeador para evitar cambios en su trimado al irse consumiendo el gasoil.

Normalmente para controlar el trimado dinámico de la embarcación se dispone el uso en popa de cuñas fijas o flaps deflectores ajustables tal y como se muestra en las siguientes figuras.



Figura 2.2.b: Cuña de popa.

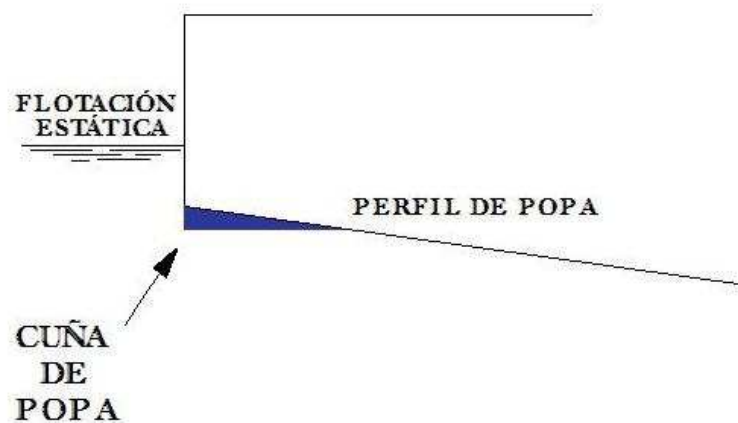
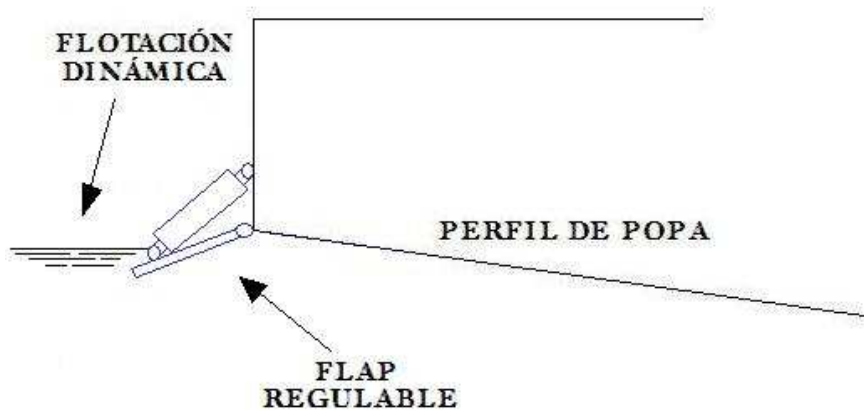


Figura 2.2.c: Flap regulable.



Las cuñas son postizas y se adosan a la popa cuando se han detectado, o se prevén, trimados excesivos. Funcionan, al igual que los flaps, alterando el campo de presiones en la popa de la embarcación para generar ahí una sustentación que reduzca el trimado de la embarcación.



Los flaps normalmente son regulables mediante mecanismos hidráulicos. Resultan más caros que las cuñas y son efectivos para amplias gamas de velocidades de navegación. Sin embargo, las cuñas sólo son efectivas para una cierta gama de velocidades.

También pueden usarse interceptores activos cuya instalación resulta más ligera que los flaps. Se usa una placa vertical adosada al espejo que se hace sobresalir más o menos con respecto al fondo de nuestro espejo de popa.

2.3. COMPORTAMIENTO EN LA MAR:

El comportamiento en la mar resulta fundamental en cualquier embarcación rápida y no lo es menos para los planeadores. Su estructura ha de calcularse para soportar, sin daños y frecuentemente a lo largo de la vida de la embarcación, las cargas debidas a los impactos con las olas que, dependiendo del estado de la mar, de la velocidad y del tamaño del buque, pueden inducir aceleraciones varias veces superiores a la de la gravedad.

Los buques de desplazamiento o de semidesplazamiento siguen el contorno de las olas, sin embargo los planeadores van saltando de ola en ola. Los “golpes” sucesivos en las olas son la causa de que se generen importantes aceleraciones a bordo. Aún así, los movimientos de cabeceo de un planeador a velocidades bajas suelen ser como el doble de dichos movimientos a velocidades de planeo.

- ➔ Las aceleraciones verticales debidas a impactos con las olas varían linealmente con el trimado siendo su intensidad, a igualdad del resto de parámetros, inversamente proporcional al ángulo de astilla muerta y directamente proporcional al cubo de la manga.
- ➔ Ángulos de trimado pequeños disminuyen las aceleraciones inducidas por los impactos y, a la vez, suelen causar aumentos de la resistencia añadida en olas.



- ➔ Valores pequeños de la astilla muerta en proa favorecen también la pérdida de velocidad cuando se navega en olas de proa.
- ➔ Cuadernas convexas y la curvatura de los longitudinales de proa, que resultan en mayor o menor medida inevitables, favorecen las bajas presiones en el casco y la formación del spray. Debemos reducir éste en la medida de lo posible ya que ocasiona incomodidades en la navegación, baja visibilidad, cubiertas mojadas e incremento de la resistencia al avance.
- ➔ Proas finas se sumergirán más en los impactos por lo que se combinarán con mayores francobordos. La intensidad de dichos impactos se puede reducir disponiendo en la zona de proa secciones de formas especiales, por ejemplo de campana invertida, que tienen el inconveniente de que son difíciles de construir y de que presentan una mayor resistencia al avance.

Se ha de diseñar un planeador cuyas características principales surjan de encontrar una solución de compromiso entre el logro de su mejor eficacia durante el planeo en aguas tranquilas, y de buen comportamiento en la mar que garantice primero la seguridad de la embarcación, luego la de las personas embarcadas y por fin, el mantenimiento en olas de una velocidad suficientemente elevada.

Además sabemos que cuando un buque navega en mares de popa a una velocidad cercana a la de las olas, caso de los planeadores, la frecuencia de encuentro puede hacerse prácticamente nula cuando la popa “se apoya” en la cresta de la ola.

- ➔ Si en cierto momento se empieza a perder este sincronismo y la embarcación cae hacia la cresta de la ola anterior, puede verse frenado por esta cresta que hará hocar aún más al buque. Así, la embarcación se encuentra de repente con su velocidad muy reducida, con su capacidad de gobierno degradada y, quizás con agua embarcada en cubierta.



→ Dado que las olas van empujando la popa del buque existe el riesgo de que cualquier mínima guiñada pueda amplificarse hasta hacer que el planeador se atraviese a la mar y producirse entonces la zozobra repentina de la embarcación (broaching).

Los buques con poca estabilidad de ruta en aguas tranquilas o con mucho volumen de carena en popa o poco en proa, caso de los planeadores, son los más propensos a la zozobra repentina.

Aquellas embarcaciones de semidesplazamiento cuyas formas sean redondas son más propensas al broaching, tanto por su configuración como por sus velocidades de operación que los planeadores de codillo pronunciado.

Conclusión: si se quiere dar máxima prioridad al comportamiento en la mar de un planeador se han de dar mangas estrechas con grandes astillas muertas combinadas con bajos trimados dinámicos de operación.



BIBLIOGRAFÍA

-“Construcción de embarcaciones pesqueras: 2. Construcción de embarcaciones pesqueras en fibra de vidrio.”- Ned Coackley, Y. Bryn. Reino Unido.

-“Materiales compuestos. Tecnología de los plásticos reforzados” – Universidad Politécnica de Madrid. J. L. González Díez.

-“Hidrodinámica de embarcaciones rápidas. Tomo I.”- Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, UPM. Departamento de Artes Gráficas. D. José M^a González Álvarez-Campana.

-“Hidrodinámica de embarcaciones rápidas. Tomo II”- Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, UPM. Departamento de Artes Gráficas. D. José M^a González Álvarez-Campana.

-“Proyectos de buques y artefactos. Anteproyecto y dimensionamiento preliminar. Contrato de construcción.” – Prof. Fernando Junco Ocampo. Ingeniería naval y oceánica, Universidad da Coruña, Escuela Politécnica Superior.

-“<http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/DC8FF374-830A-4AA0-A08D7D510458E517/17503/RD21272005.pdf>”

-“<http://www.anen.es/index.php?op=menu&mid=2&smid=16&ide=311>”

-“<http://www.anen.es/index.php?op=menu&mid=2&smid=16&ide=349>”

-“http://www.aenb.es/index.php?option=com_content&task=view&id=1467&Itemid=192”

-“<http://estudiotecniconaval.blogspot.com>”

-“<http://gestoriapicaza.files.wordpress.com/2009/04/folleto.jpg>”



-“<http://img228.imageshack.us/img228/9508/prueba4nv1.jpg>”

-“<http://www.masmar.net/esl/N%C3%A1utica/Barcos-a-Motor/Conceptos-b%C3%A1sicos-para-la-compra-de-una-embarcaci%C3%B3n-a-motor/La-Carena.-Los-Redanes>”

-“<http://www.mimecanicapopular.com/verbotes.php?n=384>”