



## **7- DESARROLLO DE FORMAS**

- 7.1 –Perfil exterior y distribución de interiores
- 7.2- Introducción
- 7.3- Análisis de formas
  - 7.3.1- Análisis de las formas de proa
  - 7.3.2- Análisis de las formas de popa
  - 7.3.3- Análisis de la curva de áreas seccionales
  - 7.3.4 - Análisis de los coeficientes de forma
- 7.4- El efecto timón
- 7.5- Comportamiento en la mar
- 7.6- Estimación de la velocidad
- 7.7- Metodología para el desarrollo de formas
- 7.8- Desarrollo de carenas
- 7.9- Análisis de los resultados obtenidos
- 7.10- Conclusiones

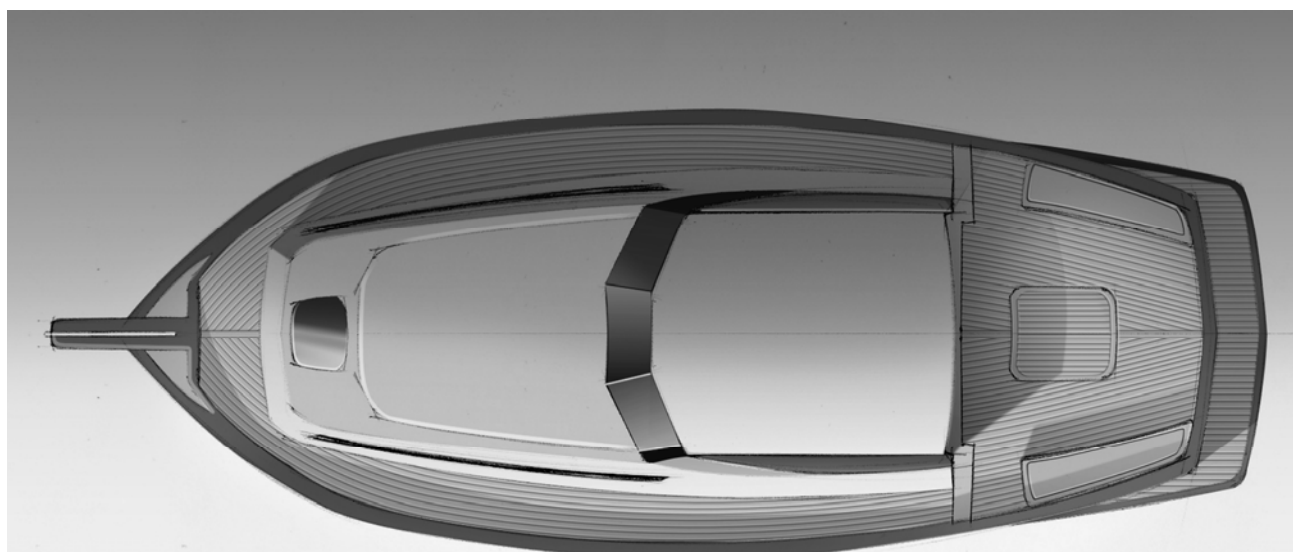
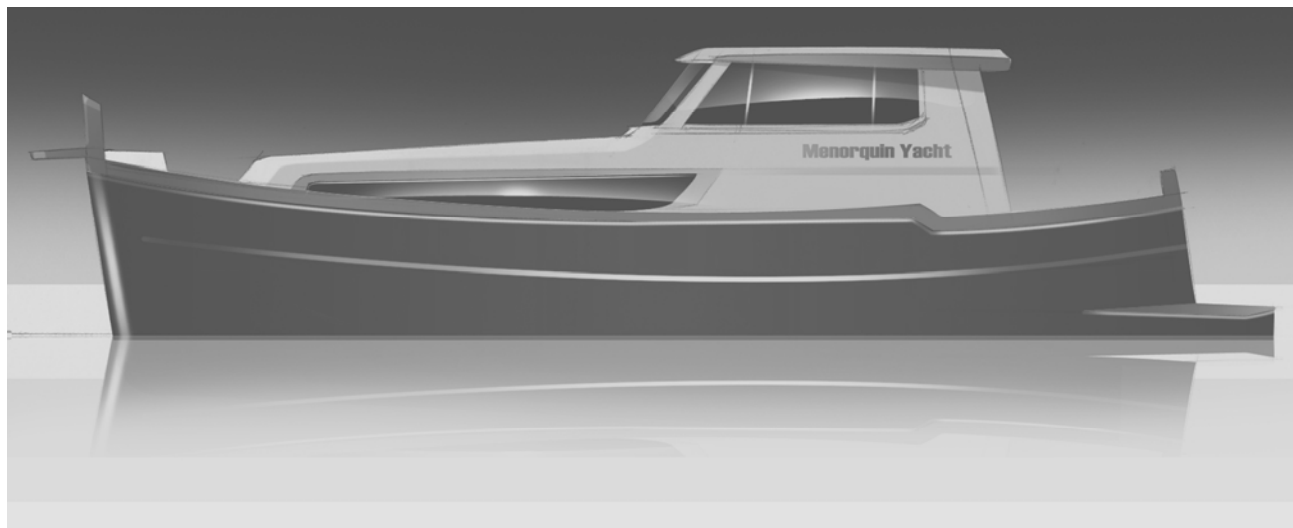
## **7- DESARROLLO DE FORMAS**

### **7.1 –Perfil exterior y distribución de interiores**

El primer paso en el desarrollo de formas, antes de entrar a analizar todos los coeficientes y parámetros que van influir sobre el casco, es el de dibujar un boceto que nos sirva como guía conceptual estética. (En el ANEXO I puede verse el boceto a color)

Con la única intención de llevar al Menorquín Yacht 110 al mercado actual se han reinterpretado las líneas exteriores, a partir de los modelos ya existentes, sin la necesidad de renunciar a la identidad estética de la empresa.

Esto se logra a raíz de continuar utilizando los materiales tradicionales (madera) y con la dinamización de aperturas y líneas generales; consiguiendo, como resultado, un producto que se adapta a las exigencias estéticas del consumidor, preservando el carácter tradicional y marinero que identifica a los llaüts.

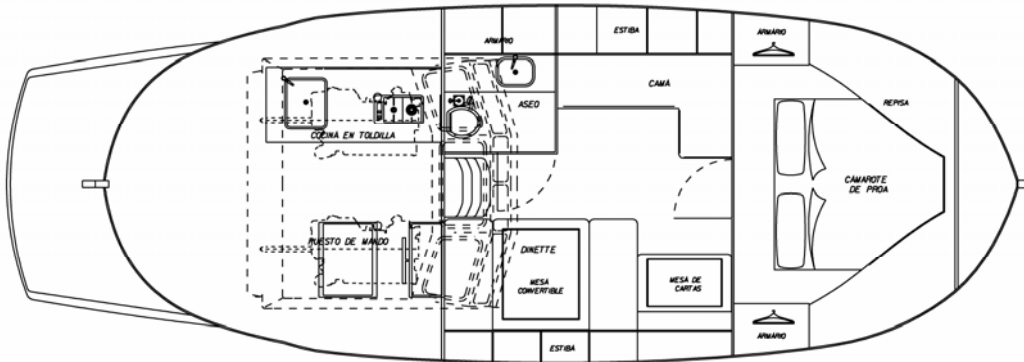




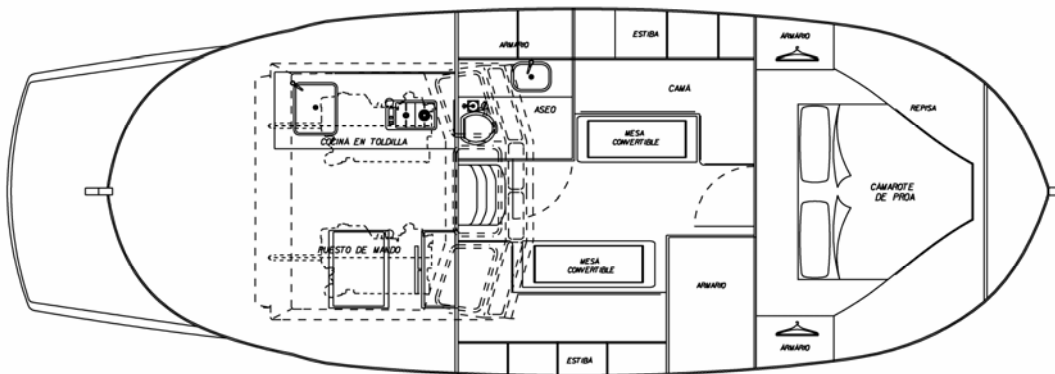
El segundo paso que efectuaremos antes del desarrollo de formas, es realizar varias propuestas para la distribución de interiores. En fases posteriores del proyecto debería comprobarse en 3 dimensiones si realmente caben todos los elementos.

DIBUJOS NO A ESCALA (Pueden verse a escala en el Anexo I)

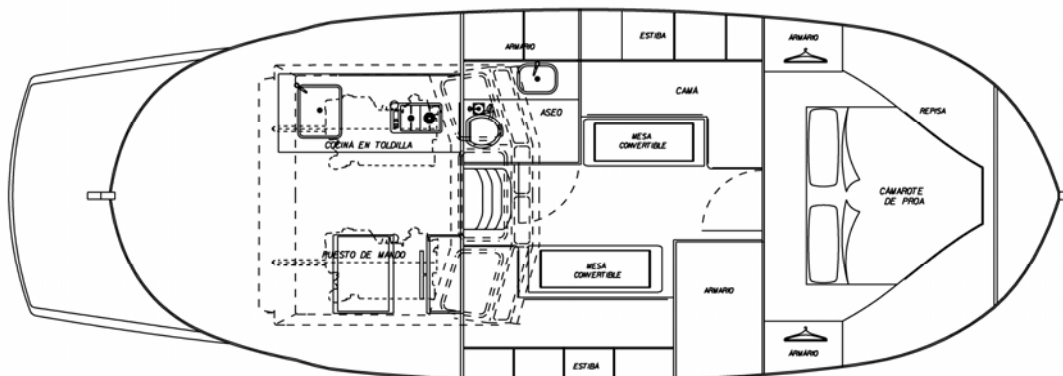
Propuesta A



Propuesta B



Propuesta C





## 7.2- Introducción

Por peculiaridad de las formas del barco que estamos desarrollando sabemos, gracias a la experiencia del astillero, que tienen problemas de estabilidad de rumbo, sobretodo con el mar de popa a partir de cierta velocidad.

Los Menorquín Yacht existentes, tienen un elemento clave que parece ser el responsable de este efecto, este elemento es la quilla corrida. Lo idóneo para evitar el efecto timón, sería eliminar esta quilla e intentar desarrollar unas formas más rectas, tipo lancha, con ello conseguiríamos sustentación dinámica. Esta sustentación dinámica tendría un doble efecto, por un lado obtendríamos un casco que planea y por tanto más eficiente, y por otro lado, eliminaríamos volumen en proa que es el responsable en gran parte del efecto timón.

Se le propuso al astillero desarrollar unas formas rectas más modernas, pero la propuesta fue rechazada por motivos de marketing, ya que la empresa *Menorquin Yacht* tiene un nicho de mercado muy definido, en el cual ellos son prácticamente los únicos fabricantes y bajo ningún concepto se plantean entrar a competir en el mercado de embarcaciones de planeo.

Así pues se nos plantea el no fácil reto de desarrollar unas formas redondas, en un casco con quilla corrida, en el cual el efecto timón sea lo menor posible, además de no olvidar que la carena tiene que ser hidrodinámicamente eficiente y tener un comportamiento en el mar adecuado.



### 7.3- Análisis de formas

#### 7.3.1- Análisis de las formas de proa

Hay tres aspectos principales cuya disposición hay que considerar a la hora de trazar las formas de la proa del barco. El primero de ellos es el semiángulo de entrada en la línea de flotación  $\alpha$ . Un ángulo excesivo en esta zona puede provocar que las formas resultantes induzcan una transición temprana del flujo turbulento y por ello un aumento de la resistencia viscosa. Por otra parte, este ángulo influye de manera determinante en la forma de las secciones de proa y de la curva de áreas de cuadernas.

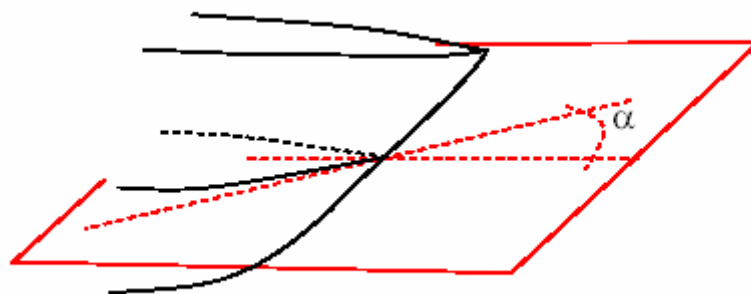
Una fórmula que permite estimar el valor máximo recomendado de este ángulo es:

$$\alpha = 125.67 \frac{B}{L_{PP}} - 162.25 \cdot C_p^2 + 234.32 \cdot C_p^3 + 0.1551 \cdot \left[ X_{cc} \cdot 6.8 \frac{T_A - T_F}{T} \right]^3$$

Donde

- L<sub>PP</sub>** = 10.4 Eslora entre perpendiculares
- B** = 3.78 Manga
- T** = 5.67 Calado
- X<sub>cc</sub>** = 0.51 Posición del centro de carena en relación a la eslora.

$$\alpha \approx 30^\circ$$

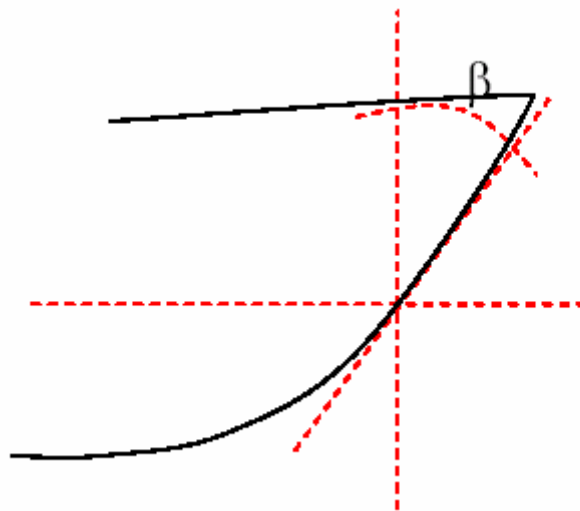


También es posible encontrar en la literatura algunas recomendaciones para el valor máximo de ese ángulo en función del coeficiente prismático. De esta forma para  $CP = 0.55$  se recomiendan valores en torno a  $8^\circ$ , para  $CP = 0.70$  entre  $10^\circ$  y  $14^\circ$  y para  $CP = 0.8$  valores en torno a  $33^\circ$ .



El segundo aspecto mencionado al principio se refiere al abanico y lanzamiento. Éstos han de disponerse de manera que se disminuya el cabeceo y el embarque de agua. Se recomienda que la roda forme, en su intersección con el plano de la flotación, un ángulo  $\beta$  entre 15 y 30°, permitiendo de esta manera un ángulo de entrada del agua constante para una mayor zona de calados

El abanico en las formas de proa permite amortiguar el cabeceo del buque, debido a la fuerza hidrostática adicional generada por la inmersión de un mayor volumen en este movimiento. Por otra parte, un abanico excesivo puede provocar que las olas creen grandes momentos torsores en esta zona del buque, a la vez que incrementar la resistencia al avance por formación de olas.

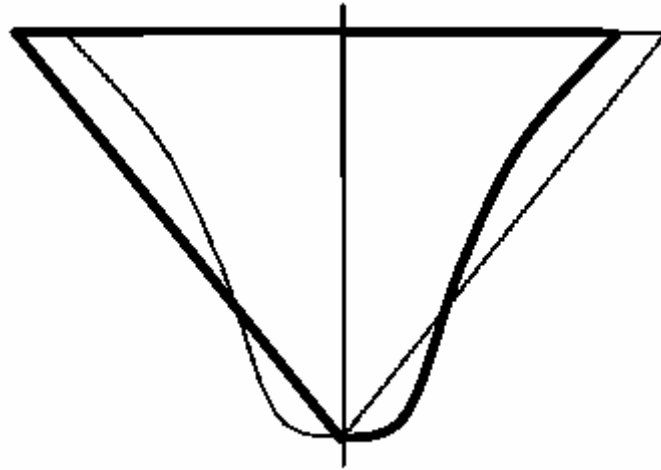


Finalmente, para el trazado de las líneas de proa, hay que considerar la disposición de formas de las secciones en U o V. A continuación se listan las ventajas genéricas de la disposición de formas en V, frente a las formas en U.

- . Mayor volumen en las líneas de agua superiores
- . Menor superficie mojada.
- . Menos superficies curvas, y menor superficie total, lo que disminuye los costes constructivos
- . Mejor comportamiento en la mar, debido a una mayor reserva de flotabilidad y menor susceptibilidad al pantocazo.



Las formas en V tienen en contra una mayor resistencia por formación de olas (aunque la resistencia viscosa es menor, el total da un valor mayor que para las formas en U en el rango de  $0.18 < Fn < 0.25$ ).



### 7.3.2- Análisis de las formas de popa

Por su parte, el trazado de la zona de popa de la embarcación tiene gran influencia en el rendimiento propulsivo. Por una lado por su influencia en el fenómeno de separación del flujo y por tanto en la resistencia viscosa y por otro en el rendimiento del propulsor, que es máximo con una estela homogénea.

Para el trazado de esta zona hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Dar cabida a las hélices con una inmersión adecuada.
- Disponer de unos huelgos mínimos entre hélice, codaste y timón, ISO impone unos requisitos mínimos de seguridad.
- El trazado del final de las líneas de agua, que ha de hacerse de manera que se minimice la separación y por lo tanto la resistencia viscosa. Para ello se recomienda que en ningún caso el semiángulo de estas líneas supere los  $30^\circ$ .
- De igual manera, el trazado del final de los cortes paralelos a crujía ha de hacerse de manera que se minimice la separación y por lo tanto la resistencia viscosa. Para ello se recomienda que en ningún caso el ángulo de estas líneas con la horizontal no supere los  $30^\circ$  (aunque la experiencia indica que para ángulos superiores a  $15^\circ$  se produce separación).

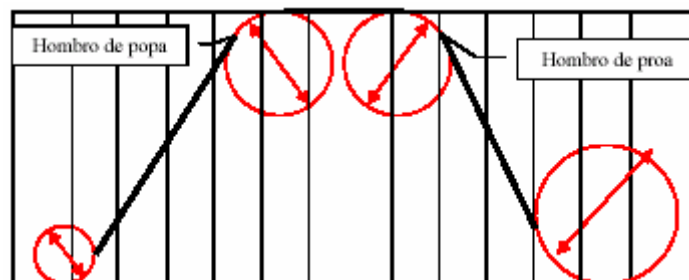
La disposición de una popa de estampa puede reducir la resistencia al avance e implica una mayor facilidad constructiva.



### 7.3.3- Análisis de la curva de áreas seccionales

La curva de áreas seccionales representa la posición de las cuadernas de trazado en abscisas y el área de la cuaderna hasta el calado en ordenadas.

Habitualmente se dibuja en un formato estándar de proporciones 2x1, lo que permite su comparación con otros diseños existentes.



Esta curva se ha utilizado tradicionalmente en canales de experiencias para estudiar la bondad de unas formas. Basados en ella, pueden enunciarse las siguientes recomendaciones:

- El trazado de los hombros de proa y popa (uniones del cuerpo cilíndrico con los extremos de proa y popa) han de tener un trazado suave y alisado. Se suele tomar como referencia un radio de curvatura mayor que 0.3 veces el área de la maestra en la escala correspondiente.
- Desde el hombro de popa hasta las cercanías de la hélice el trazado debe ser recto o con muy poca curvatura, para obtener así mejores características de resistencia al avance.
- Desde el hombro de proa, la zona pendiente hacia proa ha de ser también prácticamente recta.





#### 7.3.4 - Análisis de los coeficientes de forma

Es muy importante tener en cuenta que el coeficiente de forma de la embarcación que más influye en la resistencia viscosa es el coeficiente prismático  $C_P$ . A medida que aumenta más llenas son las formas del casco, y en particular las de popa. Este efecto, junto con el consiguiente aumento de las curvaturas de las líneas de agua del casco, influye de manera muy significativa en el aumento de la resistencia de presión por fricción.

En paralelo con el aumento de  $C_P$ , el coeficiente de bloque  $C_B$  también aumenta, lo que indica que los incrementos de este factor también se reflejan en un aumento de la resistencia al avance.

Asimismo se puede afirmar que por encima de cierta relación entre  $F_n$  y  $C_B$  (o  $F_n$  y  $C_P$ ) se produce un muy importante aumento de la potencia necesaria. Se suele asumir que existe una combinación de coeficiente de bloque y coeficiente de maestra ( $C_B$  y  $C_M$ ) que minimiza el valor de la resistencia.

De forma similar, aunque menos significativa el hecho de retrasar (hacia popa) la posición del centro de carena ( $LCB$ ), implicará que las formas de popa sean más llenas, aumentando por lo tanto la resistencia de presión por fricción. Por otra parte, tal y como hemos visto, a mayores velocidades, mayor inmersión del espejo y consecuentemente, la posición más a popa del  $LCB$ .

Para valores de  $F_n$  mayores a 0.4 se puede asumir que el  $LCB$  ideal está cercano al dado (en porcentaje de eslora desde la sección central) por:

$$LCB = -2.2189 + 12.3505 F_n - 5.4048 * F_n^2$$

$$F_n \sim 0,98$$

$$LCB \sim 4,7 \% \text{ desde la sección central que sería } 10.5 \text{ m desde proa}$$

Por otra parte, cabe destacar la relación eslora-desplazamiento  $L/\Delta^{1/3}$ . Este factor es muy influyente para embarcaciones que trabajen en el rango de  $F_n$  entre 0.4 y 0.8. Se puede asumir, en primera aproximación, que la resistencia por formación de olas en ese rango, es directamente proporcional a esta relación.

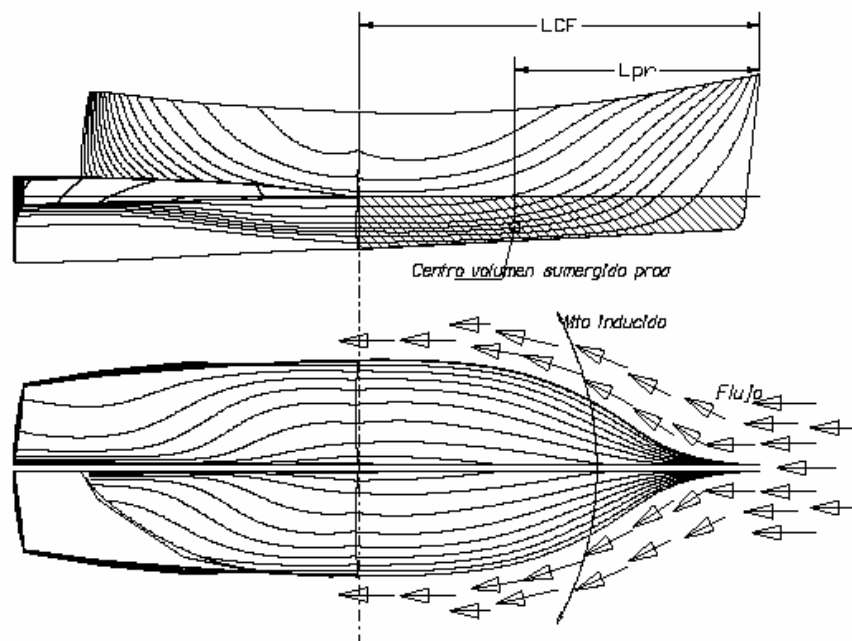


#### 7.4- El efecto timón

Dado que no podemos eliminar la quilla corrida, ni plantear unas formas rectas con codillos, vamos a analizar la razón por la que se produce el efecto timón e intentaremos buscar soluciones.

El efecto timón se produce, porque a partir de velocidades moderadas, ( $F_n \sim 0.8$ ), las embarcaciones empiezan a planear, reduciendo de esta forma el volumen sumergido, en nuestro caso, debido a que las formas son tipo U, el casco no tiene sustentación dinámica, esto hace que el volumen sumergido en proa sea muy importante.

Este volumen sumergido, podríamos decir que actúa como un perfil, que como tal, induce una fuerza lateral, que son las responsables del desequilibrio de rumbo.



Donde

**LCF** = Posición del centro del área de flotación, este punto es el eje del movimiento de guiñada.

**Lpr** = Posición del centro del área transversal del volumen sumergido en proa.

**Brazo** =  $LCF - Lpr$

**A<sub>proa</sub>** = Área transversal de proa, en crujía desde LCF.



En conclusión, para apaliar el efecto timón, buscaremos reducir este brazo que es el responsable del momento de guiñada.

Para evaluar el efecto timón, se exportará la sección longitudinal del casco a un programa tipo CAD, en concreto se ha utilizado el Microstation® el cual nos va a dar ( $A_{proa}$ ) área de la obra viva situada a proa del centro de flotación (LCF), así como la posición del centro geométrico (Lpr), en el cual vamos a suponer que está aplicada la fuerza lateral.

$$M_t = (LCF - Lpr) \cdot A_{proa} \quad [N \cdot m]$$

### 7.5- Comportamiento en la mar

Como nuestra embarcación se va a construir y matricular en la comunidad europea, tendremos que cumplir con la normativa del mercado CE, según el cual, las embarcaciones se dividen en 4 categorías, según su aptitud para afrontar las condiciones de mar, caracterizadas por una velocidad de viento y una altura de ola.

CATEGORIAS DE DISEÑO EMBARCACIONES "CE"		
Zona de navegación	Fuerza de viento (Escala Beaufort)	Altura significativa de Ola (metros)
A: Oceánicas	Más de 8	Mas de 4
<b>B: Alta mar</b>	<b>Hasta 8</b>	<b>Hasta 4</b>
C: Aguas costeras	Hasta 6	Hasta 2
D: Aguas protegidas	Hasta 4	Hasta 0.5

CARACTERÍSTICAS DE LAS OLAS			
Escala	Altura significativa $H_{1/3}$ [m]	Longitud de ola L [m]	Periodo t [s]
1	0.25	10	2
2	05	15	3
3	1	30	4
4	2	60	6
5	3	90	8
<b>6</b>	<b>5</b>	<b>150</b>	<b>10</b>
7	7	210	12
8	7	210	12



Nuestra embarcación se va a diseñar para navegar en la zona B, (Navegación en alta mar, hasta 60 millas), por tanto, atendiéndonos al **Real Decreto 297/98**, las condiciones de mar serán las siguientes

- Fuerza del viento = 8 en la escala de Beaufort (30-40 nudos)
- Altura significativa de olas  $H_{1/3} = 4$  metros
- Longitud de ola hasta 150 m
- Periodo de 10 s
- Velocidad de la embarcación 15 nudos (Velocidad de crucero)

Esto implica que deberá tener unas aptitudes de navegabilidad adecuadas para una altura significativa de ola de hasta 4 metros, con la velocidad de crucero que es de 15 nudos. Estas condiciones de mar y viento, las simularemos en el programa específico de arquitectura naval *Seakeeper*. Este programa nos permitirá analizar las aceleraciones inducidas por el movimiento de cabeceo y las aceleraciones inducidas por el movimiento de balance, así como la resistencia añadida por olas

- Resistencia añadida por olas [**KN**]
- Aceleración en el cabeceo [**(rad/s/s)<sup>2</sup>**]
- Aceleración den el balance [**(rad/s/s)<sup>2</sup>**]



## 7.6- Estimación de la velocidad

Para la estimación de la velocidad, nos encontramos que debido a las formas en “U”, no podemos aplicar Savitsky, las regresiones de Holtrop y Menem, tampoco se adaptan a nuestro rango de velocidades.

La serie sistemática más adecuada para nuestra embarcación, es la serie **NPL**

**The NPL high speed Round Bilge  
Displacement Hull Series  
by D. Bailey, N.R.I.N.A.**

Para la estimación de la velocidad, se ha programado en una hoja de Excel, con los siguientes datos de entrada

**LOA** = eslora total [m]

**Lwl** = Manga en flotación [m]

**Bmax** = Manga máxima [m]

**Dmax** = Calado máximo [m]

**Vol** = Desplazamiento [m<sup>3</sup>]

**Vel** = Velocidad [nudos]

**v** = Viscosidad [m<sup>2</sup>/s]

**ρ** = Densidad [Kg/m<sup>3</sup>]

**WSA<sub>hull</sub>** = Superficie mojada del casco [m<sup>2</sup>]

La resistencia residual la obtenemos entrando en unos gráficos, en función de la relación L/B, (M) y F<sub>V</sub> e interpolando linealmente entre ellos

$$F_V = \frac{0.165 \cdot Vel}{Desp^{1/6}}$$

$$M = \frac{1.0083 \cdot Lwl}{Desp^{1/3}}$$

La resistencia friccional la obtenemos a partir de la fórmula de la ITTC del 57.

En fases posteriores del proyecto incluiremos los apéndices en el cálculo de la resistencia.



## 7.7- Metodología para el desarrollo de formas

Una vez se han expuesto los principales conceptos que determinan la navegabilidad y la eficiencia hidrodinámica de la embarcación, vamos establecer un procedimiento para el desarrollo y mejora de las formas.

En fases anteriores del proyecto (3- *Estimación de pesos y desarrollo de formas preeliminares*), hemos generado unas formas preeliminares, que se han obtenido a partir de la base de datos, desarrollada en la fase de anteproyecto. Estas formas preeliminares van a ser el punto de partida y sobre ellas trabajaremos.

El procedimiento para el desarrollo y optimización de formas será como sigue

En primer lugar seleccionamos las variables principales, sobre las cuales vamos a trabajar, analizando lo expuesto anteriormente, llegamos a la conclusión de que nuestras variables principales tienen que ser el  $C_P$ ,  $C_B$ , y  $LCB$ .

Para el desarrollo de formas, fijaremos a dos de las tres variables, mientras que a la tercera en discordia, le daremos 4 valores distintos. Obtendremos de esta forma cuatro carenas con dos variables iguales y una distinta. A continuación fijaremos otras dos variables, y daremos cuatro valores a la tercera, por último, nos va a quedar solamente una variable por probar manteniendo las otras dos. Habremos obtenido de esta forma 12 carenas distintas.

De todas las carenas anteriormente obtenidas analizaremos las siguientes variables:

- Análisis de la resistencia (Series NPL)
  - EHP para la velocidad de crucero (15 nudos)
  - EHP para la velocidad máxima (21 nudos)
- Comportamiento en la mar (Seakeeper®)
  - Aceleraciones en la perpendicular de proa debido al cabeceo
  - Aceleraciones en la manga máxima para el balance
- Estabilidad (Hydromax Pro®)
  - GM longitudinal
  - GM trasversal
- Efecto timón
  - Momento inducido, suponiendo una presión trasversal de  $1 \text{ N/m}^2$

$$\mathbf{M_t} = (\mathbf{LCF} - \mathbf{Lpr}) \cdot \mathbf{A_{proa}} \quad [\mathbf{N \cdot m}]$$



Para analizar la estabilidad, utilizaremos el programa **Hidromax®**, el cual nos va a dar las siguientes variables

- GM longitudinal
- GM trasversal

En fases posteriores del proyecto comprobaremos el cumplimiento de la normativa **ISO 12217:2002: Evaluación y clasificación de la estabilidad y flotabilidad.**



## 7.8- Desarrollo de carenas

A continuación pueden verse los resultados, de forma resumida de las doce carenas desarrolladas.

· Variando el centro de carena (LCB):

### DATOS DE ENTRADA

Version	Unidades	prelim	$\Delta$ LCB1	$\Delta$ LCB2	$\Delta$ LCB3	$\Delta$ LCB4
$C_B$	....	0,278	0,289	0,287	0,285	0,287
$C_P$	....	0,622	0,635	0,635	0,635	0,635
LCB desde Ppra %	%	54,33	56,00	51,99	49,99	48,00

### DATOS DE SALIDA

LWL	m	10,40	10,40	10,40	10,40	10,40
BWL	m	3,03	3,08	3,08	3,08	3,08
T	m	1,06	0,93	0,93	0,93	0,93
Desp	Kg	8600,00	8800,00	8750,93	8702,45	8739,48
Sup mojada	m <sup>2</sup>	31,311	30,76	32,397	33,405	34,291

### HIDRODINÁMICA

#### Velocidad crucero (15 nudos)

Rr	N	7045	7206	7167	7127	7157
Rf	N	2479	2435	2565	2645	2715
Rt	N	9524	9642	9731	9772	9872
EHP	HP	99	100	101	101	102

#### Velocidad máxima (21 nudos)

Rr	N	7002	7159	7119	7079	7109
Rf	N	4661	4579	4822	4972	5104
Rt	N	11663	11738	11941	12051	12214
EHP	HP	169	170	173	175	177

#### Seakeeper

Resistencia añadida por olas	KN/m <sup>2</sup>	15,78	15,41	16,55	18,80	19,06
Aceleración cabeceo en Ppra	rad/s/s <sup>2</sup>	0,78	0,85	0,68	0,49	0,45
Aceleración balance en Bmax	rad/s/s <sup>3</sup>	0,20	0,19	0,34	0,41	0,41

### ESTABILIDAD

GM longitudinal	m	16,93	16,471	18,409	19,706	21,042
GM transversal	m	1,64	1,628	1,711	1,791	1,811

### EFEECTO TIMÓN

LCF	m	5,938	6,028	5,750	5,608	5,454
A proa	m <sup>2</sup>	3,48	3,45	3,47	3,49	3,56
Lpr	m	3,33	3,36	3,21	3,13	3,02
Momento	N·m	9,07584	9,2046	8,8138	8,6482	8,665





· Variando el coeficiente de bloque ( $C_B$ ):

#### DATOS DE ENTRADA

Version	Unidades	prelim	$\Delta CB1$	$\Delta CB2$	$\Delta CB3$	$\Delta CB4$
$C_B$	....	0,278	0,250	0,270	0,300	0,320
$C_P$	....	0,622	0,553	0,596	0,669	0,713
LCB desde Ppra %	%	54,33	57,39	55,97	55,34	55,07

#### DATOS DE SALIDA

LWL	m	10,40	10,40	10,40	10,40	10,40
BWL	m	3,03	3,31	3,19	3,03	2,93
T	m	1,06	1,00	0,96	0,91	0,88
Desp	Kg	8600,00	8800,02	8799,96	8799,97	8799,97
Sup mojada	m <sup>2</sup>	31,311	31,623	31,342	30,831	30,066

#### HIDRODINÁMICA

Velocidad crucero (15 nudos)

Rr	N	7045	7259	7231	7192	7166
Rf	N	2479	2504	2481	2441	2380
Rt	N	9524	9763	9713	9633	9546
EHP	HP	99	101	101	100	99

Velocidad máxima (21 nudos)

Rr	N	7002	7472	7307	7074	6922
Rf	N	4661	4707	4665	4589	4475
Rt	N	11663	12179	11972	11663	11397
EHP	HP	169	177	174	169	165

Seakeeper

Resistencia añadida por olas	KN/m <sup>2</sup>	15,78	17,96	17,98	15,60	15,45
Aceleración cabeceo en Ppra	rad/s/s <sup>2</sup>	0,78	0,72	0,68	0,87	0,88
Aceleración balance en Bmax	rad/s/s <sup>3</sup>	0,20	0,41	0,37	0,29	0,26

#### ESTABILIDAD

GM longitudinal	m	16,93	14,414	15,765	17,749	18,832
GM transversal	m	1,64	1,774	1,698	1,616	1,528

#### EFEECTO TIMÓN

LCF	m	5,938	6,241	6,081	5,937	5,841
A proa	m <sup>2</sup>	3,48	3,66	3,54	3,39	3,29
Lpr	m	3,33	3,56	3,43	3,24	3,15
Momento	N·m	9,07584	9,8125	9,3845	9,1428	8,8534



· Variando el coeficiente prismático ( $C_p$ ):

#### DATOS DE ENTRADA

Version	Unidades	prelim	$\Delta CP1$	$\Delta CP2$	$\Delta CP3$	$\Delta CP4$
$C_B$	....	0,278	0,314	0,300	0,272	0,259
$C_p$	....	0,622	0,699	0,670	0,601	0,571
LCB desde Ppra %	%	54,33	55,30	55,30	56,13	56,26

#### DATOS DE SALIDA

LWL	m	10,40	10,40	10,40	10,40	10,40
BWL	m	3,03	2,96	3,03	3,18	3,26
T	m	1,06	0,89	0,91	0,95	0,98
Desp	Kg	8600,00	8799,98	8799,85	8799,95	8799,92
Sup mojada	m <sup>2</sup>	31,311	30,328	30,87	31,209	31,698

#### HIDRODINÁMICA

Velocidad crucero (15 nudos)

Rr	N	7045	7174	7192	7228	7248
Rf	N	2479	2401	2444	2471	2509
Rt	N	9524	9575	9636	9699	9757
EHP	HP	99	99	100	100	101

Velocidad maxima (21 nudos)

Rr	N	7002	6968	7074	7289	7402
Rf	N	4661	4514	4595	4646	4718
Rt	N	11663	11483	11669	11935	12121
EHP	HP	169	166	169	173	176

Seakeeper

Resistencia añadida por olas	KN/m <sup>2</sup>	15,78	15,44	15,51	15,64	18,12
Aceleración cabeceo en Ppra	rad/s/s <sup>2</sup>	0,78	0,90	0,83	0,84	0,68
Aceleración balance en Bmax	rad/s/s <sup>3</sup>	0,20	0,26	0,29	0,32	0,40

#### ESTABILIDAD

GM longitudinal	m	16,93	18,325	17,914	15,842	15,202
GM trasversal	m	1,64	1,547	1,619	1,686	1,744

#### EFEECTO TIMÓN

LCF	m	5,938	5,880	5,932	6,084	6,132
A proa	m <sup>2</sup>	3,48	3,35	3,4	3,55	3,6
Lpr	m	3,33	3,22	3,23	3,31	3,5
Momento	N·m	9,07584	8,911	9,1868	9,8477	9,4752



**7.9- Análisis de los resultados obtenidos:** Para facilitar el análisis de los resultados, a continuación se los presentamos, ordenados de mejor a peor en función de las variables estudiadas

**Según potencia a velocidad de crucero**

Version	Unidades	preelim	ΔCB4	ΔCP1	ΔCB3	ΔCP2	ΔLCB1	ΔCP3	ΔCB2	ΔLCB2	ΔCP4	ΔCB1	ΔLCB3	ΔLCB4
C <sub>B</sub>	....	0,278	0,320	0,314	0,300	0,300	0,289	0,272	0,270	0,287	0,259	0,250	0,285	0,287
C <sub>P</sub>	....	0,622	0,713	0,699	0,669	0,670	0,635	0,601	0,596	0,635	0,571	0,553	0,635	0,635
LCB desde Ppra %	%	54,33	55,07	55,30	55,34	55,30	56,00	56,13	55,97	51,99	56,26	57,39	49,99	48,00
Rt	N	<b>9524</b>	<b>9546</b>	<b>9575</b>	<b>9633</b>	<b>9636</b>	<b>9642</b>	<b>9699</b>	<b>9713</b>	<b>9731</b>	<b>9757</b>	<b>9763</b>	<b>9772</b>	<b>9872</b>
EHP	HP	<b>99</b>	<b>99</b>	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>101</b>	<b>101</b>	<b>101</b>	<b>101</b>	<b>101</b>	<b>102</b>

**Según potencia a velocidad máxima**

Version	Unidades	ΔLCB2	ΔCP4	preelim	ΔCB2	ΔCB1	ΔCB4	ΔLCB3	ΔCP1	ΔCP3	ΔCB3	ΔLCB4	ΔLCB1	ΔCP2
C <sub>B</sub>	....	0,287	0,259	0,278	0,270	0,250	0,320	0,285	0,314	0,272	0,300	0,287	0,289	0,300
C <sub>P</sub>	....	0,635	0,571	0,622	0,596	0,553	0,713	0,635	0,699	0,601	0,669	0,635	0,635	0,670
LCB desde Ppra %	%	51,99	56,26	54,33	55,97	57,39	55,07	49,99	55,30	56,13	55,34	48,00	56,00	55,30
Rt	N	<b>11397</b>	<b>11483</b>	<b>11663</b>	<b>11663</b>	<b>11669</b>	<b>11738</b>	<b>11935</b>	<b>11941</b>	<b>11972</b>	<b>12051</b>	<b>12121</b>	<b>12179</b>	<b>12214</b>
EHP	HP	<b>165</b>	<b>166</b>	<b>169</b>	<b>169</b>	<b>169</b>	<b>170</b>	<b>173</b>	<b>173</b>	<b>174</b>	<b>175</b>	<b>176</b>	<b>177</b>	<b>177</b>

**Según resistencia añadida por olas**

Version	Unidades	ΔCP4	ΔCB3	ΔCP3	ΔLCB4	ΔCP1	ΔLCB1	ΔLCB2	preelim	ΔCB4	ΔLCB3	ΔCP2	ΔCB2	ΔCB1
C <sub>B</sub>	....	0,259	0,300	0,272	0,287	0,314	0,289	0,287	0,278	0,320	0,285	0,300	0,270	0,250
C <sub>P</sub>	....	0,571	0,669	0,601	0,635	0,699	0,635	0,635	0,622	0,713	0,635	0,670	0,596	0,553
LCB desde Ppra %	%	56,26	55,34	56,13	48,00	55,30	56,00	51,99	54,33	55,07	49,99	55,30	55,97	57,39
Resistencia añadida por olas	KN/m <sup>2</sup>	<b>15,41</b>	<b>15,44</b>	<b>15,45</b>	<b>15,51</b>	<b>15,60</b>	<b>15,64</b>	<b>15,78</b>	<b>16,55</b>	<b>17,96</b>	<b>17,98</b>	<b>18,12</b>	<b>18,80</b>	<b>19,06</b>



**Según aceleración por cabeceo**

Version	Unidades	$\Delta CP1$	$\Delta LCB4$	$\Delta CP3$	$\Delta LCB2$	$\Delta CB1$	$\Delta LCB1$	$\Delta CP4$	$\Delta CP2$	$\Delta CB2$	$\Delta CB3$	preelim	$\Delta CB4$	$\Delta LCB3$
$C_B$	....	0,314	0,287	0,272	0,287	0,250	0,289	0,259	0,300	0,270	0,300	0,278	0,320	0,285
$C_P$	....	0,699	0,635	0,601	0,635	0,553	0,635	0,571	0,670	0,596	0,669	0,622	0,713	0,635
LCB desde Ppra %	%	55,30	48,00	56,13	51,99	57,39	56,00	56,26	55,30	55,97	55,34	54,33	55,07	49,99
<b>Aceleración cabeceo en Ppra</b>	<b>rad/s/s^2</b>	<b>0,45</b>	<b>0,49</b>	<b>0,68</b>	<b>0,68</b>	<b>0,68</b>	<b>0,72</b>	<b>0,78</b>	<b>0,83</b>	<b>0,84</b>	<b>0,85</b>	<b>0,87</b>	<b>0,88</b>	<b>0,90</b>

**Según aceleración por balance**

Version	Unidades	$\Delta LCB4$	$\Delta CP1$	$\Delta CB2$	$\Delta CB3$	$\Delta CP2$	preelim	$\Delta CB4$	$\Delta CP3$	$\Delta CP4$	$\Delta LCB3$	$\Delta LCB2$	$\Delta CB1$	$\Delta LCB1$
$C_B$	....	0,287	0,314	0,270	0,300	0,300	0,278	0,320	0,272	0,259	0,285	0,287	0,250	0,289
$C_P$	....	0,635	0,699	0,596	0,669	0,670	0,622	0,713	0,601	0,571	0,635	0,635	0,553	0,635
LCB desde Ppra %	%	48,00	55,30	55,97	55,34	55,30	54,33	55,07	56,13	56,26	49,99	51,99	57,39	56,00
<b>Aceleración balance en Bmax</b>	<b>rad/s/s^3</b>	<b>0,19</b>	<b>0,20</b>	<b>0,26</b>	<b>0,26</b>	<b>0,29</b>	<b>0,29</b>	<b>0,32</b>	<b>0,34</b>	<b>0,37</b>	<b>0,40</b>	<b>0,41</b>	<b>0,41</b>	<b>0,41</b>

**Según GM longitudinal**

Version	Unidades	$\Delta CP2$	$\Delta CB3$	$\Delta CP4$	$\Delta CB2$	$\Delta LCB3$	$\Delta LCB2$	$\Delta CP3$	$\Delta LCB4$	$\Delta CP1$	$\Delta CB1$	$\Delta CB4$	$\Delta LCB1$	preelim
$C_B$	....	0,300	0,300	0,259	0,270	0,285	0,287	0,272	0,287	0,314	0,250	0,320	0,289	0,278
$C_P$	....	0,670	0,669	0,571	0,596	0,635	0,635	0,601	0,635	0,699	0,553	0,713	0,635	0,622
LCB desde Ppra %	%	55,30	55,34	56,26	55,97	49,99	51,99	56,13	48,00	55,30	57,39	55,07	56,00	54,33
<b>GM longitudinal</b>	<b>m</b>	<b>21,042</b>	<b>19,706</b>	<b>18,832</b>	<b>18,409</b>	<b>18,325</b>	<b>17,914</b>	<b>17,749</b>	<b>16,93</b>	<b>16,471</b>	<b>15,842</b>	<b>15,765</b>	<b>15,202</b>	<b>14,414</b>

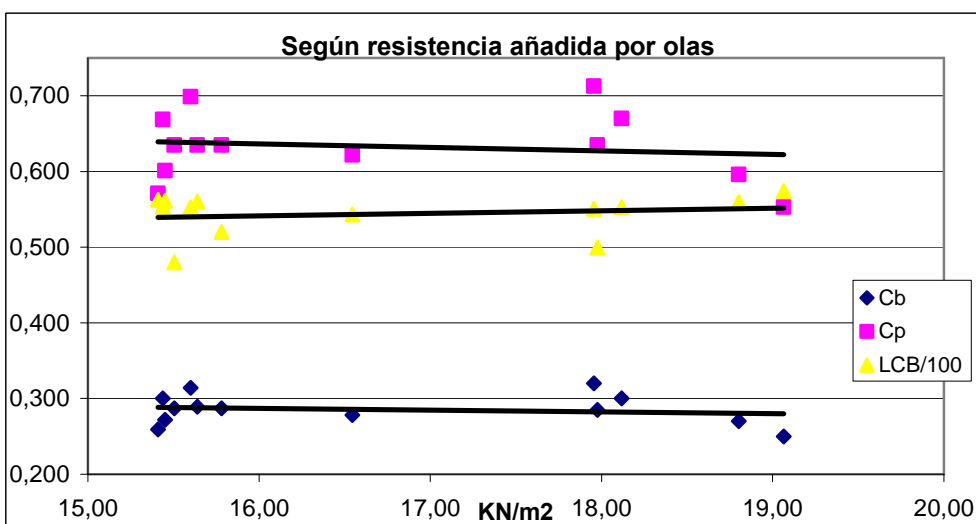
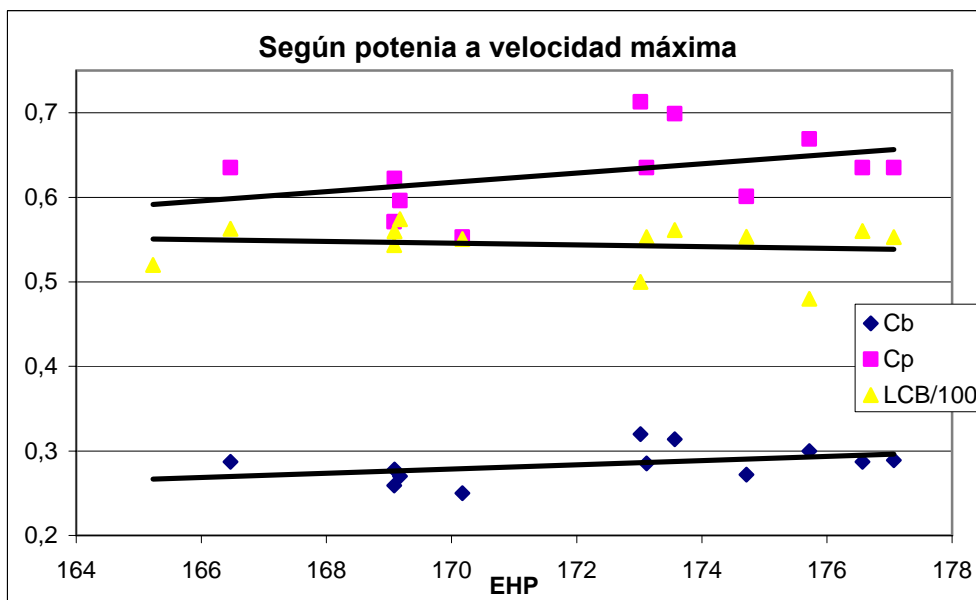
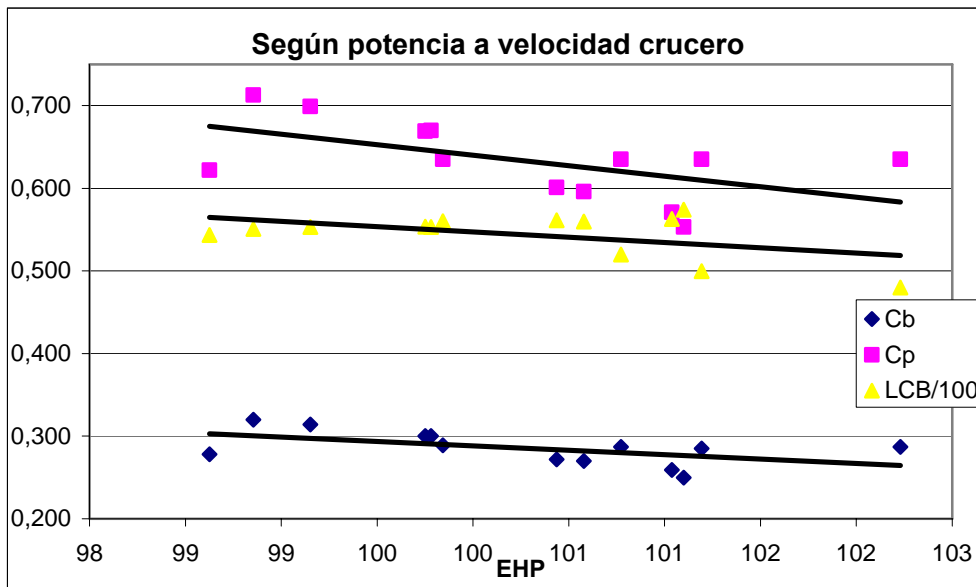


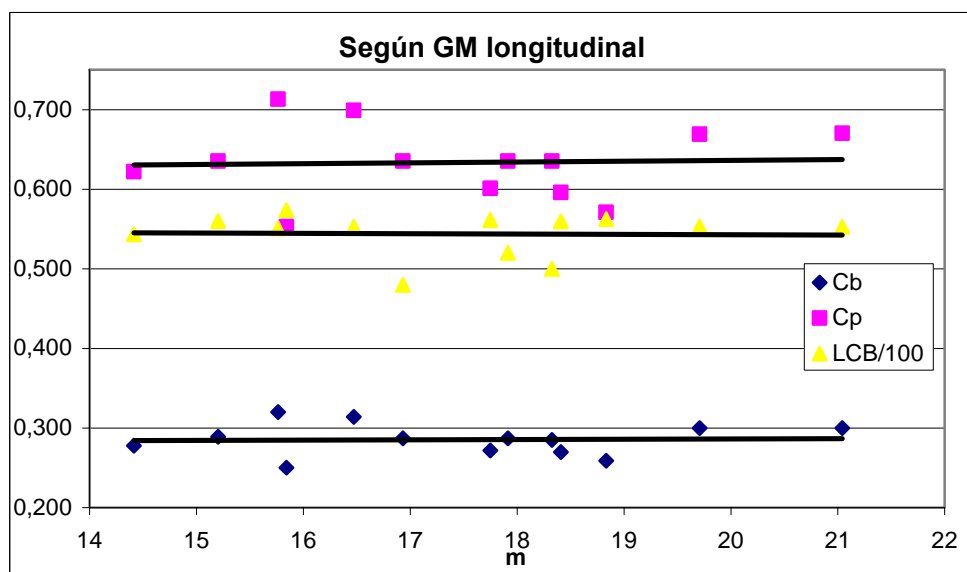
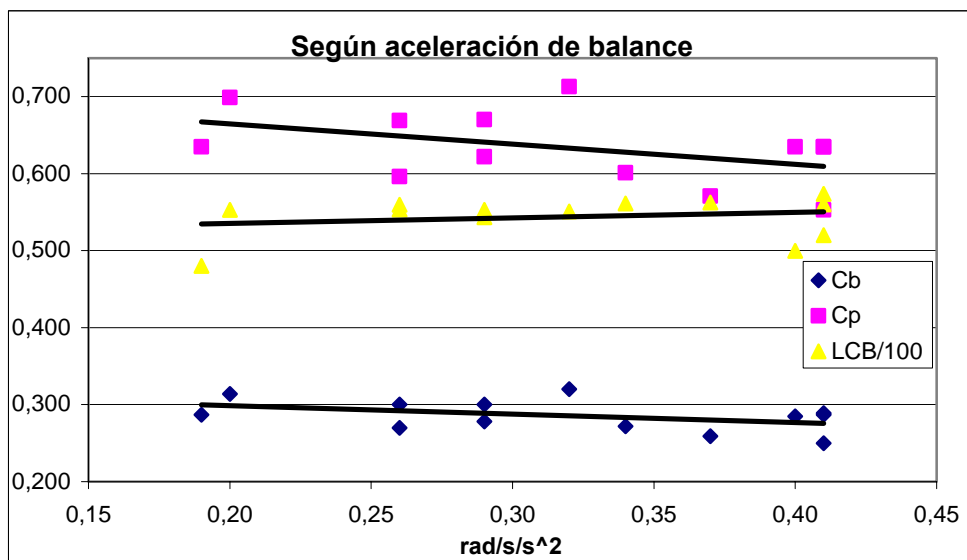
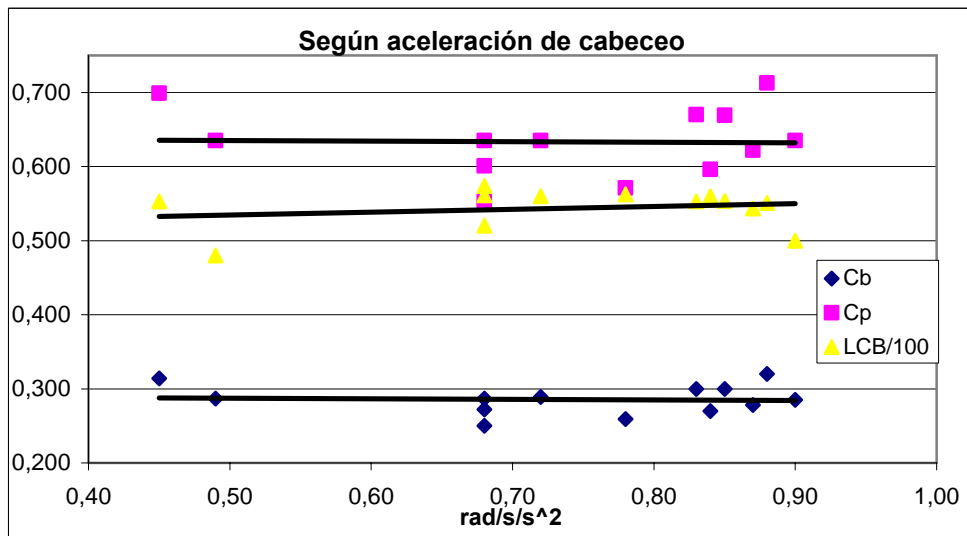
**Según GM transversal**

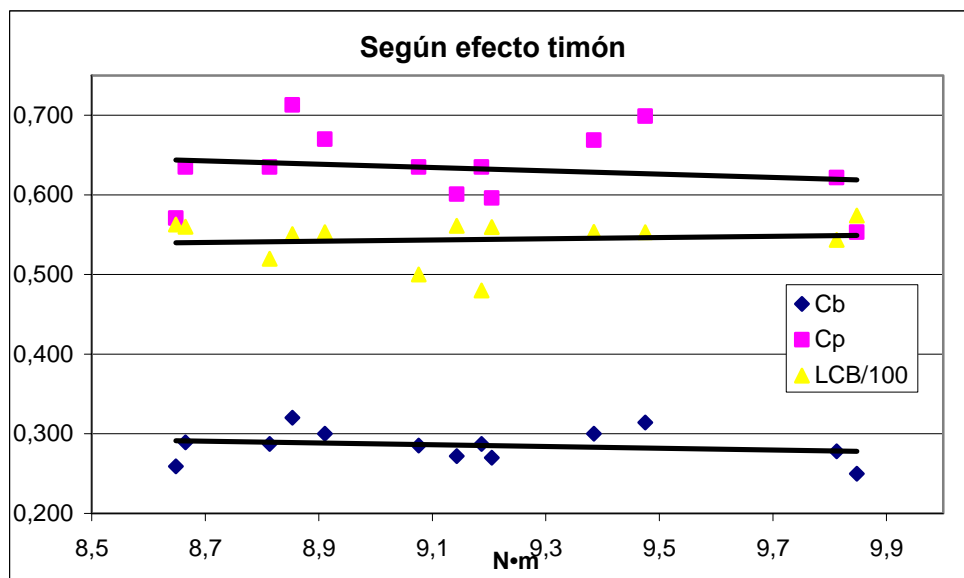
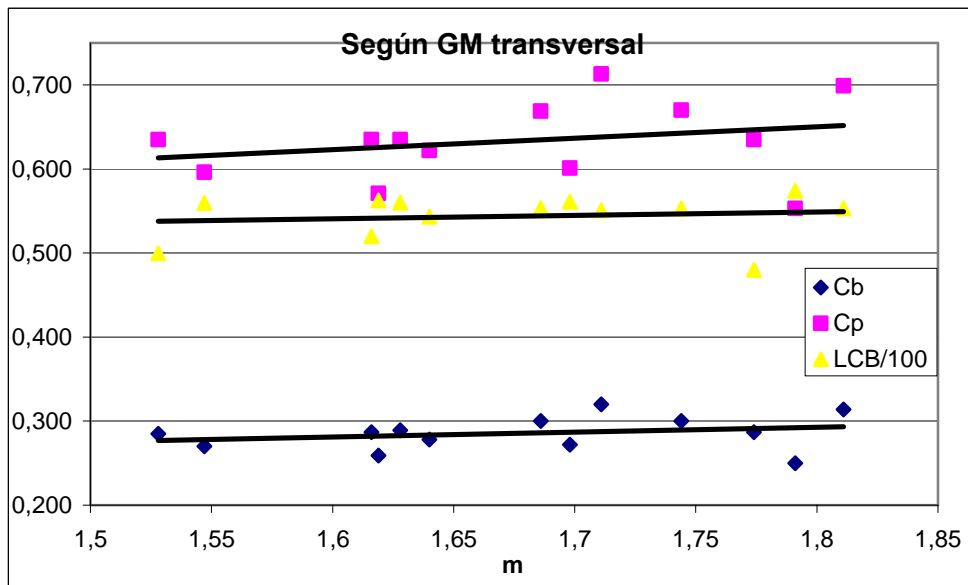
Version	Unidades	$\Delta CP1$	$\Delta CB1$	$\Delta LCB4$	$\Delta CP2$	$\Delta CB4$	$\Delta CP3$	$\Delta CB3$	preelim	$\Delta LCB1$	$\Delta CP4$	$\Delta LCB2$	$\Delta CB2$	$\Delta LCB3$
$C_B$	....	0,314	0,250	0,287	0,300	0,320	0,272	0,300	0,278	0,289	0,259	0,287	0,270	0,285
$C_P$	....	0,699	0,553	0,635	0,670	0,713	0,601	0,669	0,622	0,635	0,571	0,635	0,596	0,635
LCB desde Ppra %	%	55,30	57,39	48,00	55,30	55,07	56,13	55,34	54,33	56,00	56,26	51,99	55,97	49,99
<b>GM trasversal</b>	<b>m</b>	<b>1,811</b>	<b>1,791</b>	<b>1,774</b>	<b>1,744</b>	<b>1,711</b>	<b>1,698</b>	<b>1,686</b>	<b>1,64</b>	<b>1,628</b>	<b>1,619</b>	<b>1,616</b>	<b>1,547</b>	<b>1,528</b>

**Según el efecto timón**

Version	Unidades	$\Delta CP4$	$\Delta LCB1$	$\Delta LCB2$	$\Delta CB4$	$\Delta CP2$	$\Delta LCB3$	$\Delta CP3$	$\Delta LCB4$	$\Delta CB2$	$\Delta CB3$	$\Delta CP1$	preelim	$\Delta CB1$
$C_B$	....	0,259	0,289	0,287	0,320	0,300	0,285	0,272	0,287	0,270	0,300	0,314	0,278	0,250
$C_P$	....	0,571	0,635	0,635	0,713	0,670	0,635	0,601	0,635	0,596	0,669	0,699	0,622	0,553
LCB desde Ppra %	%	56,26	56,00	51,99	55,07	55,30	49,99	56,13	48,00	55,97	55,34	55,30	54,33	57,39
<b>Momento</b>	<b>N·m</b>	<b>8,64822</b>	<b>8,66504</b>	<b>8,8138</b>	<b>8,85339</b>	<b>8,911</b>	<b>9,07584</b>	<b>9,14283</b>	<b>9,1868</b>	<b>9,2046</b>	<b>9,38454</b>	<b>9,4752</b>	<b>9,81246</b>	<b>9,8477</b>











## 7.10- Conclusiones

Analizando los datos obtenidos, y con ayuda de los gráficos llegamos a las siguientes conclusiones.

Para la velocidad de crucero, la potencia necesaria aumenta cuando disminuye el coeficiente de bloque, el prismático y también con la disminución del LCB en porcentaje desde proa, es decir cuando desplazamos el centro de carena hacia delante.

Para la velocidad máxima de diseño que son 21 nudos, la potencia necesaria aumenta cuando aumenta el coeficiente de bloque y el prismático. Con el LCB no se observa dependencia.

La resistencia añadida por olas aumenta con el incremento del coeficiente prismático, con las demás variables no se observa ningún patrón de interdependencia.

Con el comportamiento en la mar nos llevamos la primera sorpresa, ya que atendiéndonos a los resultados obtenidos, la aceleración en la perpendicular de proa aumenta con el aumento del LCB, lo cual implica que con mayor volumen en proa la aceleración es menor. Este resultado que a priori parece incoherente, podría tener su explicación en que como veremos más adelante, con el aumento del LCB, también aumenta el GM longitudinal, lo cual indicaría que con el aumento del LCB obtendremos un barco más rígido, lo cual es un arma de doble filo (las aceleraciones son mayores pero la amplitud del movimiento de cabeceo es menor).

La aceleración en el punto de máxima manga, debido al movimiento de balance, es inversamente proporcional al coeficiente prismático, pero a diferencia del caso anterior, el GM transversal aumenta con el coeficiente prismático. Esto nos viene a decir, que con la disminución del coeficiente prismático, la excitación que ejerce el mar sobre el casco aumenta.

El efecto timón, es inversamente proporcional al coeficiente prismático, y al coeficiente de bloque, el LCB tiene poca influencia sobre este fenómeno, esto se exiliaría porque cuando desplazamos LCB, se desplazan una cantidad muy similar LCF (centro de flotación que es el eje de guiñada) y el centro del área trasversal de la obra viva situada a proa del LCF.

Ahora que ya sabemos como afecta cada variable sobre las cualidades de nuestra embarcación, y dado que no hemos encontrado una carena que sobresalga sobre las



demás, lo que haremos es seleccionar las que mejores resultados ha dado, y sobre ella seguiremos trabajando.

Por los buenos resultados obtenidos, la carena seleccionada es  $\Delta$ CPI.

A partir de esta carena lo que hacemos es exportarla al programa *Prosurf*<sup>®</sup> para realizar un alisado de formas.

Para el alisado de formas hemos establecido un procedimiento iterativo, es decir, hemos exportado e importado el modelo en formato *.igs* del programa *maxurf* a *prosurf* y viceversa, hasta que el resultado ha sido satisfactorio, es decir, una carena eficiente con unas formas perfectamente alisada.

El resultado puede verse en el ANEXO II, (Plano de formas)