

INGENIERIA NAVAL Y NATURALEZA

Iñigo Echenique Gordillo

Ingeniero naval

Resumen:

El trabajo analiza algunas de las posibilidades que las enseñanzas del mundo natural ofrecen para proyectos innovadores relacionados con la ingeniería naval. La cuestión se ilustra con dos aplicaciones prácticas derivadas del estudio de las aletas pectorales de los peces y de las caudales de los delfines, exponiéndose por primera vez las características en detalle de un perfil hidrodinámico desarrollado a partir de esta última investigación y que presenta ventajas comprobadas para determinadas aplicaciones en timones y estabilizadores dinámicos de buques.

Índice

1.- La naturaleza maestra

2.- La evolución natural como herramienta de diseño

2.1.- Los barcos populares y su desarrollo.

2.2.- Algoritmos genéticos

2.3.- Vehículos marinos autónomos.

3.- Delfines y timones

3.1.- El delfín-paradoja.

3.2.- El timón como superficie sustentadora.

3.3.- Un perfil al descubierto.

3.4.- Algunas aplicaciones.

4.- El problema del balance a velocidad cero

4.1.- Soluciones divergentes

4.2.- Una opción natural

4.3.- Resultados prácticos

5.- Algunas consideraciones

1.- La naturaleza maestra

Desde el inicio de la vida en la tierra, a partir de los primeros microorganismos, hace probablemente más de 3,000 millones de años, la naturaleza ha realizado un proceso constante e inexorable de búsqueda de soluciones a los innumerables condicionantes que los seres vivos han tenido para su supervivencia. El fruto de ello ha estado siempre al alcance del hombre como fuente inagotable de inspiración técnica. El desarrollo de las ciencias exactas y el conocimiento de los mecanismos y procesos del mundo físico proporcionan la base para la aplicación de las enseñanzas de la que la naturaleza nos brinda.

La biónica busca la aplicación práctica basada en la observación y análisis de las respuestas que se encuentran en la observación analítica de los seres vivos. Esto es lo que Leonardo da Vinci procuró en muchos de sus inventos, habitualmente por desarrollar, y lo que el botánico y arquitecto aficionado Joseph Paxton plasmó al diseñar la estructura de la cúpula de cerca de trescientos mil paneles de vidrio del Crystal Palace para la exposición universal de 1851, a semejanza de la de las hojas del nenúfar gigante del Amazonas por él descubierto que, a pesar de su liviana textura, era capaz de sostener a flote el peso de una persona.

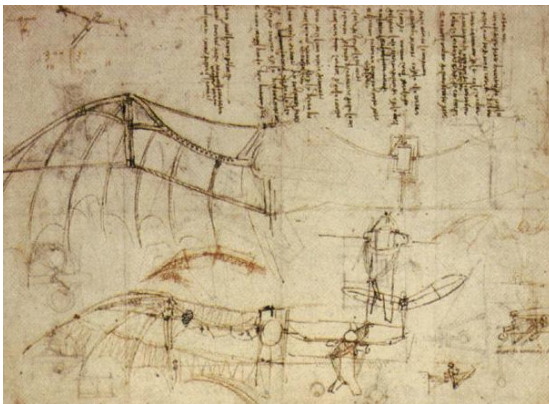


Fig 1. Bocetos para una máquina voladora de Leonardo da Vinci



Fig 2. Cúpula del Crystal Palace

2.- La evolución natural como herramienta de diseño

El proceso evolutivo está guiado por unos principios que tienen constante presencia en el progreso técnico de muchos de los útiles ideados por el ser humano, entendida esta palabra en el sentido más amplio. Esto es claramente palpable en el desarrollo de los aspectos relativos a la construcción y arquitectura naval de las embarcaciones tradicionales.

Acelerando una simulación de este curso natural sustentada por los principios que lo rigen, es posible contar con una herramienta de primer orden para la búsqueda de soluciones óptimas de problemas no lineales.

Cuando se procura a un artefacto móvil de gobierno autónomo o guiado por control remoto, ello pasa en mayor o menor grado por dotarle de sistemas que captan aquellos parámetros del entorno a los cuales se debe adecuar su funcionamiento. Al cabo, no se trata de otra cosa que facultarlo con algo similar

a los sentidos de los seres vivos y la atención a la evolución y características de estos, más allá de los cinco conocidos, puede ser extremadamente útil y didáctico.

2.1.- Los barcos populares y su desarrollo.

Galicia tiene la fortuna de conservar, como pocas áreas del continente Europeo, una muy rica variedad de tipologías de embarcaciones tradicionales. Algunas desgraciadamente han desaparecido tanto por lo perecedero de las maderas blandas con las cuales se construían en su mayor parte, como de la falta de sensibilización en cuanto a su valor cultural y técnico. Entre ellas hay algunas como es el caso de la gamela y la dorna que tienen ancestros muy antiguos.

Producto del talento y oficio de generaciones de carpinteros de ribera y marinos cuyo sustento familiar y en casos su vida dependía de su pequeño barco, sus principios de diseño y progreso se asemejan en muchos aspectos a los de los seres vivos:

- Economía y funcionalidad. Dando la segunda por imprescindible, la economía en materiales y aparejos es un factor crítico en la mayor parte de los tipos de embarcaciones tradicionales. Entre las posibles soluciones siempre predomina la que es más económica y simple. Desde el punto de vista del diseño ello supone la máxima depuración en lo cual lo que no es necesario desaparece. Unos ejemplos sencillos son la disposición de la driza de la verga del aparejo al tercio que cumple al tiempo la función de obenque del cual depende el mástil y que se sujeta con una simple vuelta mordida en una cabilla exterior al casco.

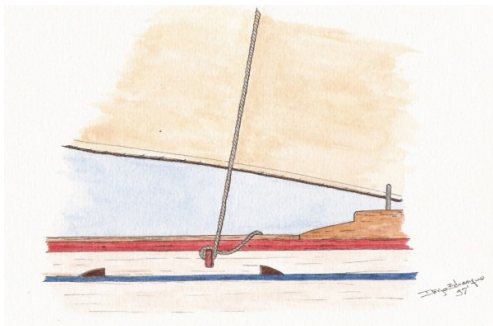


Fig. 3. Driza en una gamela coruxeira

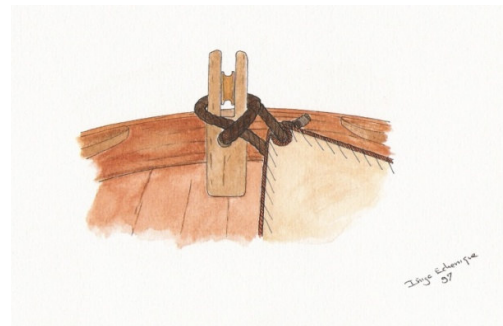


Fig. 4. Fijación del puño de amura

- Evolución convergente. Con frecuencia se dan notorias semejanzas en embarcaciones diferentes y alejadas pero empleadas en entornos similares y para usos parejos.

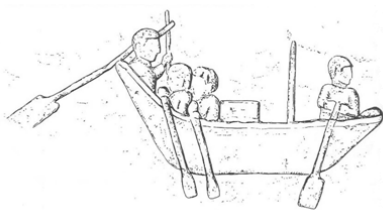
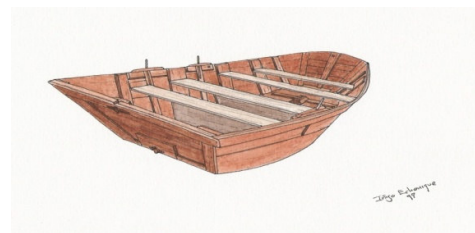


Fig. 5. Barco de río, grabado en tumba romana del SI AC, Alemania. Fig.6.- Gamela guardesa derivada de embarcaciones del río Miño. Con fondo cuasi plano y conformadas por cinco superficies, comparten características que abarcan desde el río Ladour en Francia a la costa de Bangla Desh.



- **Supervivencia de los más aptos.** Un determinado tipo de embarcación popular se proyecta y construye a partir del conocimiento transmitido de generación en generación que es sustentado en la transmisión oral y en algunos casos se ayuda de un reducido número de plantillas para el trazado, que variaban de un a otro constructor, y ellos mismos hacían evolucionar. Los modelos que se repetían y sobre los que posteriormente se introducían cambios eran los que más aceptación tenían por cumplir su función de una forma más eficiente.

Esto es apreciable en la excelencia, desde el punto de vista de la arquitectura naval de muchas de estas tipologías. Este es el caso de las dornas. Se trata de una de las pocas embarcaciones en el sur de Europa construidas en tingladillo, derivando su diseño de los barcos nórdicos con los cuales los vikingos asaltaron las costas gallegas entre los siglos IX y XI. Es bien conocida su similitud con los barcos menores que pueden hallarse en zonas de la misma influencia y que han permanecido más o menos aisladas de otras, como es el caso de las islas Feroe.



Fig. 7. Dorna del xeito



Fig. 8. Botes en las Feroe

A partir de los ensayos en canal de las primeras series sistemáticas de veleros de desplazamiento, desarrollados por Gerritsma en la Universidad de Delft en los años ochenta se constataron experimentalmente los valores del coeficiente prismático y la posición del centro de carena de cara a minimizar la componente residual de la resistencia hidrodinámica, para un determinado número de Froude en veleros de desplazamiento. Cuando se analiza la carena de muchas de las dornas existentes, se comprueba que ambos parámetros están ajustados al óptimo de forma natural.

2.2.- Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos, están basados en los principios básicos evolutivos como son la selección natural de los más aptos, las combinaciones de genes y las mutaciones. Su funcionamiento básico consiste en definir una población determinada del objeto de análisis mediante características que puedan ser codificadas matemáticamente de manera similar a los genes que forman las cadenas de cromosomas. Esta población es evaluada mediante una función que refleja la aptitud de cada uno de los sujetos para cumplir un determinado objetivo, seleccionándose aquellos que muestran una mayor adecuación. Seguidamente se cruzan entre sí, combinando sus características de forma aleatoria e introduciendo variaciones al azar en algún o algunos parámetros resultantes, a modo de mutación natural. De esta forma se obtiene una nueva generación que pasa a ser evaluada en otro bucle.

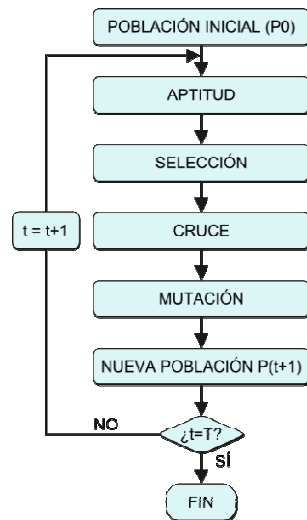


Fig. 9. Diagrama base de algoritmo genético.

El algoritmo genético es un instrumento potente de optimización y presenta algunas ventajas frente a otros procedimientos como es el de su aplicación a problemas no lineales complejos pues su funcionamiento es en cierto modo independiente de la naturaleza del problema planteado. Por otra parte permite explorar soluciones en diferentes direcciones, al contrario que los sistemas secuenciales y evita las soluciones falsas de máximos locales.

Para su aplicación es necesario poder representar adecuadamente los parámetros de la población, acotar el espacio de búsqueda y definir correctamente la función que evalúa la aptitud de cada sujeto de estudio. Su uso puede ser además complementario a los sistemas de lógica difusa.

6

Desde el punto de vista de la ingeniería naval, donde la no linealidad de gran parte de los fenómenos físicos marinos es un hecho, el AG puede ser una herramienta muy valiosa. Algunos de los sujetos de análisis son:

- Optimización de elementos hidrodinámicos de evaluación compleja. Este es el caso, por ejemplo de la búsqueda de los perfiles hidrodinámicos óptimos para un cierto cometido o bien de los parámetros base de carenas para un determinado entorno y ruta de navegación.
- Sintonizado de controladores del movimiento del buque.
- Programación avanzada de producción en el astillero.
- Aspectos relacionados con la disposición general del buque en lo que se refiere a la búsqueda de óptimos de disposición espacios y circulación.
- Análisis de riesgo de daños en estructuras marinas.
- Aplicaciones de robótica marina.

2.3.- Vehículos marinos autónomos.

Los vehículos marinos no tripulados, bien USV (Unmanned Surface Vehicles) o UUV (Unmanned Underwater Vehicles) tendrán previsiblemente un importante desarrollo en el futuro próximo que irá parejo a otros campos de la robótica. El rango de aplicaciones, además de los conocidos estrictamente militares, es amplio:

- Patrulla y vigilancia de costas.
- Estudio oceanográfico de largo alcance.
- Lucha anticontaminación.
- Lucha contra incendios.
- Salvamento marítimo.

Cuentan con las evidentes ventajas que proporciona el no tener condicionado el diseño por la necesidad de tripulación. Pueden por consiguiente operar en condiciones más extremas, asumir mayores riesgos y contar con mayor autonomía lo que se unirá, probablemente a una economía creciente de su explotación en comparación con los vehículos tripulados. Además de esto carecen del requerimiento del dimensionado por consideraciones ergonómicas y en consecuencia la plataforma se puede diseñar con mayor libertad.



Fig. 10. UUV

Su potencial viene propiciado por el desarrollo exponencial de los sistemas de comunicaciones, sensores, procesamiento de imágenes y algoritmos de reconocimiento de las mismas, al igual que de la capacidad del hardware. Es de presumir que los vehículos futuros estarán dotados de sistemas de inteligencia artificial cada vez más complejos que se retroalimentarán de la experiencia y los harán prácticamente autónomos. Los sistemas implementados en este tipo de vehículos tendrán además aplicación consecuente en los buques tradicionales contribuyendo a mejorar sus condiciones de seguridad y navegación y permitirán una implementación creciente de la electrónica de control basada en sensores múltiples.

3.- Delfines y timones

3.1.- El delfín-paradoja.

En 1936, tras hacer una evaluación de su resistencia hidrodinámica, el zoólogo James Gray concluyó que existía una inconsistencia entre la velocidad observada en los delfines y la potencia muscular necesaria para vencer dicha resistencia. En concreto consideraba necesaria una eficiencia muscular del orden de siete veces mayor de la correspondiente a su masa corporal. Con ello enunció la paradoja que lleva su nombre y que ha sido el motor de innumerables estudios sobre la hidrodinámica de estos cetáceos.



NR = 6×10^6	Delfín común <i>Delphinus delphis</i>	Delfín mular <i>Tursiops truncatus</i>
		
Longitud	2 m	3 m
Peso	100 kg	300 kg
Velocidad	25 Nudos	17 Nudos
Número de Reynolds	19×10^6	19×10^6

Fig. 11. Cuadro comparativo con las características de los dos tipos de delfines más ampliamente estudiados.

La aproximación general ha partido de considerar que la resistencia hidrodinámica del delfín es sensiblemente menor de la estimada en el régimen turbulento que corresponde al Número de Reynolds en el cual se mueven, debido a diversos factores como:

- Extensión del flujo laminar .
- Control activo de la forma hidrodinámica.
- Efecto de reducción de la separación debido al movimiento de la aleta caudal que acelerando el flujo hidrodinámico reduce el gradiente de presión.



Fig. 12.- Imagen de la capa límite del delfín a velocidad con ayuda de la luminiscencia natural del plancton. Latz y Rotz.

- Estabilización de la capa límite (Kramer).

La piel del delfín, cuya epidermis tiene una velocidad de reemplazo celular cerca de trescientas veces más alta que la de los humanos, posee características muy singulares como es el hecho de disponer de una subcapa de proteína viscosa que hace que se amortigüen las ondas transversales de presión

ayudando a estabilizar la capa límite. Otra propiedad notable es la disposición de pequeños surcos cutáneos perpendiculares al flujo que reducen la resistencia al ayudar a la adherencia de la capa límite.

En el año 2008 en el Instituto Politécnico Rensselaer, se ha realizado una medición directa de la fuerza propulsiva de la cola del delfín, basándose en el análisis del fluido propulsado por la aleta caudal. Para ello el cetáceo debía nadar entre diminutas burbujas cuyo movimiento era filmado a muy alta velocidad, siendo cada partícula identificada y asignándole un vector tridimensional de velocidad. Las fuerzas propulsivas resultantes calculadas en base a la dinámica de estas partículas, oscilaban entre 90 y 180 kg lo cual supone que no es necesario buscar una explicación resistente y se ha proclamado en consecuencia resuelta la paradoja de Gary por esta vía con la consideración de que la musculatura del delfín funcionando con metabolismo anaeróbico es capaz de suministrar en un momento dado hasta 100 W/kg.

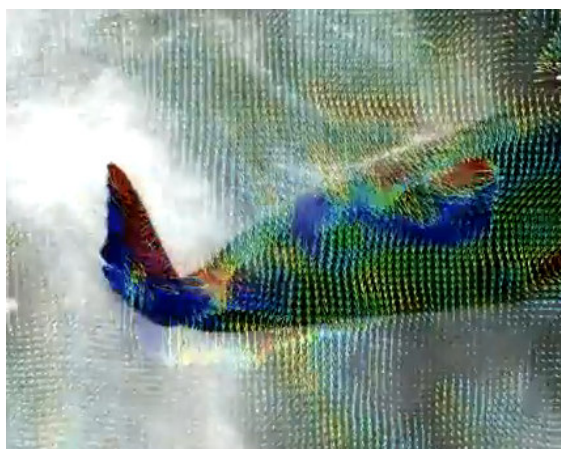


Fig. 13. Visualización del flujo en la batida de la aleta caudal. P.I. Rensselaer

Lo cierto es que aún no siendo la postulación de Gray en realidad una paradoja, es un hecho que la explicación de las excelentes cualidades hidrodinámicas del delfín dista de ser del todo conocidas y en ella intervienen resistencia y propulsión influenciadas por las características de la piel, la dinámica de la aleta en movimiento y el rendimiento muscular del animal.

Sin embargo en la generalidad de los estudios, factores más dignos de atención como es la aleta caudal y en concreto el tipo de perfil de la misma quedaban fuera de foco.

3.2.- El timón como superficie sustentadora.

En un velero moderno la sustentación hidrodinámica, necesaria para compensar la fuerza lateral en el plano vélico, es proporcionada según las condiciones, hasta en un 90% por los apéndices. El timón, para esta misión, presenta las siguientes ventajas frente a la quilla:

- Menor limitación estructural.
- Posibilidad de trabajar con un ángulo adicional de ataque sobre el ángulo de deriva, con lo cual se optimiza fácilmente el coeficiente Sustentación/Resistencia
- Posibilidad de diseñarlo con una mayor relación de aspecto con lo cual se disminuye notablemente la resistencia inducida a igualdad de sustentación.

Como desventaja está el hecho de que al disponer el timón perfiles que deben trabajar a ángulos sensiblemente mayores que los de la quilla, los perfiles empleados son poco laminares y tienen más resistencia que los de la quilla a igualdad de espesor.

La entrada en pérdida del timón depende básicamente de su relación de aspecto y de su espesor relativo así como del tipo de perfil hidrodinámico. Los perfiles habitualmente empleados en timones y estabilizadores tradicionales de buques son de la serie NACA 00, desarrollados para aplicación aeronáutica. En el convencimiento de las ventajas del empleo de una configuración con timón de alta esbeltez y con la responsabilidad de la jefatura de diseño e investigación del proyecto del España 92 Quinto Centenario, que fue el primer barco español en regatear la Copa América, se trató de buscar un perfil adecuado al timón que evitase la entrada en pérdida en barcos que han de ser tácticamente muy maniobrables. Además era necesario disponer para ángulos moderados de un ratio favorable de sustentación a resistencia. Algunos perfiles diseñados por Boltzmann, también se emplean en timones de regatas con alguna ventaja respecto al Naca 00 pero eran necesarias mejores propiedades desde el punto de vista señalado.

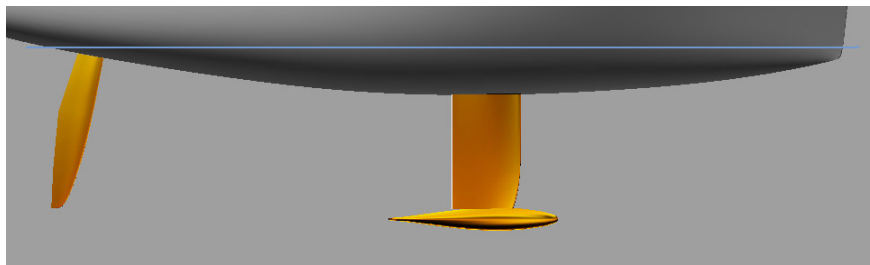


Fig 14. Configuración de apéndices actual con timón de alta relación de aspecto. IE/Acubens 08.

3.3.- Un perfil al descubierto.

La cola del delfín bate a gran velocidad en un arco de más de 70º y es una pieza clave en el rendimiento hidrodinámico de estos animales. La aleta caudal es totalmente lisa, rígida y con perfiles hidrodinámicos perfectamente definidos. Sus características son el fruto de 45 millones de años de evolución, esto es de varios millones de generaciones de selección natural y adaptación al medio. A pesar de ello, no existía documentación que reflejase datos relevantes sobre las propiedades hidrodinámicas de la sección. En colaboración con el delfinario del zoo de Madrid y muy especialmente de un delfín hembra del género *Tursiops Truncatus*, llamada Lizzie, se procedió a medir y plantillar las secciones de su aleta caudal. A continuación se compararon sus propiedades en términos de sustentación y resistencia con los otros dos perfiles de referencia, mediante un programa de análisis de perfiles bidimensionales. Los resultados de este primer estudio se muestran en la figura 15. En ellos se observa que la sección hidrodinámica del delfín tiene la mayor resistencia a la entrada en pérdida y una relación favorable CL/CD para ángulos elevados.

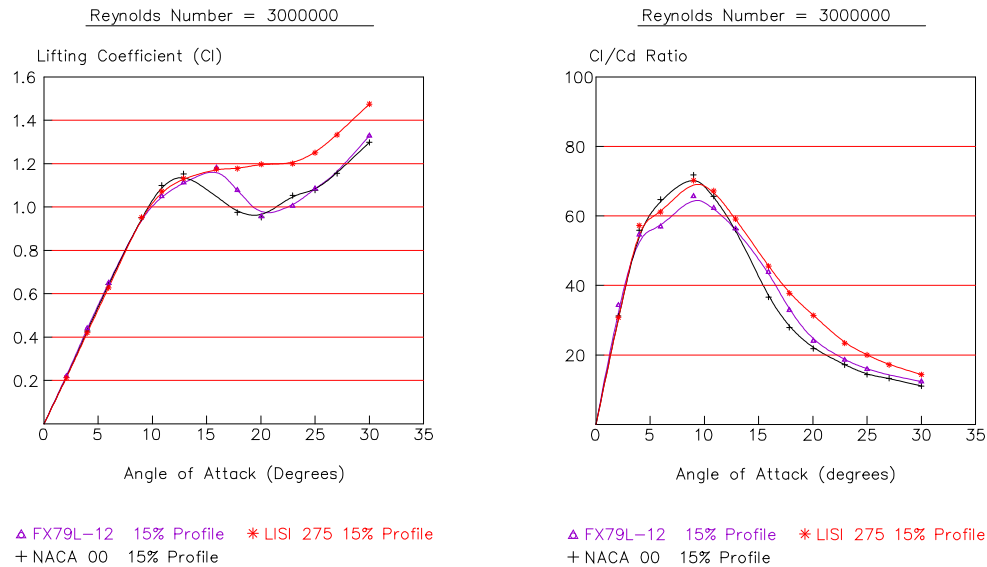


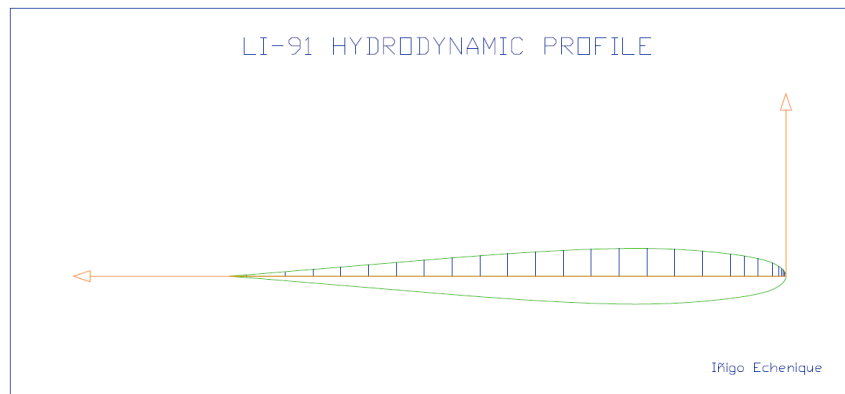
Fig. 15. Diagramas de Coeficiente de Sustentación y relación C_l/C_d para distintos ángulos de ataque.

Posteriormente, se procedió a ensayar a escala 1:9 en el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de la ETSIN sobre la misma carena y apéndices dos configuraciones de timón con variación de perfiles y relación de aspecto e igualmente se efectuaron ensayos en el Túnel de Baja Velocidad del INTA que básicamente refrendaron los resultados anteriores.

Además de los perfiles de sus secciones, el timón del España 92 Quinto Centenario tuvo dos particularidades que, en ediciones posteriores de la Copa América, se emplearon en otros barcos con apéndices convencionales. Estas características fueron la alta relación de aspecto y el hecho de empotrar el timón en el casco mediante una mecha hueca de gran diámetro acabada en un disco exterior con objeto de aumentar la relación de aspecto efectiva al eliminar el huelgo mínimo necesario con una mecha convencional.

En la Tabla I se dan los datos para el trazado del perfil en cuestión.

% Cuerda	Espesor %
0	0
0,25	0,7979
0,5	1,1165
0,75	1,3528
1,25	1,7472
2,5	2,4231
5	3,1511
7,5	3,1359
10	3,9827
15	4,5055
20	4,8365
25	4,9898
30	4,9731
35	4,8477
40	4,6271
45	4,3553
50	4,0337
55	3,6759
60	3,2871
65	2,8731
70	2,4591
75	2,0452
80	1,6312
85	1,2172
90	0,8032
95	0,3893
100	0



F. 16. Sección L-91 IE

Tabla I

Cartilla de trazado del perfil L-91IE con espesores representados como porcentaje de la cuerda

3.4.- Algunas aplicaciones.

Desde su desarrollo en el año 91 el perfil ha sido empleado en el timón de muchas decenas de veleros distintos, con relaciones de aspecto hasta de 6, así como en diversos barcos de motor de desplazamiento. Se aplicó en el timón del ¼ ton IOR que ganó los Campeonatos del Mundo de 1993 y 1994 siendo con claridad el de apéndices más esbeltos de la flota, y una de sus usos más recientes ha sido el incorporarlo al timón del Sea Cloud Hussar, que es el velero clásico de mayor tamaño existente. En el caso de timones de relación de aspecto convencional, presenta la ventaja de hacerlos inalterables al desprendimiento de flujo hasta ángulos muy elevados lo cual es una ventaja clara desde el punto de vista de la maniobrabilidad.

Aplicado en estabilizadores dinámicos permite emplear aletas de menor área que actúan con ángulos más acusados lo cual ofrece la ventaja principal de reducir la resistencia al avance en la mayor parte de las condiciones.



Fig. 17. Vista del timón en el modelo del Sea Cloud Hussar

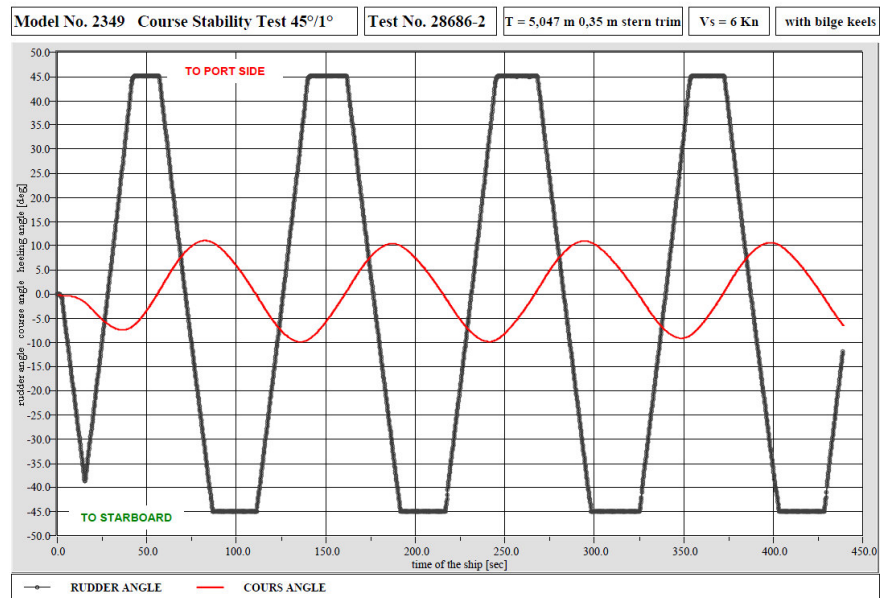


Fig. 18. Ensayo de maniobrabilidad en el SCH para ángulos de timón de 45°

4.- El problema del balance a velocidad cero

El balance de un buque se puede aproximar mediante la simplificación de considerarlo como fenómeno lineal representado por la ecuación:

$$A \cdot \ddot{\phi} + B \cdot \dot{\phi} + C \cdot \phi = \Sigma M_{ext}$$

Donde A representa la Inercia Efectiva, B el coeficiente de amortiguación, $C = \Delta \times GM$ el término de restauración y el segundo término de la ecuación el sumatorio de los momentos excitantes.

Cuando un buque parado se encuentra con olas transversales de periodo dominante similar al propio, el balance se amplifica suponiendo en muchos casos un problema de operatividad y confort cuando no de seguridad.

Mientras que en buques navegando a una cierta velocidad, el balance se atenúa de forma efectiva mediante el empleo de estabilizadores dinámicos, a velocidad cero las dificultades para reducirlo de forma efectiva son mayores y las soluciones actuales posibles múltiples.

4.1.- Soluciones divergentes

Las posibilidades de actuación son las derivadas de la intervención en los términos de la ecuación de balance:

- Amortiguación mediante la disipación de la energía del balance.
- Ajuste incrementando el periodo propio, añadiendo inercia.
- Equilibrio mediante la reducción del momento excitante o generando un par opuesto al escorante.

En la siguiente tabla se señalan y valoran algunos de los sistemas principales. Existen otros menos relevantes como los basados en cilindros rotatorios que aprovechan el efecto Magnus, sistemas de pesos móviles, jets, etc.

Sistema	Ventajas	Inconvenientes	Observaciones
Quillas de balance	Economía, simplicidad	Efecto limitado	Efectivas a velocidad
Flopper stoppers	Efectividad moderada, economía	Estiba, instalación	Necesidad de tangones
Tanques estabilizadores	Efectividad moderada, aumento de periodo propio	Instalación, posible pérdida de estabilidad.	Pasivos o activos.
Estabilizadores dinámicos	Empleo en navegación, efectivos solo para momentos escorantes reducidos	Incremento de la resistencia al avance en navegación, consumo de energía. Consumo.	Al ser pequeñas las fuerzas generadas debe incrementarse el área.
Estabilizadores giroscópicos	Efectivo.	Complejidad, coste, consumo, requerimientos estructurales, aumento del desplazamiento.	No pueden emplearse en navegación por afectar en los cambios de rumbo
Sistemas Voith Schneider	Altamente efectivo	Coste, aplicable a algunos tipos de buque	Ligado a sistema propulsivo

Tabla 2. Principales sistemas de estabilización

4.3.- Una opción natural

Las misiones de las aletas pectorales en los peces son muy diversas y abarcan desde la generación de sustentación en natación como es el caso de muchos tiburones a la estabilización del movimiento generado por la corriente como ocurre en muchos peces de arrecife, tales como el de la figura 19. En este caso las aletas se repliegan en natación.



Fig. 19

El denominado Sistema de Estabilizadores Integrados está basado en un principio similar y en la resistencia de un aplanca plana en un flujo perpendicular. Las fuerzas amortiguadoras producidas son proporcionales a las excitantes y por otra parte se produce el deseable incremento del periodo propio de balance del buque.

Básicamente, el dispositivo consiste en que una parte del forro del casco a cada banda, sobre una caja estanca, se articula conformando algo similar a una gran quilla de balance. El accionamiento de apertura y cierre es de tipo electrohidráulico. En navegación las aletas se pliegan quedando enrasadas con la superficie de la carena.

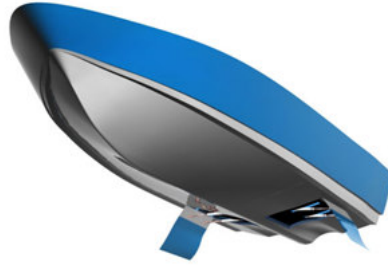


Fig. 20.- Vista del Sistema de Estabilizadores Integrados en un yate a motor de 19 m

Las ventajas principales son:

- Efectividad muy alta.
- Coste moderado.
- Pérdida de espacio interior muy reducida.
- Nula resistencia al avance en navegación.
- Aumento de la inercia añadida del buque.
- Efectividad en mares formados.
- Sistema adecuado para embarcaciones de velocidad
- Opción de accionamiento dinámico.

Y el inconveniente principal:

- Instalación compleja en caso de buques existentes

4.4.- Resultados prácticos

Se trata de un sistema que ha sido patentado internacionalmente y que se ha sometido simulación numérica y a numerosos ensayos de canal. En el año 2004 se realizaron en el canal holandés de Marin pruebas comparativas de cuatro sistemas distintos: Estabilizadores de aletas activas, tanques estabilizadores, flopper stoppers y el sistema de estabilizadores integrados. El resultado de las pruebas fue que el sistema, a pesar de estar el rango de ensayos concentrado en momentos reducidos donde su eficiencia es menor, se mostró como el más efectivo de los cuatro. Posteriormente ha sido probado con éxito a escala real en cinco buques de distinto tipo y se encuentra en aplicación en varios más.

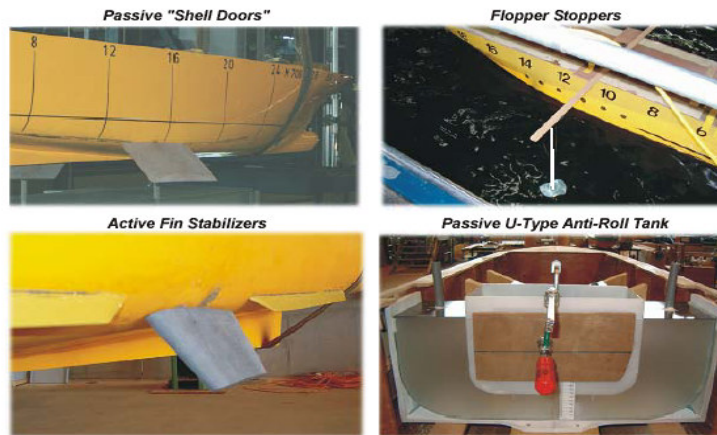


Fig. 21. Sistemas ensayados. Ver Ref. B. 7

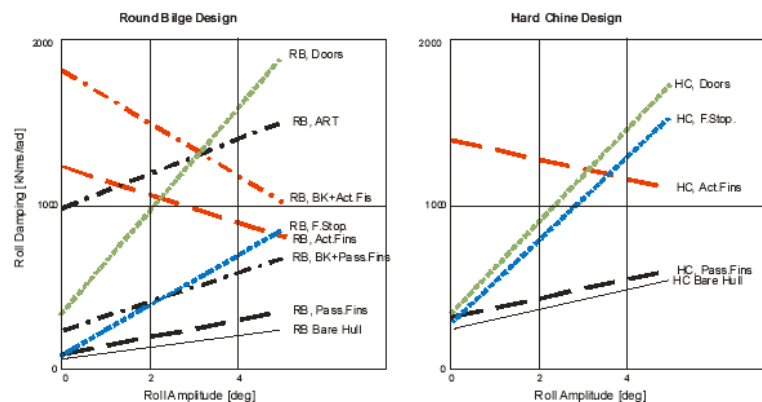


Fig. 22. Resultados de los ensayos. Ver Ref. B. 7

5.- Algunas consideraciones

La física que rige y sustenta a los seres vivos ofrece una fuente de conocimiento ilimitada y gratuita para múltiples desarrollos de ingeniería en ámbitos tan diferentes como las estructuras, la hidrodinámica, la mecánica o los procesos de optimización de variables.

En los próximos años la ingeniería naval se enfrentará al desafío que supone el desarrollo técnico encaminado al mayor aprovechamiento de los recursos energéticos y mineros del mar y a una previsible colonización creciente del mismo con estructuras flotantes o sumergidas de los tipos más diversos. Los riesgos implícitos se pueden ver sin más que considerar la situación actual derivada de la ausencia de regulaciones efectivas y la debilidad de los medios de control y cumplimiento de las leyes marítimas, unidos a la falta de freno a la codicia. Especies antes abundantísimas en trance de desaparición, mares de basura y vertidos de meses en explotaciones petrolíferas, deben constituir un aviso de los riesgos futuros en la relación del ser humano con el mar y de la necesidad de una nueva conciencia al respecto.



Fig. 22: Cuencas petrolíferas en el Océano Ártico

Iñigo Echenique

I.N.

17

Bibliografía:

- 1.- Gerritsma, J., Onnink, R. and Versluis, A., "Geometry, resistance and stability of the Delft Systematic Yacht Hull Series" 7-th HISWA Symposium, 1981, Amsterdam
- 2.- Forrest, S., "Genetic Algorithms: Principles of Natural Selection Applied to Computation", Science, Vol. 261, No. 5123, August 13, 1993.
- 3.- Holland, J. (1975): Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press, Ann Arbor.
- 5.- Timothy Wei y otros. DPIV measurements of dolphins performing tailstands. 61st Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics.
- 6.- Babenko V V 1998 Hydrobionics principles of drag reduction *Proc.Int. Symp. on Seawater Drag Reduction (Newport, RI)*

7.- T Kolkerk y otros. Roll Stabilization for Luxury Motor Yachts at zero Speed. Hiswa 2004 Amsterdam.