

# SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA ESTRUCTURA DE UNA AERONAVE DE ALA ROTATORIA NO TRIPULADA <sup>1</sup>

## MATERIAL SELECTION FOR AN UNMANNED ROTARY WING AERIAL VEHICLE AIRFRAME <sup>2</sup>

rev.ciencia.poder.aéreo. 8: 42 - 46, 2013

### Autores

Andrea Osorio Pemberthy<sup>3</sup>

Andrés Tamayo Toro<sup>4</sup>

Juan Pablo Alvarado Perilla<sup>5</sup>

German Alberto Barragán De Los Ríos<sup>6</sup>

German Urrea Quiroga<sup>7</sup>

Recibido: 27/06/2013

Aprobado evaluador interno: 4/07/2013

Aprobado evaluador externo: 9/08/2013

### Resumen

Este artículo, presenta el proceso de análisis y selección de materiales para la fabricación de la estructura principal de una aeronave no tripulada de ala rotatoria. La selección de materiales fue realizada utilizando algunas de las metodologías de selección típicas presentadas en la literatura tales como la matriz morfológica e incluyendo restricciones asociadas al uso aeronáutico de los materiales y su facilidad de obtención local.

**Palabras clave:** Materiales metálicos, selección de materiales, Vehículo Aéreo no Tripulado.

### Abstract

This article discusses the selection and analysis of materials for the manufacturing processes of the main structure for a rotary wing Unmanned Aerial Vehicle (UAV). The selection of materials was carried out through the use of several of the typical selection methodologies presented in the literature, such as the morphological matrix. Restrictions associated with aeronautical use and local availability of materials were taken into consideration.

**Key Words:** Metallic Materials, Selection of Materials, Unmanned Aerial Vehicle (UAV).

<sup>1</sup>Artículo de desarrollo tecnológico, producto de avance del proyecto: diseño de una aeronave de ala rotatoria como plataforma industrial, del Grupo de investigación en Ingeniería Aeroespacial (GIIA), Facultad de Ingeniería Aeronáutica de la Universidad Pontificia Bolivariana.

<sup>2</sup>Technical development article, obtained through in-progress project: the design of a rotary wing aerial vehicle as industrial platform, by the Aeronautic Engineering Research Team, Department of Aeronautical Engineering of the Universidad Pontificia Bolivariana.

<sup>3</sup>Ingeniera Aeronáutica, Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: andre\_pemberthy@hotmail.com Aeronautical Engineer, Universidad Pontificia Bolivariana. E-mail: andre\_pemberthy@hotmail.com

<sup>4</sup>Ingeniero Aeronáutico, Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: chulipe@hotmail.com Aeronautical Engineer, Universidad Pontificia Bolivariana. E-mail: chulipe@hotmail.com

<sup>5</sup>Ingeniero Aeronáutico, Profesor Asociado de la Facultad de Ingeniería Aeronáutica, Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: juan.alvarado@upb.edu.co Aeronautical Engineer, Associate Professor of Aeronautical Engineering, Universidad Pontificia Bolivariana. E-mail: juan.alvarado@upb.edu.co

<sup>6</sup>Ingeniero Aeronáutico, Magister en Transporte Aéreo y Aeropuertos, Profesor Asistente Facultad de Ingeniería Aeronáutica, Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: german.barragan@upb.edu.co Aeronautical Engineer, Master's in Air and Airport Transport, Assistant Professor, Department of Aeronautical Engineering, Universidad Pontificia Bolivariana. E-mail: german.barragan@upb.edu.co

<sup>7</sup>Ingeniero Aeronáutico, Profesor Asistente Facultad de Ingeniería Aeronáutica, Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: german.urrea@upb.edu.co Aeronautical Engineer, Assistant Professor, Aeronautical Engineering, Universidad Pontificia Bolivariana. E-mail: german.urrea@upb.edu.co

## 1. Introducción

Las Aeronaves No Tripuladas (sigla en inglés UAV) son un nuevo e importante elemento del sistema aeronáutico mundial, estos sistemas se basan en novedades tecnológicas aeroespaciales de última generación, que ofrecen avances que pueden abrir nuevas y mejores aplicaciones comerciales o civiles así como mejoras de la seguridad operacional y eficiencia de toda la aviación civil. (OACI, 2011)

El uso de dichos sistemas se ha incrementado, sustancialmente en los últimos años, siendo uno de los principales ejes de investigación y desarrollo en el campo aeroespacial, alcanzando logros tan importantes como el desarrollo de sistemas completamente autónomos.

Dentro de la gran variedad de diseños que pueden tomar estos sistemas se encuentran las aeronaves de ala rotatoria, que a pesar de ser menos populares, pueden realizar tareas de manera más eficiente o en algunos casos únicas frente a las aeronaves de ala fija. Apoyados en este principio el Grupo de Investigación de Ingeniería Aeroespacial de la Universidad Pontificia Bolivariana (GIIA) decide trabajar en un proyecto basado en el diseño de una aeronave no tripulada de ala rotatoria como plataforma industrial para incursionar en el medio.

El presente artículo busca identificar el proceso de selección de los materiales a ser utilizados en la estructura de las aeronaves de ala rotatoria, basado en análisis estructurales de la plataforma.

## 2. Método

Tradicionalmente los materiales base de la aeronáutica han sido los materiales metálicos, los cuales a través de los años y después de diversos estudios han adquirido mejoras significativas en su rendimiento ampliando su rango de aplicación (Burg et al, 2001). A pesar de que los materiales metálicos han sido desplazados en alguna medida en la industria aeroespacial debido a la creciente utilización de materiales compuestos, para el desarrollo del presente trabajo se decidió trabajar con aluminios y aceros, ya que son considerados materiales que tienen las propiedades necesarias para la misión a desarrollar, además de su fácil acceso al país y su bajo costo.

## 3. Generalidades del UAV

El GIIA, desarrolló un proyecto basado en el diseño de una aeronave no tripulada de ala rotatoria como plataforma industrial, proceso que contiene diferentes etapas, partiendo desde el diseño conceptual hasta la construcción, prueba y análisis, que garanticen un excelente desempeño del UAV.

Para realizar los diferentes estudios e investigaciones correspondientes al diseño, es necesario partir de una serie de requerimientos y especificaciones los cuales se encuentran detallados en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones del UAV.

Diámetro del rotor	1.84 metros
Peso vacío	10 kg
Máximo peso de despegue	22 kg
Máxima velocidad	90 km/h
Velocidad crucero	72 km/h
Autonomía	1 hora
Techo de servicio	3600 msnm

Fuente: Alvarado, J. (2010). *Diseño de una aeronave de ala rotatoria como plataforma industrial*. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, GIIA (Grupo de Investigación Aeroespacial).

El objetivo principal del UAV es hacer vigilancia, fotografía aérea y reconocimiento aéreo, de acuerdo con las restricciones de operación más relevantes como su autonomía, la cual es de aproximadamente una (1) hora, a una altura máxima de 3600 msnm (Alvarado, 2010), adicionalmente requiere una estructura capaz de soportar el peso de una cámara en la parte frontal. En la Figura 1 es posible observar una imagen en CAD del prototipo del UAV.



Figura 1. Prototipo del UAV. Fuente: elaboración de los autores.

## 4. Selección de materiales

La gran mayoría de avances tecnológicos logrados en la sociedad moderna se han apoyado en el descubrimiento y desarrollo de materiales de ingeniería y procesos de fabricación usados en su obtención. Una adecuada selección de materiales y procesos, garantiza a los diseñadores de partes mecánicas el correcto funcionamiento de los componentes diseñados (González et al, 2004).

Cabe mencionar, que para la utilización de cualquiera de los métodos de selección de materiales que existen, el



ingeniero o diseñador encargado del desarrollo del producto, durante la etapa conceptual del diseño identificará una categoría o categorías muy amplias como posibles materiales a utilizar (Mangonon, 2001).

En el sector aeronáutico se implementan y utilizan una amplia gama de materiales, que deben cumplir con algunos requisitos de uso y confiabilidad, considerando estos parámetros como unos de los principales criterios de selección. Los materiales que cumplen con los requisitos de la industria aeronáutica conforman un grupo muy amplio. Sin embargo para el desarrollo del presente trabajo, solo se consideraran las aleaciones de aluminio y acero debido a su facilidad de maquinado y obtención en el país.

En general en el sector aeronáutico, las aleaciones de aluminio son muy utilizadas en la construcción de aeronaves, principalmente en las estructuras primarias como las vigas y secundarias tales como las pieles, además se pueden encontrar en las plantas motrices y sistemas auxiliares, entre otros.

El helicóptero tendrá piezas que serán fundamentales para soportar cargas específicas, tales como el *tailboom*, el fuselaje y la placa de soporte del motor, las cuales estarán sometidas a esfuerzos provenientes de la operación del helicóptero tales como: los torques ejercidos por el rotor de cola y el rotor principal. Por esta razón hay que tener en cuenta que los materiales que son adecuados para ciertas piezas, para otras pueden no serlo por no cumplir con ciertas propiedades, o por estar sobre calificados. Esta compleja selección nos lleva a tener en cuenta otras consideraciones externas a las propiedades de los materiales, como pueden ser la corrosión de los metales y las condiciones a las que estará expuesta, el costo adquisitivo y de manufactura, además de la accesibilidad en la región.

Para identificar las diferentes fuerzas y condiciones bajo las cuales van a operar las piezas del UAV, y además facilitar la selección de materiales, se dividió la estructura del helicóptero en 3 secciones, porque aunque presentan cargas similares, no todas tienen el mismo efecto en los diferentes elementos estructurales. Estas divisiones se pueden observar en la Figura 2.



**Figura 2.** División de la estructura del UAV. Fuente: elaboración de los autores

Teniendo en cuenta las consideraciones que por diseño se tienen del UAV, los requerimientos y propiedades que deben cumplir los materiales para el análisis de la matriz de selección se utilizó el método tradicional de selección de materiales, método que consiste en: la escogencia del material que se considera más adecuado, con base en la experiencia de partes que tiene un funcionamiento similar y que han mostrado buenos resultados. Este método es también conocido como materiales de ingeniería de partes similares (Kern, 1979). Adicionalmente se utilizó como herramienta de soporte la *Plataforma Computacional de Apoyo y Consulta para la Selección de Materiales en Procesos de Manufactura Aeronáuticos* (Mejía et al, 2009).

Las aleaciones seleccionadas y una pequeña descripción de las mismas construida a partir del ASM Virtual Handbook Vol. 2 serán presentadas a continuación.

- Aluminio 7075 - T6: es un material muy utilizado en la industria aeronáutica, lo que facilita su accesibilidad. Este aluminio tiene la ventaja de que su aleación y su tratamiento térmico incrementan la resistencia a la fatiga.
- Aluminio 2024 - T3: al igual que el anterior, por su bajo peso este es un aluminio altamente utilizado en la aviación, pero a diferencia de otras aleaciones, esta no es muy resistente a esfuerzos cortantes, lo cual es una desventaja considerable, sin embargo, será incluido en los estudios de las secciones debido a su resistencia para las cargas de tensión.
- Aluminio 7050 - T7651: esta aleación, debido a su tratamiento térmico, tiene unas ventajas mecánicas significativas respecto a las dos anteriores. También es un material que se comporta muy bien en cargas alternadas, factor fundamental a la hora de seleccionar el material para este proyecto, debido a las vibraciones del helicóptero en operación.
- Aluminio 2048- T851: este material se usa para fabricar placas o láminas estructurales de aeronaves y aunque tiene características muy parecidas al aluminio 7075, su resistencia a la fatiga es mucho mayor.
- Acero 1020: este acero es muy usado para aplicaciones donde los esfuerzos no sean muy grandes, debido a su gran cantidad de carbono, lo cual lo convierte en un material frágil, sin embargo para aviación ligera donde los esfuerzos no son muy altos, este material es recomendable por su fácil adquisición y buenas propiedades mecánicas.
- Acero 4340: cuando se observan las características de los aceros, se encuentran unas densidades muy altas como para considerarlos en el análisis de este proyecto. Sin embargo es su capacidad de soportar cargas estructurales la razón por la cual resulta una buena opción, especialmente porque tiene un alto valor de esfuerzo cortante.



- Acero 4130: comparando este material con el Acero 4340, este tiene unas propiedades mecánicas más bajas, lo que lo hace más vulnerable a la hora del análisis. Sin embargo es uno de los materiales más usados en la aviación ligera, lo que permite pensar que podría soportar las cargas generadas por el helicóptero. Además, el 4130 es un material de una demanda considerable en el país, lo que es una ventaja importante para el proyecto.

## 5. Matriz de selección

Las 3 secciones en las que se dividió la estructura del UAV, serán consideradas para la matriz de selección de todos los materiales mencionados, lo que variará en la matriz es el valor del porcentaje que se le dará a cada sección, ya que no todas las propiedades mecánicas tiene la misma importancia y esto se debe a que las cargas y esfuerzos afectan de una manera diferente cada sección. En la siguiente tabla se observan las propiedades que se tuvieron en cuenta a la hora de realizar la matriz y la importancia de cada una.

Tabla 2. Propiedades a evaluar en la matriz

PROPIEDAD	VALOR PORCENTUAL		
	Sección de cola	Sección de fuselaje	Sección de los skids
Densidad [gr/cm <sup>3</sup> ]	35	30	25
Modulo elástico [GPa]	16	20	23
Esfuerzo ultimo [MPa]	12	12	11
Esfuerzo de cedencia [MPa]	15	18	17
Esfuerzo cortante [MPa]	22	20	24

Fuente: elaboración de los autores.

Después de ingresar los materiales y seleccionar las propiedades con su respectivo valor en la matriz de selección se obtuvieron los siguientes resultados en cada sección del UAV:

**Sección de cola:** los resultados que arrojó la matriz con las propiedades y porcentajes ya especificados, muestran al aluminio 7075-T6 como el material adecuado para fabricar esta estructura y como segunda opción el 7050-T7651.

**Sección del fuselaje:** para esta sección, se obtuvo como resultado dos materiales del grupo de aluminios, el aluminio 7075-T6 y el 7050-T7651. En esta sección se utilizará el 7075-T6, sin embargo habrá una pieza en especial, que por las condiciones en las que operará, se analizará en la aleación 7050-T7651 porque brinda mayor resistencia a la fatiga.

**Sección de los skids:** la primera opción obtenida fue el acero AISI 4340 y como segunda opción el aluminio 7075-T6. Cualquiera de estos dos materiales puede ser utilizado en esta sección, ya que cumplen con las propiedades

mecánicas necesarias, sin embargo esta pieza estará expuesta a aterrizajes forzosos en donde se incrementan considerablemente las cargas generando grandes deformaciones, por lo tanto se seleccionó el aluminio por ser un material más dúctil y no tan rígido como el acero previniendo cizallas en esta pieza, además de su bajo peso.

## 6. Conclusiones

Para hacer posible la selección de los materiales, fue necesario realizar un barrido completo por todos los materiales utilizados en la aviación. Algunos de estos materiales ofrecían unas ventajas inmensas para la fabricación de la estructura del helicóptero, sin embargo, su demanda en la región es reducida, lo que resulta en un aumento considerable de los costos de adquisición y de manufactura. Por tales motivos, ciertos materiales como el titanio y los materiales compuestos no fueron incluidos dentro de la preselección, mientras los aluminios y aceros resultaron ser posibilidades atractivas para el estudio, gracias a que proporcionan unas características mecánicas lo suficientemente buenas como para soportar cargas estructurales del UAV.

Posterior al estudio realizado de los materiales más usados en la aviación, se seleccionaron materiales como el aluminio 2024-T3, el 7075-T6 y aceros como el AISI 4340 y AISI 4130. Además, se incluyeron otros que no son tan comunes pero que sin embargo cumplen con las necesidades del proyecto, como el acero AISI 1020 y el aluminio 7050-T7651.

La selección de materiales se realizó utilizando una matriz morfológica. Debido a las diferentes cargas que se presentan en la estructura del UAV, se decidió seccionarla con el fin de obtener resultados más cercanos a la realidad. Para el análisis de cada división se tuvieron en cuenta las mismas propiedades mecánicas y se variaron los porcentajes de estas dependiendo de las condiciones de operación. En los resultados obtenidos se encontraron materiales como el Al 7075 -T6 y 7050 - T7651 en las secciones de los Skids, de cola y de fuselaje.

Para algunas piezas es recomendable usar un nuevo tipo de material, debido a que porcentualmente el incremento del peso respecto a la resistencia mecánica, es uno a uno. Con los nuevos materiales se pueden encontrar, que en algunas piezas, como el tailboom, aumentará su peso en un 10%, equivalente a 0,001 kilo, pero ese mismo crecimiento será reflejado en las propiedades mecánicas, como el límite elástico, el cual puede aumentar aproximadamente en 1MPa. En el *engine plate* se generan cargas alternantes debido a que en ella se encuentra ubicado el motor y soporta los torques generados en las demás piezas, por lo tanto el material indicado es el 7050 - T7651; aunque algunas propiedades son menores a las del material original, su alta resistencia a la fatiga es mucho mayor, lo que hará esta pieza más resistente a las cargas generadas durante la operación del UAV.



## Referencias

- Alvarado, J. (2010). *Diseño de una aeronave de ala rotatoria como plataforma industrial*. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, GIIA (Grupo de Investigación Aeroespacial).
- Kern Roy, F. (1979). *Steel Selection: A Guide for Improving Performance and Profits*. New York: Ed. John Wiley & Sons.
- Mangonon Pat. L. (2001). *Ciencia de Materiales: Selección y Diseño*. México: Ed Prentice Hall.
- Mejía, J. S.; Tabares, A. F. (2009). *AS Materials*. Plataforma computacional de apoyo y consulta para la selección de materiales en procesos de manufactura aeronáuticos. Trabajo de Grado (Software). Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Nunez, R., et al. (1997). Properties and selection: Nonferrous alloys and special purpose materials. *ASM Virtual Handbook*. Vol. 2. United States of America: ASM International. (Section Introduction to Aluminum and Aluminum Alloys).
- Sierra, J. (2009). *Materiales Aeroespaciales: Aleaciones de Aluminio*. Andrea Osorio Pemberthy y Andrés Felipe Tamayo. (Notas de clase). Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.

