

# HIDROALAS Y SU APLICACIÓN AL BUQUE DE GUERRA

Vicente ESPLÁ PALACIO  
Aspirante de primero (ing.)  
Ingeniero naval y oceánico



ESDE hace más de un siglo, el hombre ha soñado con barcos capaces de levantar sus cascos por encima de la superficie del agua para poder navegar más rápido. Y aunque el principio físico que lo hace posible fue descubierto mucho antes, la tecnología disponible no ha permitido hacerlo realidad hasta hace relativamente poco tiempo.

Casi con toda seguridad, la primera vez que la gran mayoría de las personas tuvo conocimiento de la existencia de barcos voladores fue en 2013, durante la celebración en aguas de San Francisco (Estados Unidos) de la 34.<sup>a</sup> edición de la competición deportiva más antigua del mundo, la Copa América de Vela, en la que regatearon trimaranes de 72 pies (22 m) de eslora y 14 m de manga que

incorporaban hidroalas en timones y orzas, los cuales les permitieron alcanzar velocidades de 47 nudos (88 km/h) en empopada.

Durante el siglo XX, las armadas más potentes del mundo, rendidas ante las evidentes ventajas de las hidroalas, experimentaron con prototipos, de los que algunos prestaron servicio. No obstante, su menor versatilidad, sus limitaciones de tamaño y su mayor coste respecto al buque convencional las relegaron al olvido en el ámbito militar, no así en el civil, donde se siguen empleando con éxito en ferris rápidos.

## Orígenes

La aparición de las hidroalas (también llamadas alíscafos) viene ligada tanto en lugar como en fecha a los primeros pasos del hombre en el campo de la aeronáutica. Su descubrimiento fue, accidentalmente, en 1861, mientras Thomas William Moy estudiaba la aerodinámica de las alas diseñadas por él mismo. Para comprobar la aparición de vórtices en ellas, las colocó en una



Catamarán en la Copa América de 2013.

([www.sail-world.com/photos/sailworld/Photos\\_2013\\_8/Large\\_Oracle%20Foils%20Out11.JPG](http://www.sail-world.com/photos/sailworld/Photos_2013_8/Large_Oracle%20Foils%20Out11.JPG)).

pequeña embarcación que hizo navegar por el canal de Surrey, en Londres; para su sorpresa, la barca se levantó.

Alrededor de 1900, cuando los hermanos Wright, pioneros de la aviación, experimentaban con sus primeros vuelos, el ingeniero italiano Enrico Forlanini pensó en proporcionar a los pilotos una herramienta para practicar y adiestrarse en un medio más seguro y lento, donde no habría peligro de caer.

Con esa idea construyó el que se considera el primer prototipo exitoso de barco hidroala, un artefacto de 1,6 toneladas equipado con un motor de 60 CV que movía dos hélices aéreas contrarrotativas, el cual fue capaz de alcanzar una velocidad de 38 nudos durante un ensayo en el lago Maggiore en 1906.

Fascinado por el invento de Forlanini, Alexander Graham Bell (conocido por ser el inventor del teléfono, honor del que fue desposeído en 2002) consideró que esa nueva invención tenía un futuro prometedor, por lo que compró la patente para construir y desarrollar el hidroala de Forlanini en Norteamérica.

En 1919, su prototipo mejorado del original, denominado *HD-4*, equipado con dos motores de 350 CV, estableció el récord mundial de velocidad sobre el agua en 62 nudos en el lago Bras d'Or, en Canadá.

Con la entrada de Estados Unidos en la Primera Guerra Mundial, la US Navy solicitó propuestas para construir buques cazasubmarinos, y Graham Bell presentó su prototipo. En un principio, los expertos se mostraron entusiastas con la idea, pero finalmente se consideró que aquel buque sería demasiado frágil para la acción naval.



Hidroala de Enrico Forlanini en 1910.

([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Forlanini\\_Hydrofoil\\_1911.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Forlanini_Hydrofoil_1911.jpg)).

Como ha ocurrido desde el principio de los tiempos, la guerra ha sido impulsora de tecnología, por lo que no es de extrañar que el primer buque hidroala compacto y propulsado por hélices marinas se desarrollase en los años previos a la Segunda Guerra Mundial. En 1940, la Marina alemana ordenó la construcción de un buque para el transporte de tanques, llamado VS-8, que estuvo en servicio desde 1943 hasta que se hundió en 1944.

### Fenómeno físico

Daniel Bernoulli fue el primero en deducir, en 1738, que la presión de un fluido disminuía cuando aumentaba la velocidad del flujo; pero su demostración matemática se la debemos al también suizo Leonhard Euler en 1755.

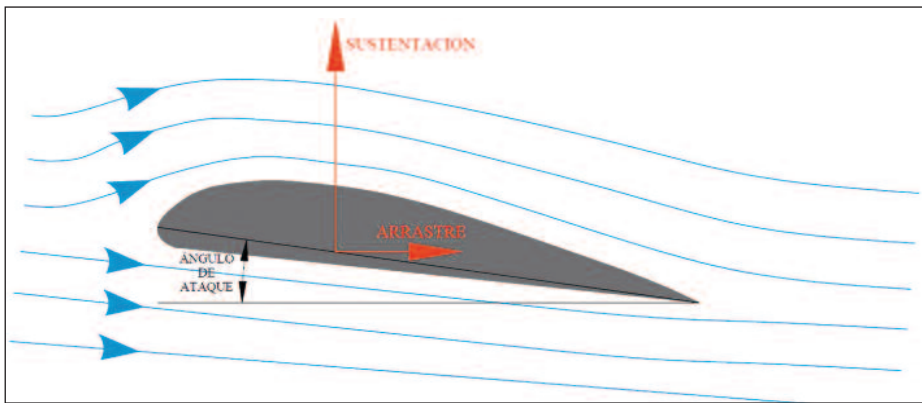
La fórmula dada por Euler es una aplicación del Principio de Conservación de la Energía, donde el sumatorio de la energía de presión hidrostática, la energía cinética y la energía potencial gravitatoria permanece constante. Lo anterior se puede expresar, de manera muy general, de la siguiente forma:

$$p + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 + \rho \cdot g \cdot Z = \text{constante}$$

Siendo «*p*» la presión, «*ρ*» la densidad y «*V*» la velocidad del fluido, «*g*» la aceleración de la gravedad y «*Z*» la altura del flujo respecto a un punto de referencia.

Por tanto, se comprueba que para dos puntos del flujo situados a la misma altura, el último sumando se desprecia, por lo que si en uno de ellos aumenta la velocidad, tendrá que disminuir su presión para que la energía total se mantenga constante.

La forma que tenemos de aplicar este principio para conseguir que el casco de un barco se eleve, un avión vuele o un coche de Fórmula 1 se mantenga pegado al suelo a altas velocidades es mediante un perfil alar, denominado *foil* en inglés. Debido a la geometría del perfil, el flujo que circula por su cara superior tiene que recorrer más distancia que el que circula por debajo, de forma que para que ambos lleguen al extremo del perfil a la vez el flujo de arriba ha de aumentar su velocidad, disminuyendo, por tanto, su presión.



Perfil alar. (Elaboración propia).

La diferencia de presión entre ambas caras origina un efecto succión, dando lugar a una fuerza vertical hacia arriba conocida como sustentación o *lift* que, cuando es superior al peso, produce la elevación. Además de esta, aparece otra fuerza, en este caso no deseable, llamada arrastre o *drag*, en la dirección y sentido del flujo, cuyo efecto es el desplazamiento horizontal del perfil.

La solución para minimizar el efecto de la fuerza de arrastre es inclinar el perfil respecto a la horizontal un cierto ángulo, conocido como ángulo de ataque. Para el caso de las hidroalas, se ha comprobado que su eficiencia máxima ocurre para ángulos de ataque de entre tres y cuatro grados.

## Modo de operación

Una vez introducido el principio físico que permite volar a un barco, queda desgranar el porqué del interés o la necesidad en que lo haga, y la respuesta no

es otra que la posibilidad de navegar más rápido.

Cuando una embarcación navega en régimen de desplazamiento, esto es, con la carena sumergida, su velocidad máxima está limitada por su eslora. Al avanzar, rompe con la proa la superficie del agua, generando una ola que se desplaza a lo largo del casco.

A medida que el barco aumenta su velocidad, la longitud de la ola (distancia entre dos crestas o dos valles) generada aumenta, hasta que llega a una velocidad tal que la longitud de la ola es igual a su eslora, siendo incapaz de subirla, por lo que habrá alcanzado su velocidad máxima.

Esta se puede aproximar mediante la siguiente expresión:

$$V_{\text{Máx.}} = 2,4 \cdot \sqrt{L}$$

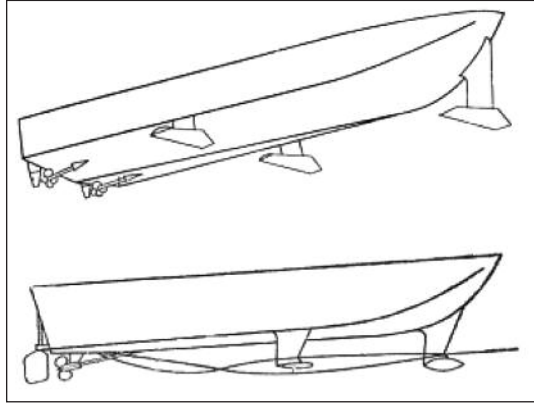
Siendo « $V_{\text{Máx.}}$ » la velocidad máxima en nudos y « $L$ » la eslora en la flotación. A misma eslora, la velocidad máxima será mayor o menor en función de la eficiencia hidrodinámica de las formas del buque.

Para conseguir superar esa velocidad, las alternativas son: navegar en régimen de planeo, aumentando enormemente la potencia de propulsión, o navegar en régimen de no-desplazamiento o vuelo, como es el caso de los hidroalas.

En el gráfico de la página siguiente, se puede observar cómo para aumentar muy poco la velocidad se hace necesario vencer una gran resistencia adicional. Pero llega un punto en el que la curva comienza a decrecer, puesto que el casco empieza a salir del agua gracias a que la sustentación dinámica generada por el hidroala supera a su peso.

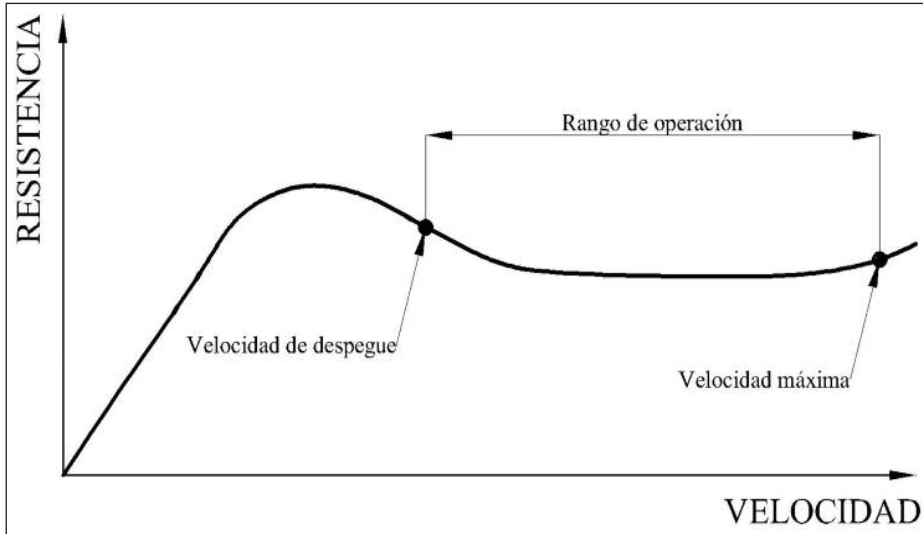
En vista de la explicación anterior, se comprende la importancia de que una embarcación equipada con hidroalas tenga un buen desempeño hidrodinámico cuando está sumergida, ya que ello ayudará a que la velocidad de despegue sea menor, y con ello, la potencia necesaria para la propulsión y el consumo de combustible.

Aunque pueda parecer que la física que hace posible los barcos voladores sea perfecta, lleva consigo un hecho que limita su tamaño máximo. Esto se conoce como la Ley del cuadrado-cubo.



Perfiles alares en un buque.

([web.archive.org/web/20150314074056/http://www.foils.org/02\\_Papers%20downloads/Matveev%20-%20Tool%20for%20Predicting%20Performance.pdf](http://www.foils.org/02_Papers%20downloads/Matveev%20-%20Tool%20for%20Predicting%20Performance.pdf)).



Curva típica de resistencia-velocidad. (Elaboración propia).

La fuerza de sustentación que vence al peso depende del área del hidroala ( $m^2$ ), mientras que el desplazamiento (peso) del buque que ha de superar depende del volumen sumergido ( $m^3$ ), por lo que a medida que aumenta el tamaño del mismo se hacen necesarias unas hidroalas mucho mayores, lo cual en la mayoría de los casos no es posible. Y no lo es porque estas no pueden extenderse mucho más allá de los límites laterales del casco, ya que impiden que el barco atraque en muelle.

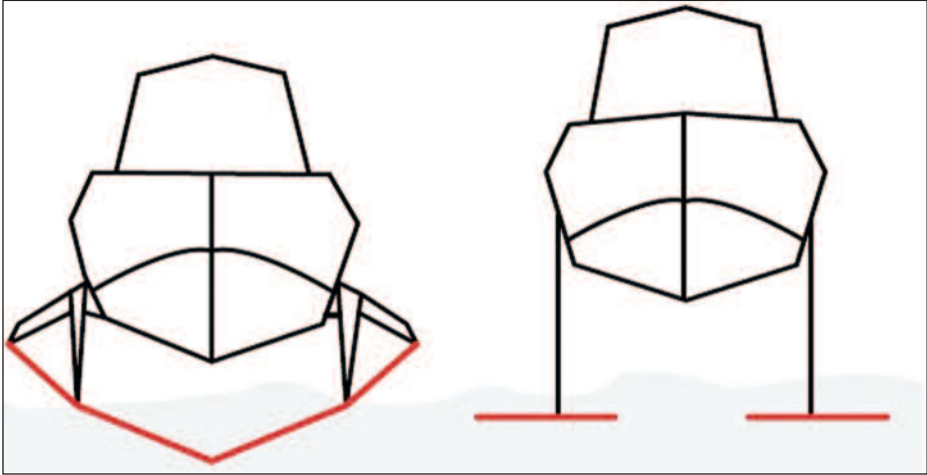
Las soluciones para no necesitar hidroalas mayores serían aumentar la velocidad o la carga hidrodinámica, al igual que se hace en la aviación, pero esto tampoco es viable, porque aparece la cavitación, fenómeno que se tratará más adelante.

Es destacable en este punto la gran diferencia en cuanto al tamaño de las alas y la velocidad de operación necesarias para elevar un avión y un barco de peso similar, lo cual se debe a que el agua es del orden de unas 1.000 veces más densa que el aire ( $1025 \text{ kg/m}^3$  respecto a  $1,225 \text{ kg/m}^3$ ).

En cuanto a los tipos de hidroalas, existen dos configuraciones básicas:

- Hidroalas de perforación de superficie o en V.
- Hidroalas sumergidas o verticales.

En el primer caso, pese a ser estructuralmente más complejo, no requiere de sistemas adicionales, ya que es estable por naturaleza, por lo que mantiene la elevación y amortigua el balance y cabeceo. La segunda configuración



Distintas configuraciones de hidroalas.

([https://columbiamissourian.com/app/ig/graphics/int\\_graph/Hydrofoil/images/image1.gif](https://columbiamissourian.com/app/ig/graphics/int_graph/Hydrofoil/images/image1.gif)).

requiere un sistema de control automático para mantenerse estable, generalmente hidráulico y equipado con sensores, el cual permite orientar las hidroalas en las tres direcciones. No obstante, destaca por una navegación más suave, ya que no se ve afectado por el oleaje.

### Sistemas de propulsión

En este sentido, se han construido hidroalas con casi todas las variantes que se pueden encontrar en buques convencionales, aunque unos han demostrado ser más apropiados que otros, dado que la relación potencia/peso es una variable clave en el diseño de este tipo de embarcaciones.

No obstante, lo habitual es la combinación de varios de los siguientes sistemas:

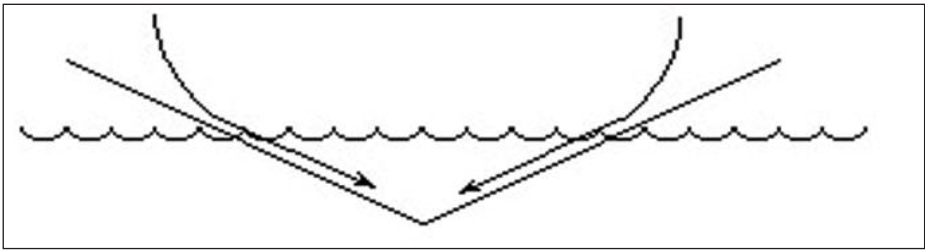
- Motores diésel: tienen una relación de 0,3 CV/kg, lo cual no es ideal, pero destacan por ser económicos y sencillos de mantener. Con ellos, se han conseguido velocidades de 35-40 kn (nudos).
- Turbinas de gas: con una relación de 5 CV/kg, se ha llegado a velocidades superiores a 40 kn. Su principal inconveniente son los complejos sistemas de transmisión y reducción que requieren.
- *Waterjets*: tienen una relación de 3 CV/kg y su uso no ha sido muy extendido, ya que no resulta eficiente a velocidades de 45-50 kn y supone un aumento considerable de peso respecto a las turbinas de gas al necesitar de depósitos de agua para el sistema.

- Motores eléctricos: pese a que pueden llegar a alcanzar relaciones de 12 CV/kg, hay escasos modelos que cuenten con estos sistemas, dado que la mayoría de buques hidroalas que siguen navegando no son de construcción reciente, como sí lo es el auge de la propulsión eléctrica.

### Problemas frecuentes

Existen tres problemas particularmente persistentes que suponen un reto para el diseño de las hidroalas, ya que suceden a veces de forma simultánea ocasionando una reducción de la fuerza de sustentación que provoca que la embarcación se estrelle contra el agua.

- Ventilación: ocurre principalmente en las hidroalas en V. Al perforar la superficie del agua, el aire es aspirado hacia el interior de la lámina por su poca densidad, disminuyendo la elevación.



Ventilación.

([lancet.mit.edu/decavitator/images/ventilation\\_diagram.gif](http://lancet.mit.edu/decavitator/images/ventilation_diagram.gif)).

- Cavitación: como se dijo anteriormente, como consecuencia de este fenómeno no era una solución viable aumentar la velocidad o la carga hidrodinámica para disminuir el tamaño de las hidroalas. El motivo es que al aumentar la velocidad o la carga, disminuye la presión del agua por debajo de la presión de vapor, por lo que esta cambia de estado produciéndose burbujas que provocan el desprendimiento de la capa límite del fluido, con la consecuente pérdida de sustentación.
- Altura del oleaje: cuando la altura significativa de la ola es mayor que la altura de los puntales donde se disponen las hidroalas, la embarcación queda en el aire, por lo que no existe fuerza de sustentación y esta choca contra el agua. Para evitar este problema, lo habitual es apilar las hidroalas en forma de escalera a lo largo de la altura de los puntales, de manera que siempre haya alguna sumergida.





Cavitación.

([https://www.researchgate.net/figure/The-wake-behind-a-cavitating-NACA-0015-hydrofoil-at-an-angle-of-attack-of-8\\_fig1\\_255634807](https://www.researchgate.net/figure/The-wake-behind-a-cavitating-NACA-0015-hydrofoil-at-an-angle-of-attack-of-8_fig1_255634807)).

## Pros y contras respecto al buque convencional

### *Pros*

- Mayor velocidad de operación.
- Mejor comportamiento en la mar y maniobrabilidad, ya que la incidencia del oleaje y las corrientes sobre el casco es casi inexistente.
- Menor consumo de combustible al reducirse la resistencia friccional del casco con el agua.
- Menor firma acústica por fricción del casco y el agua, siendo esta ventaja muy útil como medida contra minas.

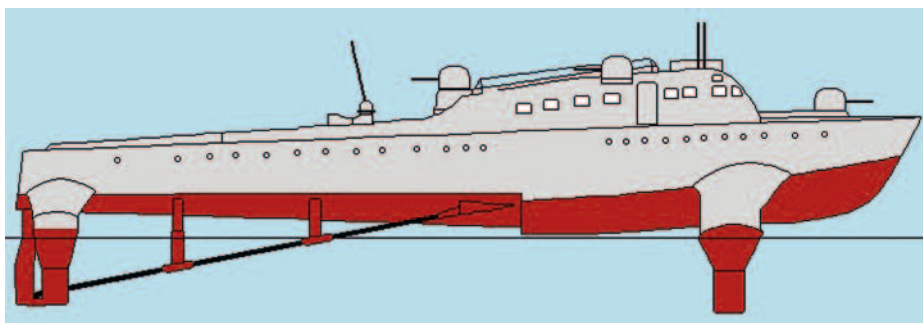
### *Contras*

- El tamaño y el peso de los buques está limitado, por lo que su autonomía, blindaje y capacidad de albergar armamento son menores.
- Construcción y diseño más complejos debido al riguroso control del peso y a las altas cargas estructurales a las que están sometidos.
- Más costosos de construir, ya que para reducir el peso se suelen construir de aluminio.
- Dificultad para operar en aguas someras, heladas y puertos.

## Uso militar

A lo largo de siglo XX, ha habido numerosos diseños de hidroalas militares, de los cuales algunos ni siquiera llegaron a construirse, otros se quedaron en prototipo y los menos operaron con éxito.

El primer buque militar hidroala fue el VS-8, que entró en servicio en la Alemania nazi durante la Segunda Guerra Mundial para transportar tanques desde Sicilia hasta el norte de África. Este tenía un desplazamiento máximo de 98 t y una eslora de 32 m y fue diseñado para alcanzar una velocidad de 45 nudos, aunque el escaso rendimiento de sus motores solo le permitía levantar su casco en mares tranquilos. Tras un año en servicio, se hundió al quedar varado.



Hidroala VS-8 alemán.

(<https://www.german-navy.de/kriegsmarine/ships/landingcrafts/vs8/index.html>).

Desde 1957 hasta 1965, la Unión Soviética puso en servicio la clase *Pchela*, compuesta por 25 cazasubmarinos hidroala de 75 t y 27 m de eslora, capaces de alcanzar 42 kn.

Entre 1964 y 1965, la Marina canadiense, que llevaba desde el fin de la Segunda Guerra Mundial investigando con prototipos de hidroalas, construyó el HMCS *Bras d'Or* (FHE-400), que entró en servicio en 1968. Durante los tres años que estuvo operativo, la nave registró 648 horas de navegación, 96 de ellas sobre hidroalas. En 1971, la aparición por segunda vez de grietas en las hidroalas y un cambio en las prioridades estratégicas del mando militar motivaron su retirada del servicio durante cinco años, tras los cuales no fue reactivado, siendo finalmente convertido en buque museo.

En 1954, la US Navy comenzó un programa para desarrollar lanchas de desembarco, con el requisito de que tenían que ser capaces de volar en aguas someras y descargar en la playa, por lo que las hidroalas debían ser retráctiles. Durante las pruebas, el prototipo alcanzó 34 nudos con olas de 1,5 m, pero nunca entró en servicio. En 1962, se botó un prototipo de patrullero de 35 m y



- Desplazamiento: 180 toneladas.
- Eslora: 46 metros.
- Manga: 6,4 metros.
- Calado: 7 metros
- Velocidad máx.: 63 kn.
- Autonomía: 500 mn en vuelo y 1.500 sobre el casco.
- Propulsión: dos hélices empujadas por dos turbinas de gas y un motor diésel.
- Tripulación: 29 personas.

HMCS *Bras d'Or*.

(<http://www.forposterityssake.ca/JPGs/PHOTO-DIR/BRASDOR-400/BRA0001.jpg>).

48 nudos, denominado *PCH-1*, que se empleó como banco de pruebas para evaluar la validez de estos buques para servir en la Marina. Tras años de proyectos infructuosos, en 1968 se entregaron las patrulleras de la clase *PGH*, siendo la primera unidad construida por Grumman y la segunda por Boeing. Pese a que se diseñaron y construyeron con las mismas especificaciones, sus configuraciones eran sustancialmente diferentes. La *PGH-1* se propulsaba por una hélice y disponía de una hidroala en popa y dos en proa, mientras que la *PGH-2* disponía de dos *waterjets* y dos hidroalas en popa y una en proa. Ambas unidades sirvieron con notable éxito en la Guerra de Vietnam hasta su



USS *High Point* (PCH-1). (<http://www.navsource.org/archives/12/12060101.jpg>).



- Desplazamiento: 67 toneladas.
- Eslora: 25 metros
- Manga: 6,5 metros.
- Calado: 5,5 metros.
- Velocidad máx.: 45 kn.
- Propulsión: una turbina de gas y dos motores diésel.
- Tripulación: 16 personas.

USS *Flagstaff* (PGH-1).  
(<http://www.navsourc.org/archives/12/12100108.jpg>).

retirada en 1978. En 1969, entró en servicio el que es hasta la fecha el mayor buque hidroala que se ha construido. El USS *Plainview* (AGEH-1) fue un buque de investigación para evaluar las capacidades de los hidroalas y su utilidad en la lucha antisubmarina. Tras varios programas experimentales, fue dado de baja en 1978.



- Desplazamiento: 310 toneladas.
- Eslora: 67 metros.
- Manga: 12,3 metros.
- Calado: 7,4 metros.
- Velocidad máx.: 40 kn.
- Propulsión: dos hélices empujadas por dos turbinas de gas y dos motores diésel.
- Tripulación: 20 personas.

USS *Plainview*.  
([http://washingtonourhome.com/wp-content/uploads/2016/01/SW\\_PlainviewOld\\_8.jpg](http://washingtonourhome.com/wp-content/uploads/2016/01/SW_PlainviewOld_8.jpg)).

Después del éxito del programa *PGH*, la Armada estadounidense proyectó otro diseño de patrulleros, los de la clase *PHM*. El primero de ellos, denominado USS *Pegasus*, fue entregado en 1977. Cinco años después, a este se le unieron cinco unidades más para formar un escuadrón de seis buques. En 1993, cuando todavía los buques se encontraban en perfecto estado y después de haber cumplido todas las expectativas que motivaron su adquisición, y con al menos 15 años de vida útil por delante, la Marina retiró del servicio todas



Clase PHM en formación. ([www.wearethemighty.com/gear-tech/why-the-navy-doesnt-use-these-small-boats-with-a-big-punch](http://www.wearethemighty.com/gear-tech/why-the-navy-doesnt-use-these-small-boats-with-a-big-punch)).

las unidades. La Guardia Costera quiso hacerse cargo de los barcos, pero la US Navy no pudo proporcionar fondos para ello y con el tiempo fueron vendidos como chatarra. Desde entonces, Estados Unidos no ha vuelto a tener buques hidroalas en servicio.

En años posteriores, los principales contratistas de Defensa americanos realizaron algunos diseños, destacando por tamaño el *Grumman M163*, una corbeta de 2.400 t, 110 m de eslora y 52 kn. Más recientemente, en 2019 Rusia dio a conocer (<http://185.26.112.64/en/products/suda-na-podvodnyih-kryilyah/antares-ra/>) el *Proyecto 133RA*, un hidroala lanzamisiles de 40 m de eslora y 60 kn, que ofrece para la venta a clientes internacionales.



- Desplazamiento: 248 toneladas.
- Eslora: 41 metros.
- Manga: 8,5 metros.
- Calado: 7 metros.
- Velocidad máx.: 48 kn.
- Autonomía: 750 mn en vuelo y 1.200 mn sobre el casco.
- Propulsión: dos waterjets movidos por una turbina de gas y dos motores diésel.
- Tripulación: 21 personas.

USS *Taurus* (PHM-3).

(<https://i.pinimg.com/originals/95/ca/fb/95cafb022c4f2e8b1f0fa7725c286116.jpg>).

## Epílogo

Aproximadamente un siglo atrás, los sueños del hombre por lograr que un barco alzase el vuelo fructificaron con el prototipo de Enrico Forlanini. Posteriormente, la carrera armamentística previa a la Segunda Guerra Mundial y la Guerra Fría provocaron que buques hidroalas entraran en servicio en las marinas más potentes. Pero sus inconvenientes pesaron más que sus virtudes y todos fueron desmantelados antes de la entrada del siglo XXI. Y aunque las investigaciones en este campo han continuado —en una época donde se buscan buques de guerra cada vez más polivalentes y económicos—, parece complicado volverlos a ver surcar los mares.



## BIBLIOGRAFÍA

- O'NEILL, W. C. (2004): *Hydrofoil Ship Design*. International Hydrofoil Society.
- MEYER, J. R. (2000): *Hydrofoil Design Basics. A Brief Tutorial*. International Hydrofoil Society.
- CLARK, D. J.; ELLSWORTH, W. M.; MEYER, J. R. (2004): *The Quest for Speed at Sea*. Carderock Division, Naval Surface Warfare Center-Technical Digest.
- MEYER, J. R.; WILKINS, J. R. (1992): *Hydrofoil Development and Applications*. High Performance Marine Vehicles Conference and Exhibit.
- WHITE, F. M. (1998): *Fluid Mechanics*. 4.<sup>th</sup> Edition. McGraw-Hill.
- EAMES, M. C.; JONES, E. A. (1970): *HMCS Bras D'Or-An Open Ocean Hydrofoil Ship*. Royal Institution of Naval Architects.
- JENKINS, G. (1995): *PHM History*. International Hydrofoil Society.
- SAUNDERS, S. (2009): *Jane's Fighting Ships 2009-2010*. Jane's Information Group.