

LOS FUNDAMENTOS DE F5J K4 y K6.
LOS RENDIMIENTOS DEL TREN DE POTENCIA (y2)
La Hélice y El rendimiento de la Propulsión

Javier Hernandez Rodero. Aeromodelista que construye sus modelos.
Club Petirrojo, Valdemorillo, Madrid.

Capítulo 3 . La Hélice y El Rendimiento propulsivo.

TERCERA CONVERSIÓN DE ENERGÍA: LA HÉLICE

La Hélice convierte la rotación del motor en empuje útil para la propulsión del modelo. Se basa en la sustentación que generan sus palas, que tienen sección de perfil de ala. Como su movimiento es de rotación alrededor del eje, la sección de la pala tiene que cambiar mucho a lo largo de su envergadura dado que la velocidad de las secciones cambia desde cero en el eje a un máximo en la punta de pala.



Esta es una hélice Hartzel fabricada en madera de Nogal en 1917 para el motor Liberty de la Packard Motor Car Company de unos 270 CV de potencia.

Ahora podríamos hablar de Leonardo daVinci y esas cosas, pero intentemos ir a lo práctico.

Rendimiento propulsivo:

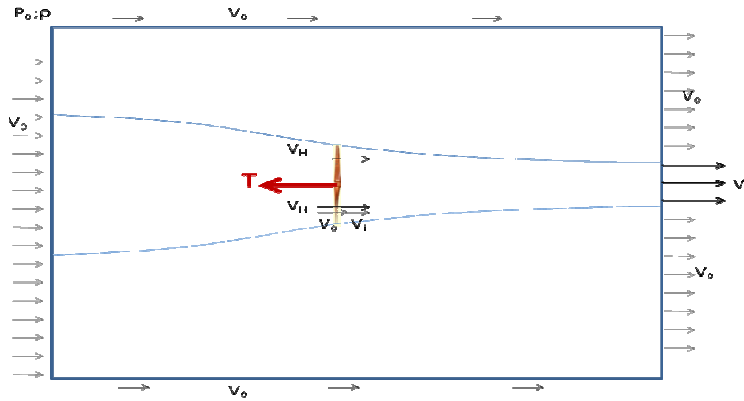
Hay que hacer algunas definiciones y simplificaciones para entender el concepto de rendimiento propulsivo.

Definimos rendimiento propulsivo como el cociente entre la potencia que se desarrolla en el movimiento de un móvil y la potencia consumida para obtener ese movimiento.

Veamos:

En la figura de más abajo hay dibujado un “volumen de control” alrededor de una hélice en funcionamiento que se está desplazando a una velocidad V_0 .

Capítulo 3. La Hélice y el Rendimiento Propulsivo



Simplificaciones:

No existen efectos de viscosidad en el aire.

El movimiento del aire es (esencialmente) en la dirección horizontal del dibujo (movimiento unidimensional).

Por tanto no existen efectos de disipación de energía dentro de las líneas de corriente, no hay mezcla y no se desperdicia energía cinética en arrollamientos de la estela de la hélice (efecto llamado en inglés swirl).....

La densidad y temperatura del aire permanecen constantes en todo el campo fluido. La presión del aire es constante suficientemente lejos de los efectos de la hélice.

Definiciones.

V_0 Velocidad de vuelo de la hélice es la velocidad que se ve uniforme suficientemente lejos aguas arriba de la hélice.

V_H Velocidad de paso del aire a través del disco de la hélice.

V_s Velocidad del aire impulsado por la hélice suficientemente lejos aguas abajo para asegurarse que el chorro es absolutamente horizontal.

V_i Velocidad inducida por la hélice tal que:

[13]

$$V_H = V_0 + V_i$$

D Diámetro de la hélice

A_d Area del disco ($=\pi D^2/4$)

T Empuje de la hélice

P Densidad del aire

Calculemos ahora el rendimiento propulsivo.

Potencia desarrollada en el movimiento, la que se usa para volar el modelo:

$$P_{\text{util}} = T \cdot V_0$$

Potencia consumida

$$P_{\text{consumida}} = T \cdot V_H$$

Podemos decir entonces que el rendimiento propulsivo es:

[14]

Capítulo 3. La Hélice y el Rendimiento Propulsivo

$$\eta_{\text{Propulsivo}} = P_{\text{util}} / P_{\text{consumida}} = (T \cdot V_0) / (T \cdot V_H) = V_0 / V_H$$

Bien, no sabemos mucho todavía pero podemos empezar a sacar alguna conclusión

El rendimiento propulsivo es cero si la velocidad de vuelo es cero.

A punto fijo aún con el motor a plena potencia, no estamos aprovechando nada de esa potencia para el vuelo (bastante evidente) aunque tengamos un consumo apreciable.

Otra conclusión bastante inmediata es que el rendimiento propulsivo se hace 1 si $V_H = V_0$ esto es bastante interesante, pues nos conviene aprovechar el máximo de la potencia consumida. Veamos más adelante.

Calculemos el empuje T que genera la hélice.

Primero hemos de calcular el caudal de masa que atraviesa el disco de la hélice.

[15]

$$\dot{m} = \rho \cdot V_H \cdot A_d$$

Este es el mismo caudal que, sin mezclarse, entra y sale del volumen de control, así que podemos aplicar la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento (que es una manera fina de decir la ley de acción y reacción, o segunda ley de Newton) al volumen de control.

Como estamos suponiendo que la presión es constante en todo el perímetro del volumen de control, igualaremos el empuje al incremento de cantidad de movimiento del chorro de aire:

[16]

$$T = \dot{m} \cdot V_s - \dot{m} \cdot V_0 = \dot{m} \cdot (V_s - V_0)$$

Dado que en el resto del perímetro del volumen de control todos los demás términos se anulan.

Bien, para que haya empuje V_s tiene que ser mayor que V_0 o sea que para que la hélice empuje hacia adelante hay que impulsar (aumentar su velocidad) hacia atrás un cierto caudal de aire.

Todavía no sabemos V_H que nos parecía muy interesante hace unos pocos párrafos.

Para calcularla ahora utilizaremos la ley de conservación de la energía o sea que igualaremos la potencia que entra en el sistema, a través de la hélice, con la que sale de éste. La energía que sale del sistema es la diferencia entre la energía cinética que sale menos la energía cinética que entra.

[17]

$$T \cdot V_H = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot V_s^2 - \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot V_0^2 = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot (V_s^2 - V_0^2)$$

Si sustituimos el valor del empuje de [16] en [17] y desarrollando la diferencia de cuadrados en el segundo término

[18]

$$T \cdot V_H = (\dot{m} \cdot (V_s - V_0)) \cdot V_H = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot (V_s^2 - V_0^2) = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot (V_s - V_0) \cdot (V_s + V_0)$$

Queda:

[19]

$$V_H = \frac{1}{2} \cdot (V_s + V_0)$$

De [13] $V_H = V_0 + V_i$ y de [19] tenemos

[20]

$$V_s = V_0 + 2 \cdot V_i$$

O sea que la velocidad que induce la hélice en su sección se duplica en el infinito aguas abajo. Las líneas de corriente se contraen (si aumenta la velocidad debe disminuir la sección de paso para que siga pasando el mismo caudal), tal y como está dibujado en el esquema.

Y el rendimiento propulsivo:

[14]

$$\eta_{\text{Propulsivo}} = P_{\text{util}} / P_{\text{consumida}} = V_0 / V_H$$

[21]

$$\eta_{\text{prop}} = \frac{V_0}{V_H} = \frac{V_0}{V_0 + V_i} = \frac{1}{\left(1 + \frac{V_i}{V_0}\right)}$$

CONCLUSIÓN 1:

Para que el rendimiento propulsivo sea alto V_i , la velocidad inducida por la hélice, tiene que ser muy pequeña con respecto a la velocidad de vuelo V_0 .

El caso extremo será que V_i sea cero, entonces $V_H = V_0 = V_s$ el rendimiento propulsivo será 1!

Capítulo 3. La Hélice y el Rendimiento Propulsivo

Veamos que pasa con el empuje:

[16]

$$T = \dot{m}^*(V_s - V_0); V_0 = V_s \Rightarrow T = 0$$

En este caso extremo aunque el rendimiento sea muy bueno no parece que se pueda sacar mucho de provecho.

La conclusión 1 sigue siendo válida, sustituyamos el valor de \dot{m} (caudal de aire que pasa por el disco) de [15] en [16] y el valor de V_s por $V_0 + 2*V_i$.

$$T = \dot{m}^*(V_s - V_0) = (\rho * V_H * Ad)^* (V_0 + 2*V_i - V_0) = (\rho * (V_0 + V_i) * Ad) * 2*V_i$$

$$T = 2 * \rho * Ad * (V_0 + V_i) * V_i$$

Si admitimos que la velocidad de vuelo es dada y la densidad del aire también. Recordemos que Ad que es el área del disco de la hélice, entonces:

CONCLUSION 2:

“En condiciones ideales, para unas condiciones de vuelo dadas (ρ, V_0) la hélice que más área de disco (más diámetro) tiene es la que tiene una velocidad inducida más baja y por tanto mayor rendimiento propulsivo.”

Aquí no hay trampa ni cartón, no hay ni marca de hélice, ni si es importada, ni siquiera si tiene 2 ó más palas. (Otra cuestión es qué geometría de hélice es necesaria para conseguir los niveles de empuje dados en las condiciones de vuelo).

CONCLUSIÓN 3:

Aplicable al concurso F5J K4/K6 a igualdad de parámetros eléctricos, (misma eficiencia electromecánica, ver capítulo 2, y misma intensidad medida en vacío, esto es, tiempo de trepada). “El avión que tenga la hélice de mayor diámetro es el que subirá más alto”, bueno si son aviones iguales y son pilotados de la misma manera...

Bueno, sí se podría tener empuje distinto de cero con rendimiento propulsivo 1, es fácil se puede usar una hélice infinito diámetro....

Esta es una conclusión muy parecida a la configuración de un planeador: En igualdad de condiciones (Peso, velocidad, superficie alar) el velero que tiene más envergadura (a igualdad de superficie esto es alargamiento) es el que mejor coeficiente de planeo obtiene. Esto hay que escribirlo en otro artículo. Si alguien tiene alguna duda no dude en contactarme en la dirección de más abajo.

Javier Hernández Rodero. Madrid 11 Febrero 2011.

japi@clubpetirrojo.com

Prohibida la reproducción total o parcial sin consentimiento escrito del autor.