



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

TRABAJO FIN DE GRADO
GRADO EN INGENIERIA AEROESPACIAL

Diseño Preliminar de una Aeronave de Ala Rotatoria

Autor

Jaime Jiménez González



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
AERONÁUTICA Y DEL ESPACIO

—
Madrid, Junio de 2019

Agradecimientos

Se acaba una época, una época dura, con mejores y peores momentos, de los cuales solo los buenos quedarán en el recuerdo.

Aquí quiero agradecerle a todos aquellos que han estado a mi lado su incansable labor de hacerme el camino más fácil, empezando por mi familia, que ha estado ahí en todo momento aportando toda la tranquilidad posible y el apoyo que solo ellos saben dar.

También he de agradecer a mis amigos todas las risas y horas de trabajo compartidas, por compartir penas y alegrías que me han ayudado a llegar aquí, tanto a la gente que he conocido nueva, como a la que lleva conmigo desde antes, tanto en la Escuela como fuera de ella.

Por último dar las gracias a mi pareja, por haber estado a mi lado en todo momento ayudándome con esta carga hasta cuando parecía inaguantable. Nunca me ha fallado y siempre me ha ayudado a levantarme.

Gracias a todos por haberme acompañado y por hacer de esto una realidad.

Capítulo 1

Introducción

Como bien es sabido, el desarrollo de una nueva aeronave partiendo de 0 es un trabajo tremendamente complejo que supondría en la industria unos costes desmesurados. Por ello, en este Trabajo de Fin de Grado se plasmará el desarrollo de un diseño preliminar empleando para ello un análisis de vehículos semejantes ya existentes.

La aeronave a desarrollar será un UAV de un MTOW de 450kg de peso, por lo que será fundamental desarrollar una pequeña base de datos de aeronaves similares para poder obtener un primer diseño. En este capítulo se tratarán, además de los objetivos del trabajo, las bases de la mecánica de vuelo de las aeronaves de ala rotatoria de forma sencilla.

1.1. Objetivos del Trabajo

El objetivo principal de este trabajo es generar un diseño preliminar de una aeronave no tripulada de ala rotatoria de un peso máximo al despegue de 450kg. Este diseño, realizado mediante un estudio de aeronaves similares, será después validado por un análisis de sus actuaciones a partir del equilibrado de la misma. Es justo aquí donde se verá reflejada la originalidad del trabajo, a la hora de elegir las actuaciones a analizar.

La validación se llevará a cabo además de forma paralela a una optimización de características de la aeronave, como pueda ser el alcance o la autonomía, en función de otros parámetros de la misma.

Es importante también definir la misión de la aeronave a diseñar, ya que en función de esta optimizaremos unos parámetros u otros y exigiremos unos mínimos a las actuaciones de la misma.

1.2. Uso de las Aeronaves no Tripuladas

Las aeronaves no tripuladas (***UAV Unmanned Aerial Vehicle***) están fuertemente ligadas a la aviación militar, siendo esta industria la responsable principal de su desarrollo a lo largo de su historia. Aunque anteriormente se dieron casos de *UAVs*, como son los globos con los que el ejército austriaco bombardeó Venecia en 1849, las primeras aeronaves no tripuladas como las conocemos hoy se desarrollaron durante la Primera Guerra Mundial por parte de los Estados Unidos.

A día de hoy, y aunque el desarrollo de la tecnología ha sido gracias a la industria militar, más concretamente a la industria militar de Estados Unidos, su uso se ha extendido más allá de esta. Ya no se trata de instrumentos de guerra ni de un artículo de lujo, sino que existen una gran variedad de aeronaves que cumplen distintas funciones fuera de la aviación militar, sino como parte de la aviación comercial civil (como puedan ser las aeronaves radio control cuyo mando puede ser un *smartphone* personal).

Algunos de estos usos son los siguientes:

- Fotografía y grabación aérea, tanto profesional como recreativa.
- Control de daños en zonas afectadas por desastres.
- Transporte de mercancías.
- Seguimiento y predicción de fenómenos atmosféricos (tornados, tormentas, etc.)
- Control y patrulla de fronteras
- Inspecciones en zonas de difícil acceso (o imposible).
- Entretenimiento

Por otro lado siguen creciendo los usos militares;

- Combate aéreo
- Supervisión y control
- Balizas de objetivos

Estos son solo algunos de los usos de los *UAVs*, pero la lista crece continuamente.

Pese al fuerte desarrollo civil, el principal gasto mundial en aeronaves no tripuladas viene del sector militar, motivado también por el gasto que conllevan los

programas militares y los costes de las aeronaves (en 2011, el coste del programa MQ-1 *Predator* era de 2,38 mil millones de dólares [5], mientras que el coste de una unidad del mismo se sitúa en 4,03 millones de dólares [2]). Se espera un gasto global de 70 mil millones de dólares en aeronaves no tripuladas para 2020 [6]

Sin embargo, el sector cuyo crecimiento se espera sea mayor es el civil. Según datos de BI Intelligence, se espera un crecimiento del 19% en el mercado civil frente a un 5% en el militar para el período 2015-2020. Esto se debe principalmente al incremento en la variedad de operaciones que los UAVs son capaces de realizar y a su implementación en las empresas. Debido a este crecimiento, se espera también la creación de 100.000 puestos de trabajo solo en Estados Unidos para 2025 [1].

1.3. Mecánica del Vuelo de un Helicóptero

1.4. HEROES

1.5. Descripción del Proyecto

En este caso se ha decidido desarrollar una aeronave ligera cuyo objetivo será abastecer pequeños despliegues militares en zonas de conflicto desde las bases principales. Los convoyes de transporte por tierra han sido atacados durante los últimos años y por ello las tropas han tenido problemas con el abastecimiento de suministros. La idea es que la aeronave sustituya a estos, de manera que el transporte no solo sea más seguro al ser más difícil de interceptar, sino también más rápido y seguro al no contar con tripulación a bordo. Los suministros serán principalmente alimentos, aunque sería posible mandar también armamento y suministros sanitarios en caso de necesidad, aunque siempre en pequeñas cantidades, los despliegues a abastecer no serán muy numerosos, y tampoco deberán estar muy alejados de una base principal.

Esto deja claro las características necesarias para la aeronave;

- Una carga de pago máxima lo más alta posible, de manera que resulte eficiente y no sean necesarios múltiples vuelos diarios para un mismo despliegue salvo casos excepcionales.
- Una velocidad de crucero buena, de manera que el tiempo que la aeronave esta en vuelo sea el mínimo posible, para evitar así la intercepción. Además también servirá para transportar suministros médicos en caso de emergencia.
- Un alcance de unos 400 Km, de manera que pueda abastecer a distancias de alrededor de 200 Km. Es importante que la aeronave pueda realizar

el trayecto de ida y vuelta sin repostar, ya que ello obligaría a disponer de combustible en las zonas a abastecer, lo que no es conveniente para la misión. También hay que tener en cuenta que la mitad del trayecto se realizará con la máxima carga de pago la mayoría de las ocasiones, pero la otra mitad la aeronave no tendrá en la mayoría de los casos carga alguna (será posible enviar de vuelta a las bases principales pequeñas cargas en caso de necesidad).

- Un techo de vuelo suficiente para dificultar su intercepción, ya que la aeronave no contará con un blindaje militar para priorizar otras características.

Como se observa, apenas se han definido numéricamente estas características, ya que en una primera aproximación no se conoce con exactitud la misión, por lo que todos estos parámetros se intentarán maximizar durante el diseño para obtener unas actuaciones lo mejores posible y que la aeronave pueda ser útil en un rango más amplio de situaciones.

Capítulo 2

Análisis de Semejantes

Tal y como se ha reflejado en la introducción, el proceso a seguir para obtener un diseño preliminar, será el análisis de semejantes. Este análisis consiste en crear una base de datos de aeronaves ya existentes, cuyas características sean similares a las que podría tener la nuestra, de manera que mediante un análisis estadístico se pueda obtener una primera aproximación de algunas características de nuestra aeronave.

Dado que el objetivo es el diseño de un helicóptero no tripulado de 450 Kg de *MTOW*, los vehículos a analizar serán helicópteros de una masa similar, en torno a 400-500 kg, pero al no existir una cantidad suficiente dentro de este margen, se ha decidido ampliar este. En la siguiente tabla se encuentran los helicópteros seleccionados para el análisis

Como se observa, parte de la tabla se encuentra en blanco. Estos datos no han sido facilitados por los fabricantes y por ello no salen reflejados. También se observa que se hace distinción entre *UAVs* y vehículos tripulados, como dato meramente curioso que refleja que en el margen de pesos elegido, es difícil encontrar aeronaves tripuladas.

Una vez se ha obtenido la selección de aeronaves semejantes, se procede a realizar un análisis estadístico de las distintas características de los mismos para obtener unos primeros valores de diseño. Al ser la característica más definitoria de la aeronave el peso máximo al despegue, se observará la evolución de los distintos parámetros con el *MTOW*. En este capítulo se pueden observar las gráficas que se obtienen del análisis anterior para cada parámetro, incluyendo una línea de tendencia que nos permita obtener una primera aproximación en el diseño. Cabe indicar que se han omitido, en las gráficas correspondientes, aquellos vehículos cuyas características no eran conocidas, sin eliminarlos del resto de ellas. Las líneas de tendencia se han generado usando una aproximación lineal, lo cual puede llevar a una mala aproximación dependiendo de los datos.

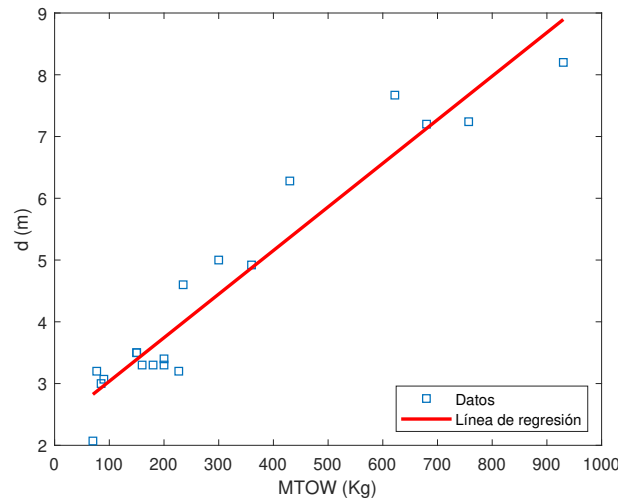


Figura 2.1: Relación entre los diámetros de las palas de los helicópteros y sus MTOW junto a su línea de tendencia

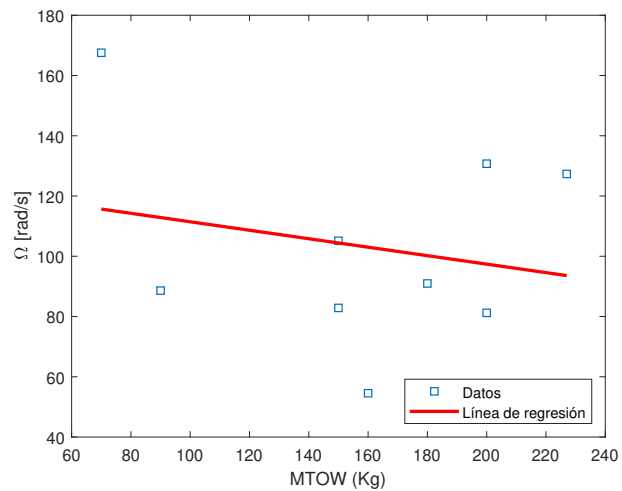


Figura 2.2: Relación entre las velocidades de giro del rotor de los helicópteros y sus MTOW junto a su línea de tendencia

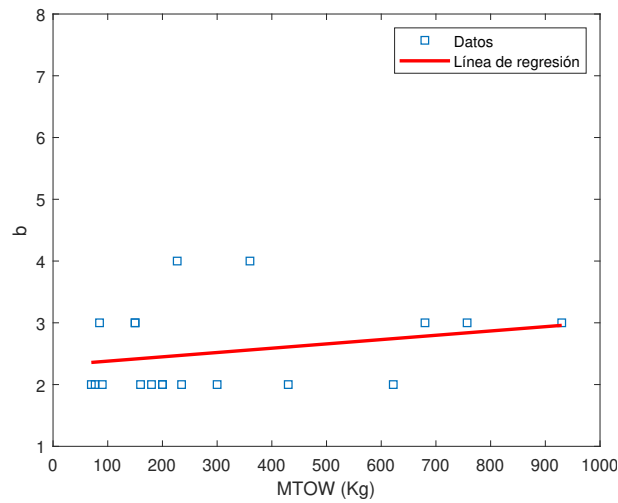


Figura 2.3: Relación entre el número de palas del rotor principal de los helicópteros y sus MTOW junto a su línea de tendencia

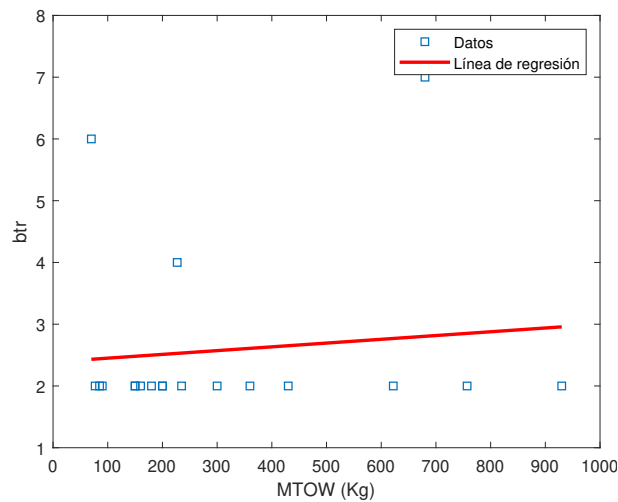


Figura 2.4: Relación entre el número de palas del rotor antipar de los helicópteros y sus MTOW junto a su línea de tendencia

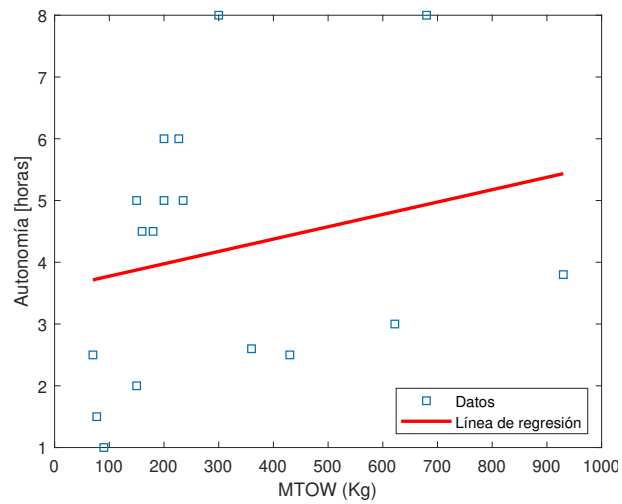


Figura 2.5: Relación entre las autonomías de los helicópteros y sus MTOW junto a su línea de tendencia

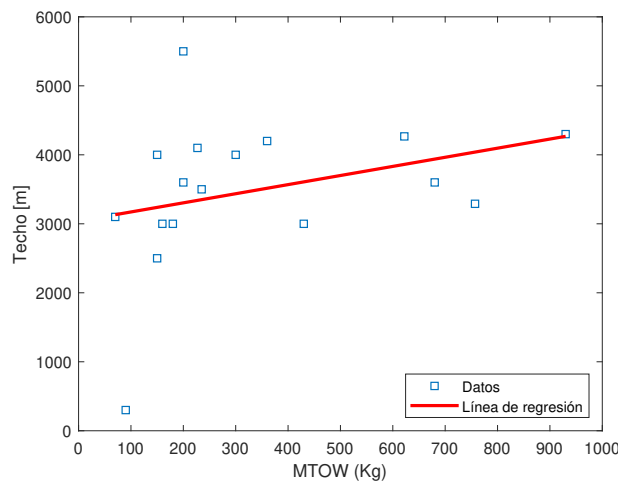


Figura 2.6: Relación entre los techos de vuelo de los helicópteros y sus MTOW junto a su línea de tendencia

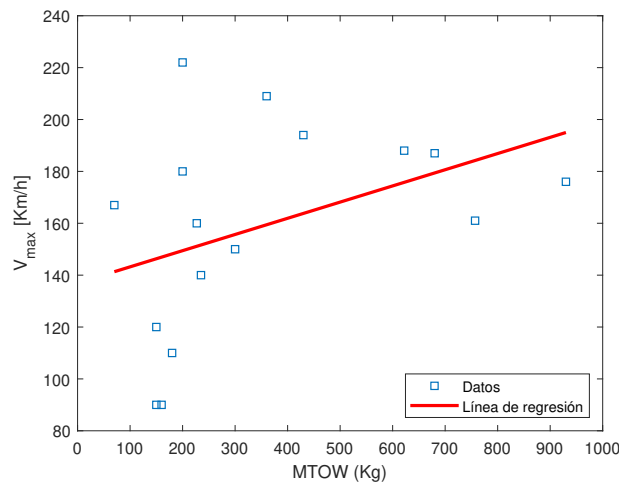


Figura 2.7: Relación entre las velocidades máximas de avance de los helicópteros y sus MTOW junto a su línea de tendencia

Como se puede observar, muchos helicópteros comparten características aunque sus pesos sean muy distintos, y algunas líneas de tendencia se alejan considerablemente de los valores promedio para la zona que corresponde a 450 kg. A la vista de la comparación realizada, se obtienen unos valores iniciales de diseño, a saber:

- Diámetro: 5,5 m
- Velocidad de giro del rotor: 120 rad/s
- Número de palas del rotor principal: 2
- Número de palas del rotor antipar: 2
- Autonomía: 3 horas
- Techo de vuelo: 3200 m
- Velocidad de avance máxima: 190 m/s

Queda patente que en algunos casos, se han aproximado los valores omitiendo las líneas de tendencia, usando en su lugar los valores de los helicópteros cuyos MTOW son más próximos al de la aeronave a diseñar.

Bibliografía

- [1] AUVSI. The economic impact of unmanned aircraft systems integration in the united states. <https://www.auvsi.org/our-impact/economic-report>.
- [2] United States Special Operations Command. Exhibit r-2, rdt&e budget item justification. https://apps.dtic.mil/descriptivesum/Y2012/Other/stamped/0305219BB_7_PB_2012.pdf.
- [3] Divya Joshi. Exploring the latest drone technology for commercial, industrial and military drone uses. <https://www.businessinsider.com/drone-technology-uses-2017-7?IR=T>.
- [4] Shea O'Donnell. A short history of unmanned aerial vehicles. <https://consortiq.com/media-centre/blog/short-history-unmanned-aerial-vehicles-uavs>.
- [5] United States Department of the Air Force. Department of the air force fiscal year 2011 budget estimates. <http://www.saffm.hq.af.mil/shared/media/document/AFD-100128-072.pdf>.
- [6] Goldman Sachs. Drones, reporting for work. <https://www.goldmansachs.com/insights/technology-driving-innovation/drones/>.