

## DISEÑO PRELIMINAR DEL CUBO DE HÉLICE DE UN UAV

Andrés Martínez del Pezzo, Pablo Ringegni.

UIDET – GEMA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería de La Plata

Calle 48 y 116 La Plata. CP 1900. Contacto: [amartinez.delpezzo@ing.unlp.edu.ar](mailto:amartinez.delpezzo@ing.unlp.edu.ar)

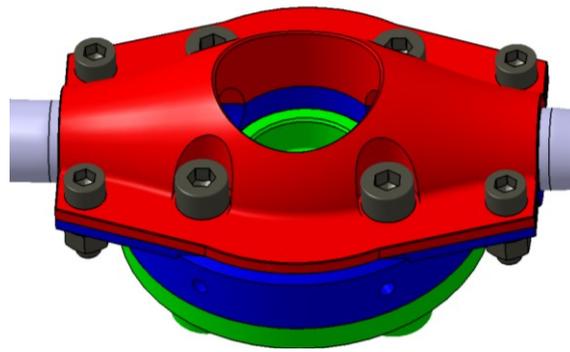
### Introducción

El cubo de la hélice es la pieza que sujeta las palas de cualquier hélice utilizada en aeronáutica, y que sirve de vínculo entre estas últimas y el eje del motor, el cual suministra el torque y la velocidad de rotación apropiados. Genéricamente se pueden diferenciar dos tipos de cubos, aquellos que sujetan cada pala sin dejarles ningún grado de libertad y aquellos que les permiten a cada una girar sobre su eje longitudinal en la misma proporción. El primer tipo de cubo se denomina de paso fijo y el segundo de paso variable. Un tema aparte corresponde a la ley de movimiento de las palas. El diseño que se desarrolló en este trabajo corresponde al tipo paso fijo durante el vuelo, pero con la posibilidad de ajustar el paso en tierra, previo a cada vuelo. Esta configuración resulta más sencilla que la de paso variable en vuelo, pero sin perder la capacidad de poner a punto las palas de la hélice durante la fase de puesta a punto de la aeronave y cada vez que las condiciones de vuelo lo requieran.

### Desarrollo

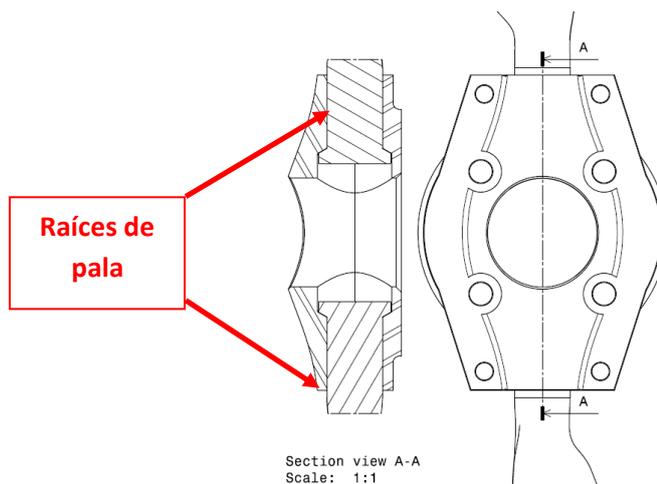
Como parte de este trabajo se realizó el diseño preliminar del cubo, partiendo de las siguientes premisas: potencia a soportar 25 HP, cantidad de palas 2 y sistema de paso variable en tierra. En base a estas premisas se realizó el diseño que fue verificado mediante un software de elementos finitos para constatar si soportaba los esfuerzos generados por las palas en los diferentes regímenes de funcionamiento.

El diseño propuesto consta de dos mitades (bridas) que sujetan las dos palas (Figura 1). Ambas mitades se unen con cuatro tornillos chicos y todo el conjunto armado se sujeta a la brida del motor mediante otros cuatro tornillos grandes, los cuales se hacen coincidir con los orificios que posea la brida del motor.



**Figura 1. Cubo de la hélice**

La brida fue diseñada para que tome la fuerza centrífuga de cada pala a través del cambio de sección que posee la raíz de pala, el cual hace tope contra un cambio de sección que posee la brida (ver Figura 2). En cuanto a los momentos que las fuerzas aerodinámicas generan sobre la pala, los dos de flexión se toman en la longitud de la brida donde sujeta la raíz de la pala. Por último, el de torsión se toma por presión de sunchado entre ambas mitades de la brida con la raíz de la pala. Esta presión es generada por el torque de los tornillos que unen las dos bridas, que debido a la pequeña magnitud del momento torsor resulta que el torque necesario en los tornillos es muy pequeño.



**Figura 2. Detalle de la forma que las bridas toman las palas**

### Estado de cargas y condiciones de borde

Los estados de carga que experimenta la pala surgen del estudio aerodinámico de la misma y de las fuerzas de inercia debido a su rotación. Tanto las cargas aerodinámicas como las fuerzas inerciales presentan la misma dependencia cuadrática con la velocidad de rotación de la hélice, por lo que los casos críticos para cada condición de vuelo se presentarán para la mayor velocidad de rotación considerada. Se considera la descomposición de las fuerzas aerodinámicas en la dirección normal al plano de la hélice y en la dirección tangencial al mismo, aplicadas en el cuarto de cuerda de la pala en cada estación (Figura 3). Los signos positivos corresponden para la fuerza

normal en la dirección de vuelo y la fuerza tangencial opuesta al sentido de avance de la pala en rotación.

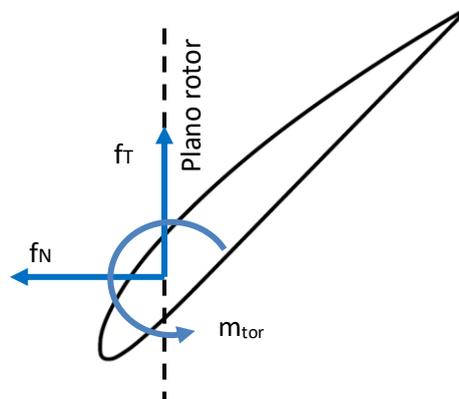


Figura 3 – Esquema de las cargas aerodinámicas sobre un perfil de la pala

Las cargas para el análisis del cubo se obtienen del diseño de la pala, se tiene una componente de flexión debida a la carga en el plano de rotación y otra debida a la carga perpendicular al plano de rotación. También se considera una carga axial para la pala que es originada por la fuerza centrífuga producto de la rotación de la hélice. El momento de torsión sobre la raíz de la pala debido al corrimiento del centro de presiones respecto al cuarto de cuerda se considera despreciable.

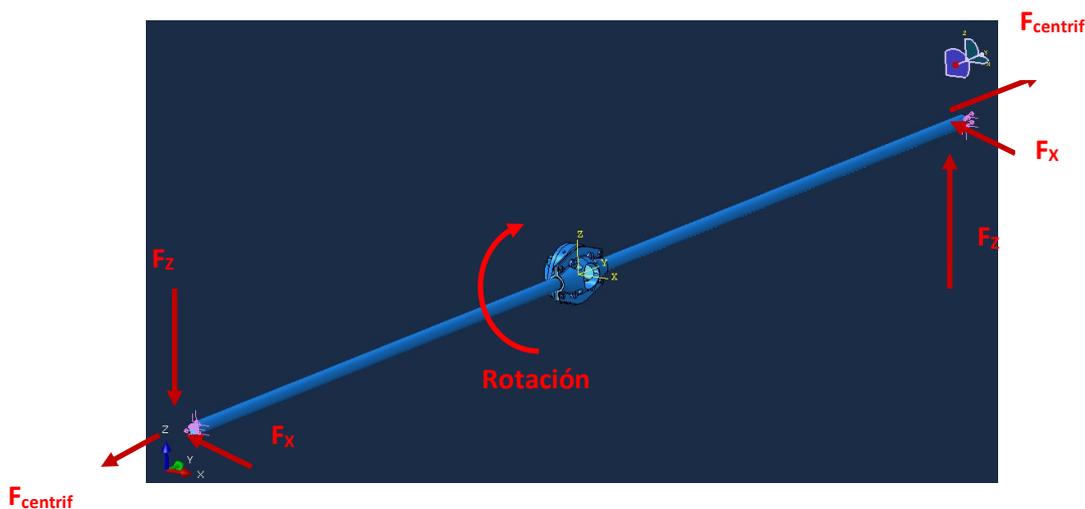
La carga producto de la fuerza centrífuga se calcula en base a la velocidad de rotación de régimen y a la masa estimada de la pala obtenida como resultado del diseño previamente expuesto.

Los momentos de flexión debidos a la distribución de presiones sobre la pala están expresados respecto al eje de rotación de la hélice, y respecto a los ejes X y Z según se aprecia en la Figura 4. La componente de los momentos en el eje X se puede asociar a la resistencia aerodinámica del perfil y la correspondiente al eje Z a la sustentación (si bien estas componentes pueden variar según el ángulo de paso de las palas).

En la Tabla 1 se muestra el valor comparativo de los esfuerzos que se generan en la pala y deben ser recibidos por el cubo.

Esfuerzo	Valor comparativo
Fuerza centrífuga (en Y)	Alta
Flexión debida a la fuerza en el plano de rotación FZ (Momento en X)	Bajo
Fuerza en el plano de rotación F <sub>Z</sub>	Medio
Flexión debida a la fuerza perpendicular al plano de rotación FX (Momento en Z)	Medio
Fuerza perpendicular al plano de rotación F <sub>X</sub>	Baja
Momento que genera torsión sobre la pala (en Y)	Mínimo

**Tabla 1 – Cargas a aplicar.**

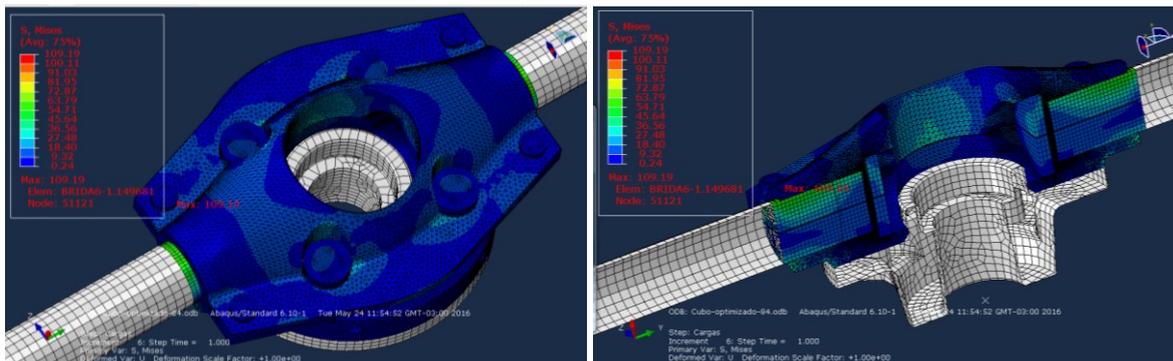


**Figura 4. Cargas a considerar para el diseño**

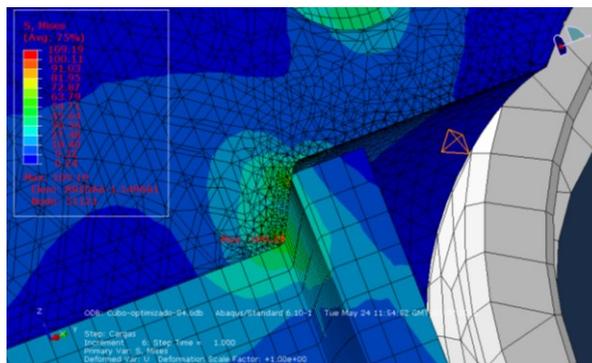
En cuanto a las condiciones de borde, estas fueron definidas en base a fijar la brida del motor respecto al sistema de coordenadas.

## Resultados

Como resultado del cálculo de elementos finitos se obtuvo el campo de tensiones que se aprecia en las Figura 5, 6 y 7, donde luego de una análisis general del cubo se puede observar que la escala de tensiones no supera la tensión admisible del aluminio considerando el factor de seguridad. A continuación se analizarán los puntos donde se alcanzan dichos valores de tensiones.



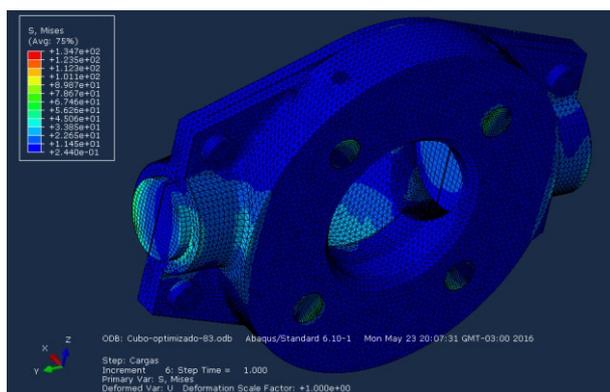
**Figura 5. Campo de tensiones del cubo completo**



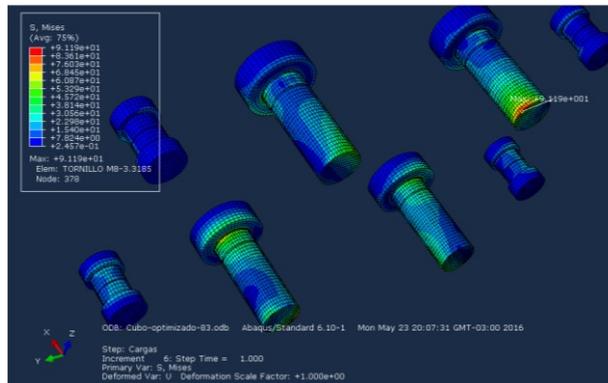
**Figura 6. Detalle del punto más solicitado sobre las bridas**

En la Figura 6. Detalle del punto más solicitado sobre las bridas se observa la tensión máxima obtenida en el modelo, ubicada en la brida del lado del motor, puntualmente en la zona del cambio de sección de la cama donde se sujeta la raíz de la pala.

En la Figura 7 se aprecia la distribución de tensiones del cubo vista desde el motor. En la Figura 8 se observa solamente la distribución de tensiones sobre los tornillos, donde la tensión máxima no supera la máxima de la pieza.



**Figura 7. Vista del cubo desde el motor**



**Figura 8. Tensiones sobre los tornillos**

### Conclusiones

- El diseño obtenido consistió en dos bridas de aluminio, que se unen con cuatro tornillos y se fijan a la brida original del motor mediante otro juego de cuatro tornillos. De esta manera se puede cambiar el paso de cada pala de la hélice por separado, manualmente en tierra.
- En lo que respecta al análisis tensional, el cubo de aluminio posee tensiones por debajo de la tensión admisible.
- En cuanto a los tornillos se obtuvo un margen de seguridad aceptable.
- El cubo de la hélice resultó lo suficientemente rígido para no presentar deformaciones que afecten la performance de las palas.