

ENSAYOS AERODINÁMICOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS OPERACIONES EN LA CUBIERTA DE VUELO

Aerodynamic tests for the optimization of operations on the flight deck

José Maria Riolo Rodríguez¹
Miguel Angel Garnica²

Recibido: 03/07/2019
Aceptado: 12/10/2019

Resumen

La operación de vuelo sobre la cubierta de un buque de guerra con aviones, helicópteros o RPAS es una de las actividades más cruciales a las que se enfrentan estos buques, debido a las diferentes complicaciones hasta extremos críticos cuando hay que enfrentar a fuertes estado de la mar. De este modo, al hablar de fragatas y buques anfibios, por norma general, sus cubiertas de vuelo se sitúan en la zona de popa, por lo que el flujo aerodinámico al que se enfrentan sus operaciones en esta parte se encuentra definido por una estela que es producida con las perturbaciones de la obra muerta del buque. Dadas las superestructuras actuales de estos buques, sus estelas se caracterizan por ser altamente turbulentas y por la aparición de intensos torbellinos que dependen de la geometría del buque desde la proa hasta dicha cubierta. En esta perspectiva, en este trabajo se presentan resultados parciales y conclusiones de una campaña de ensayos en túnel aerodinámico sobre un modelo a escala de una fragata, para conseguir la caracterización del flujo en el entorno de su cubierta de vuelo. Se han realizado ensayos

de visualización del flujo con técnicas de penacho de lana y humo, anemometría de hilo caliente y anemometría laser por imágenes de partículas. Todos los ensayos se han realizado en instalaciones de la Universidad Politécnica de Madrid

Palabras claves: túnel de viento, ensayos, cubierta de vuelo, aerodinámica, anemometría, optimización estructural.

Abstract

Flight operations on the deck of a warship with airplanes, helicopters or RPAS are one of the most crucial activities these ships face, which is complicated to critical extremes when the weather confronts us with strong weather conditions. sea. When we talk about frigates and amphibious ships, as a general rule, their flight decks are located on a deck in the stern area, so the aerodynamic flow that their operations in this area face is defined by a wake that is produced with the disturbances of the dead work of the ship. Given the current superstructures of these ships, their wakes are characterized by being highly turbulent

¹ Armada España, Ingeniero Naval. investigacionnaval@escuelanaval.edu.co

² Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla. Ingeniero electrónico.

and by the appearance of intense eddies that depend on the geometry of the ship from the bow to said deck. In this work, partial results and conclusions of an aerodynamic tunnel test campaign on a scale model of a frigate are presented, to achieve the characterization of the flow in the environment of its flight deck. Flow visualization tests have been performed using wool and smoke plume techniques, hot

wire anemometry and laser particle imaging anemometry. All the tests have been carried out in facilities of the Polytechnic University of Madrid

Keywords: wind tunnel, tests, flight deck, aerodynamics, anemometry, structural optimization.

Introducción

El diseño de una cubierta de vuelo para una Fragata es un proyecto completo en sí mismo, como ya se expuso en Ogueta y Riola, (2018) en el que intervienen tecnologías de estructuras y materiales, y que además necesita de simulaciones y ensayos con modelos a escala en un túnel de viento para poder asegurar las operaciones con aviones, helicópteros y los cada vez más habituales RPAS (Sistema Aéreo Pilotado Remotamente). Los aterrizajes y despegues que ocurren en la cubierta de vuelo de un buque pueden ser muy restrictivos según los requisitos operacionales, obligando a la aeronave a despegar o tomar en condiciones muy distintas a las ideales, y en contra de lo habitual estos aterrizajes o despegues pueden incluso requerir mayor par y potencia al contar con menos efecto suelo. Aunque se están desarrollando sistemas predictivos de aproximación (Riola y Girón, 2013) cada vez más autónomos a nivel prototipo, todavía los que predicen los momentos óptimos de toma no están comercializados.

Además, cuando estos buques se encuentran navegando en la mar, están sometidos a la acción del oleaje, debido al cual se provocarán movimientos alrededor de su metacentro. Y a la vez, se ven sometidos al flujo aerodinámico debido a su desplazamiento y al viento de la capa límite atmosférica presente sobre la mar, con lo que la obra muerta en proa inducirá sendos torbellinos laterales y la superestructura dará lugar a la capa límite del barco, situada encima del hangar, la cual se encuentra con un escalón descendente que lleva a la cubierta de vuelo, por lo que el “air wake” o flujo de aire sobre la cubierta de vuelo se suele caracterizar por su recirculación y turbulencia.

Esta necesidad de diseño sigue manteniendo nuestra atención cuando nos encontramos con accidentes como el del helicóptero MH-60S Knighthawk, que participaba en la Operación “Enduring Freedom”, en la cubierta de vuelo del USS William P. Lawrence, el 22 de septiembre de 2013, tras recibir una “rogue wave” justo después de que el helicóptero hubiera aterrizado en la cubierta de vuelo. La combinación entre la ola, velocidad del barco y caída del rumbo colocaron al buque en “quartering seas” causándole una gran escora que permitió que las olas alcanzasen su cubierta y deslizará al helicóptero fuera de la cubierta.



Figura 1. Helicóptero MH-60S Knighthawk (Fuente: US Navy)

Otro ejemplo es el accidente del helicóptero U.S. Army H-60 que sufrió un duro golpe contra la cubierta de vuelo del Military Sealift Command (MSC), US Red Cloud (T-AKR-313), dejando 7 heridos durante el ejercicio llevado a cabo el 12 de agosto de 2015 a unas 20 millas al este de Okinawa, Japón.



Figura 2. Restos del MH-60S sobre el US Red Cloud (Fuente: US Navy)

Estos casos muestran la necesidad de continuar con los estudios y optimizaciones, basados en túneles de viento, para cada tipo específico de construcción, y que nos permitan avanzar en la seguridad de los diseños de las cubiertas de vuelo para facilitar lo más posible la tomas y despegues sobre ellas. Particularmente, los sistemas de lanzamiento y despegue de los RPAS requieren poder responder a configuraciones completamente distintas sobre la cubierta, con grandes diferencias en los equipos a instalar o desplegar: peso, tamaño y ubicación, variando los requisitos de espacio y localización que se deben reservar en el buque para realizar estas operaciones. En el siguiente esquema se indican algunos de estos elementos principales y su ubicación.

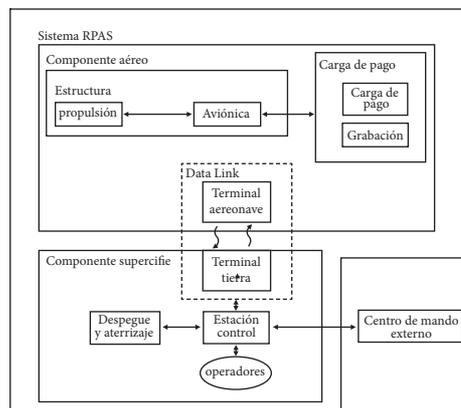


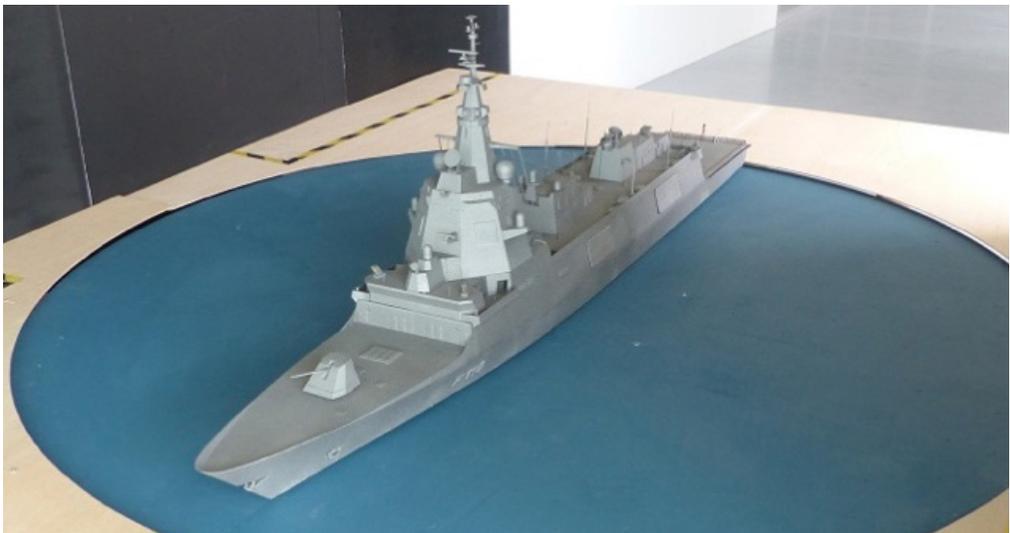
Figura 3. Componentes principales del RPAS (Fuente: STANAG 4586)

El Modelo De Fragata

El modelo usado en los ensayos se ha fabricado a una escala de 1:80 y ha requerido la existencia de tres tipos de semejanza (geométrica, cinemática y dinámica) entre el flujo alrededor del modelo y del prototipo, conforme a las reglas que del análisis dimensional y la semejanza en mecánica de fluidos. La semejanza geométrica implica que en el modelo de ensayo debe reproducir a escala los detalles aerodinámicamente relevantes. Todas las dimensiones lineales del modelo están relacionadas con las del buque por un factor de escala λ , conocido como escala de longitudes.

La semejanza cinemática requiere que en los flujos a comparar y las líneas de corriente sean semejantes, lo que requiere que se cumpla una relación entre las escalas de longitudes y tiempos $\lambda T = T_m/T_p$, donde "m" y "p" indican modelo y prototipo. La semejanza dinámica exige que la distribución de fuerzas en los dos flujos, real y a escala, sea tal que en puntos homólogos las fuerzas sean paralelas y la relación entre sus módulos debe ser la misma para las fuerzas presentes. Esto ocurre cuando modelo y prototipo tienen las mismas escalas de longitudes, de tiempos y de fuerzas, y para ello es necesario que los números de Reynolds de modelo y prototipo sean iguales, $Re_m = Re_p$.

En el modelo se han empleado diferentes tipos de materiales, plástico para la impresión 3D, resina isotrópica para el fresado por control numérico y diversos tipos de madera para la carpintería.



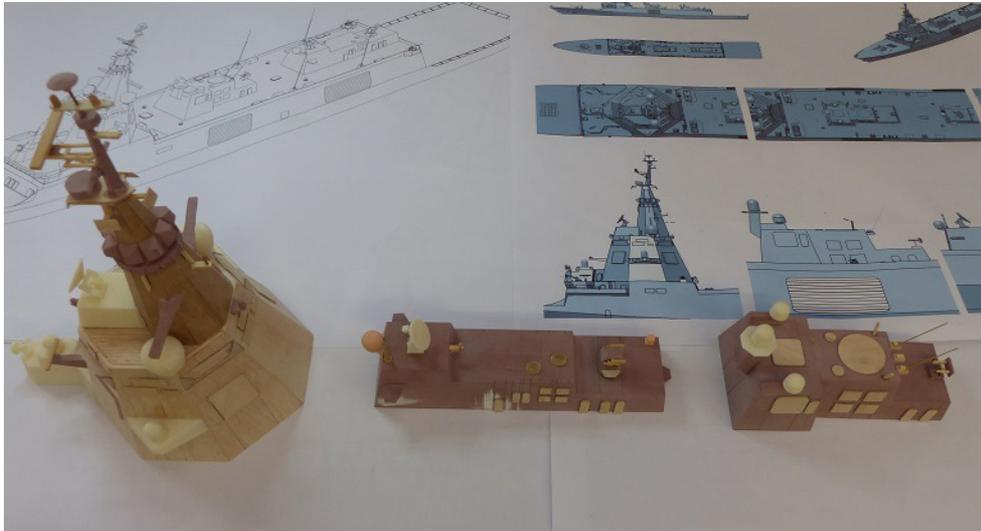


Figura 4. Piezas del modelo y resultado final (Fuente: UPM)

El modelo se ha colocado sobre dos células de carga que permiten conocer con detalle las fuerzas y los momentos que sufre el buque en sus tres ejes. Simultáneamente se ha medido la presión dinámica, mediante un tubo de pitot y una cápsula de presión diferencial para calcular los coeficientes aerodinámicos. De acuerdo con la nomenclatura empleada por López y Riola (2019) [2], tales coeficientes se calculan de la siguiente forma:

$$c_X = \frac{f_x}{q_\infty A_f} \quad (1)$$

$$c_Y = \frac{f_y}{q_\infty A_s} \quad (2)$$

$$c_K = \frac{m_x}{q_\infty A_s (A_s/L)} \quad (3)$$

$$c_N = \frac{m_z}{q_\infty A_s L} \quad (4)$$

Donde f_i es la fuerza en cada uno de los ejes $i=x,y$; m_i es el momento en cada uno de los ejes $i=x,z$; q_∞ es la presión dinámica; A_f es la proyección del área frontal; A_s es la proyección del área lateral; L es la eslora, y c_X , c_Y , c_K y c_N son los coeficientes de fuerza longitudinal, transversal y de momentos longitudinal y vertical, respectivamente. El eje x va en dirección popa-proa, apuntando hacia esta, el eje y va en dirección babor-estribor, apuntando a este último y el eje z apunta hacia abajo, formando un triedro a derechas [3].

En estos ensayos se ha variado el ángulo de guiñada, β respecto al viento a lo largo de los 360° , con pasos de 5° . El caso de $\beta=0^\circ$ corresponde al viento incidiendo por proa, $\beta=90^\circ$ corresponde al costado de babor, $\beta=180^\circ$ corresponde al viento incidiendo por popa y $\beta=270^\circ$ corresponde al costado de estribor.

Para realizar la visualización del flujo, se han empleado penachos de lana adheridos a la zona del helipuerto que permiten visualizar si la corriente presenta torbellinos, zonas de desprendimiento, flujo adherido, etc. También se ha empleado la técnica de visualización por humo mediante el calentamiento de glicol.

Resultados

La figura siguiente presenta los resultados de los coeficientes de fuerzas y coeficientes de momentos en función del ángulo de guiñada. Como es de esperar, las cargas transversales (c_Y , c_K) aumentan considerablemente cuando el viento sopla de babor o de estribor, donde se alcanzan los valores máximos. Estos valores están adimensionalizados respecto al eje de abscisas que representa los distintos ángulos de entrada del viento de 0° a 360°

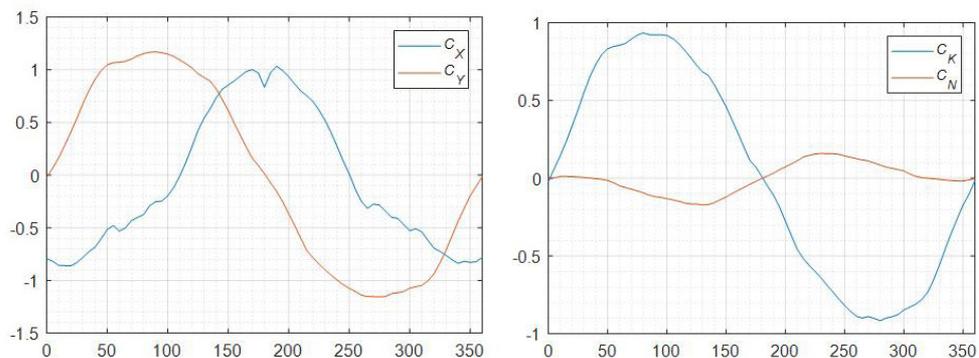


Figura 5. Coeficientes de fuerza frente al ángulo de guiñada (Fuente: UPM)

En la siguiente foto, se puede ver como las lanas más cercanas a la popa se mantienen adheridas, mientras que las más cercanas al castillo tienen un comportamiento más variable. Por lo tanto es de esperar que en esa zona haya un flujo desprendido o una burbuja de recirculación, que hay que caracterizar correctamente para ver la influencia que puede tener sobre un helicóptero en una maniobra de aterrizaje.

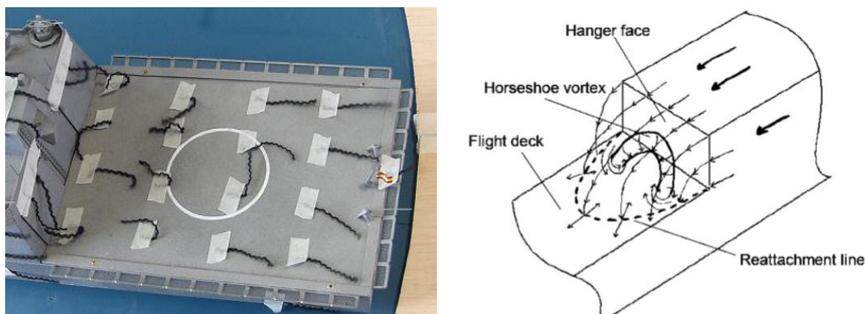


Figura 6. Penachos de lana y dibujo de vórtice de herradura (Fuente: UPM)

Debido a la caída brusca del final de los hangares de los helicópteros, existe una gran zona de recirculación detrás del escalón, y además, el flujo llega desde los lados del buque dando lugar a dos torbellinos contrarrotantes sobre cada lado de la región de recirculación, lo que da como resultado una estructura no estacionaria de vórtice en herradura que puede ser altamente peligroso y al que hay que saber atacar a base de diseño para lograr su desaparición o al menos su disminución a límites tolerables.

La forma de la burbuja de recirculación se puede ver también en la figura siguiente en la que se aprecia que la capa de cortadura que se desprende del castillo se readhiere, aproximadamente, en la mitad de la cubierta de vuelo. Las flechas muestran, aproximadamente el comportamiento del flujo. La flecha roja indica la zona de recirculación y creación de torbellinos, mientras la flecha azul indica la parte del flujo que continúa la cubierta.



Figura 7. Visualización del flujo mediante humo (Fuente: UPM)

Para la medición del flujo se usó la técnica de velocimetría por imágenes de partículas, conocida como PIV (Particle Image Velocimetry) se basa en la medida de la velocidad de las partículas trazadoras transportadas por el flujo. Los PIV constan de una o varias fuentes de iluminación láser. El plano de flujo a investigar se ilumina mediante una lámina de luz formada a partir de un láser pulsado y la óptica apropiada. Esta técnica mide el desplazamiento de las imágenes de partículas, las cuales se encuentran en el plano imagen o detector y la incógnita es el desplazamiento del flujo o plano objeto. Ambos planos se relacionan geoméricamente mediante un parámetro que constituye el aumento o magnificación del sistema óptico de registro. Este tipo de ensayo es complementario al anterior, debido a que es más visual y centrado en el estudio de los vórtices, y al captar las partículas de aceite añadido al flujo obtiene los valores exactos en los puntos específicos de estudio. Ambos datos se cargan en el simulador para la representación final del flujo aerodinámico sobre la cubierta.

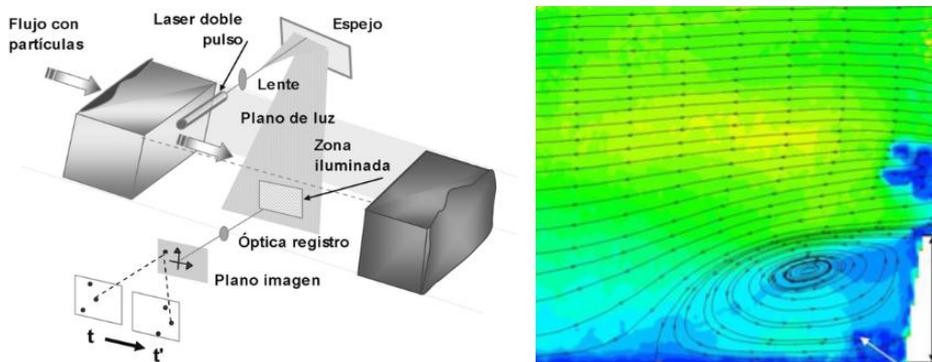


Figura 8. Resultados obtenidos con PIV (Fuente: UPM)

Conclusiones

Se ha podido comprobar que las importantes cargas aerodinámicas que aparecen sobre la cubierta de vuelo de la Fragata, son muy importantes en las fases de diseño del buque, y ayudan a un dimensionamiento estructural correcto. Además, se ha visto que el comportamiento aerodinámico es complejo en la zona de la cubierta de vuelo, por lo que los detalles finales específicos se han realizado en base a los ensayos de visualización y de caracterización del flujo mediante anemometría de hilo caliente PIV. Gracias a los resultados obtenidos se han propuesto cambios en la obra muerta para optimizar el air wake en la cubierta de vuelo. Estos cambios están relacionados principalmente con el ángulo de la chapa que se levanta sobre la cubierta/techo del hangar y con la porosidad de ésta, y con los ángulos que forman las estructuras laterales del hangar y del espacio multimisión.

Referencias

- Ogueta-Gutierrez, M., Riola, J.M., et al. (2018). *Caracterización del flujo aerodinámico sobre la cubierta de vuelo de una fragata*. VI Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad, Valladolid.
- López, E., Riola, J.M., Gómez, O., Manzanares, R., Ogueta, M., Meseguer, F., Franchini, S. (2019). 8th *European Conference for Aeronautics and Space Sciences, EUCASS'19*, Madrid.
- Aage, C. et al. (1997). *Wind loads on ships and offshore structures estimated by CFD*. In: Proceedings of the 8th International Conference on the Behaviour of Offshore Structures, BOSS'97.
- Riola, J.M., Girón, J.M. y Díaz, J.J. (2013). *Smoothing warships movements based on wavelets*. Ship Science and Technology. 6 (12), 51-62. Cotecmar