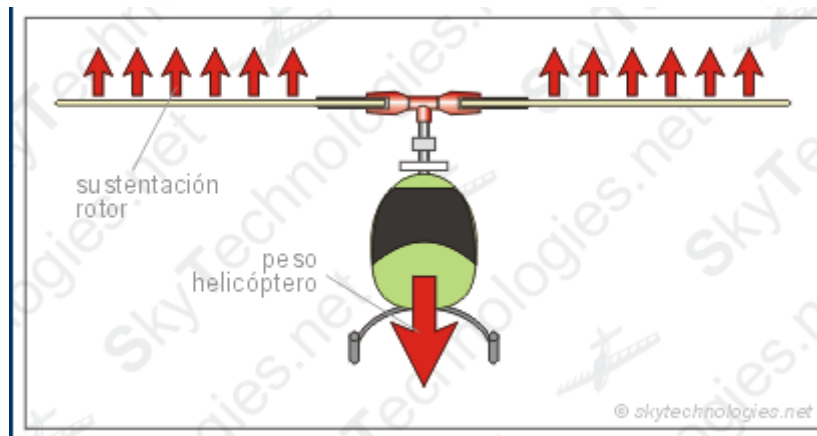


La dinámica del rotor

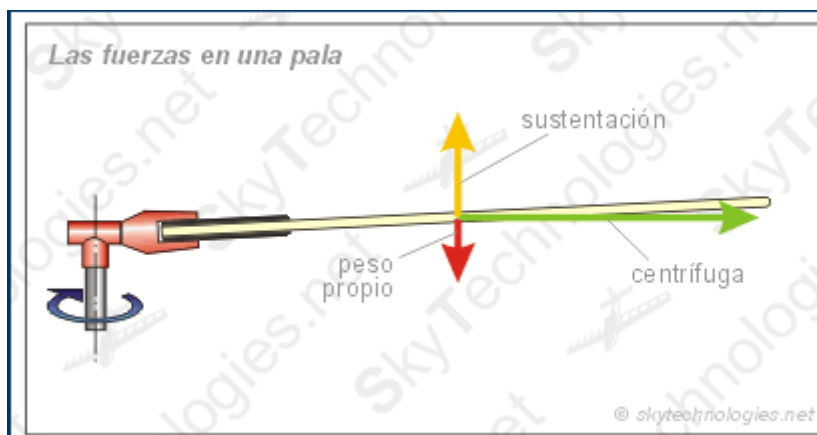
El secreto de un mando cíclico preciso y un vuelo suave está en el perfecto equilibrado del rotor. Sin embargo se conocen dos tipos de equilibrado: el estático y el dinámico. Donde está la diferencia y cuál es el idóneo en que caso?

El rotor principal es la pieza central de cada helicóptero. A fin de cuentas mantiene todo el aparato en el aire y mediante un complejo sistema de mandos permite que se pueda inclinar a todos los lados. Las palas en giro representan una considerable masa en movimiento circular que está expuesta a una serie de fuerzas. Para entender la razón de un equilibrado dinámico, primero tenemos que hacer una pequeña excursión y analizar las cargas que sufre el rotor de un helicóptero.

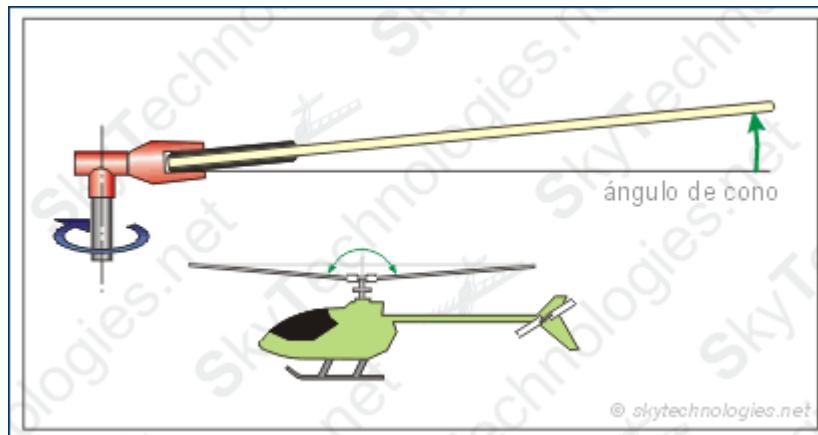
Como siempre nos miramos el tema desde el principio. El rotor situado encima del cuerpo del helicóptero genera mediante rotación la suficiente fuerza de sustentación como para vencer el peso de todo el aparato.



Si ahora sacamos una pala del sistema y analizamos qué fuerzas actúan exactamente mientras se somete a rotación, encontraremos las siguientes tres: 1. La fuerza vertical hacia abajo que genera el propio peso de la pala, 2. la fuerza opuesta hacia arriba, que es la fuerza de sustentación y deberá levantar todo el helicóptero y 3. Finalmente la fuerza centrífuga de la masa en rotación que es la pala.



Ésta última, la fuerza centrífuga, es de largo la más elevada de todas! La fuerza del propio peso es la más reducida y será completamente absorbida por la de sustentación, que aparte del peso de la pala deberá levantar todo el modelo. Es decir que en todo caso, en un helicóptero en vuelo, habrá una pareja de fuerzas que atacan la pala del rotor: Una hacia arriba que intentará levantar la pala y otra hacia afuera que intentara bajarla, o mejor dicho, alinearla a un ángulo recto con el eje de giro. Esto tiene como consecuencia, que el extremo exterior de la pala se elevará más o menos por encima del centro del rotor siguiendo así con su giro de rotación la forma de un cono con la punta hacia abajo. Por ello el ángulo que se forma se denomina ángulo de cono.



El valor de este ángulo depende del número de revoluciones por minuto que gira el rotor, del peso del modelo, del peso de las palas y del ángulo de paso de las palas. Y aunque parezca que no, SIEMPRE hay un ángulo de cono. Esto es ley física!

En la siguiente imagen se puede apreciar en un Raptor 30 en vuelo estacionario, unas 1.600 rpm en el rotor principal, un peso de aproximadamente 2.900g y de 3° a 4° de paso positivo en las palas.



El ángulo de cono disminuye con el tamaño de los modelos. Porque? Principalmente porque el número de revoluciones por minuto del rotor puede ser más elevado. Esto es debido a que el número de revoluciones está limitado por dos factores. Por un lado por la fuerza centrífuga que pueden soportar componentes como el porta palas, eje central, rodamientos, tornillos, etc., y por otro lado la velocidad de las puntas de las palas. Ambos factores incrementan con el aumento de revoluciones y tamaño. Cuanto más grande el rotor, más pesadas las palas y mayor la velocidad de la punta de las palas debido a la mayor distancia que recorre la punta en una circunferencia de mayor diámetro. En cambio, cuanto más pequeño el rotor, a más revoluciones por minuto lo podremos girar.

Esto se puede observar en las siguientes fotos: Si bien en el Dragonfly 35 el ángulo de cono casi es inapreciable (pero está ahí!)

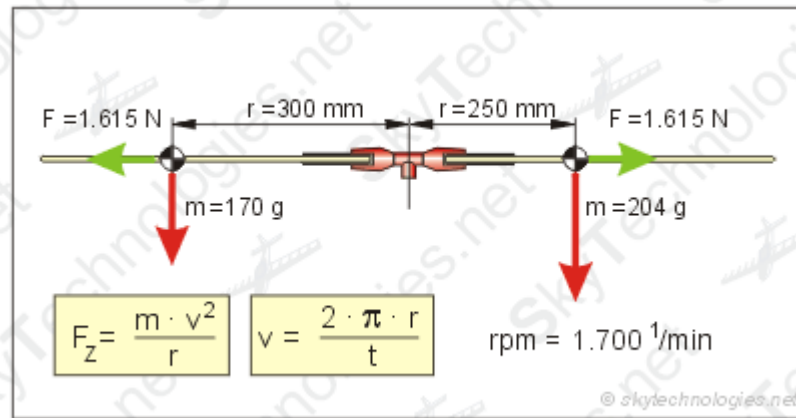


...en el helicóptero real es muy acusado:



Pero qué tiene que ver ahora toda esta explicación con el equilibrado dinámico o estático?

Para eso es necesario hacer una excursión a la física. Analicemos la situación concreta de la siguiente imagen:

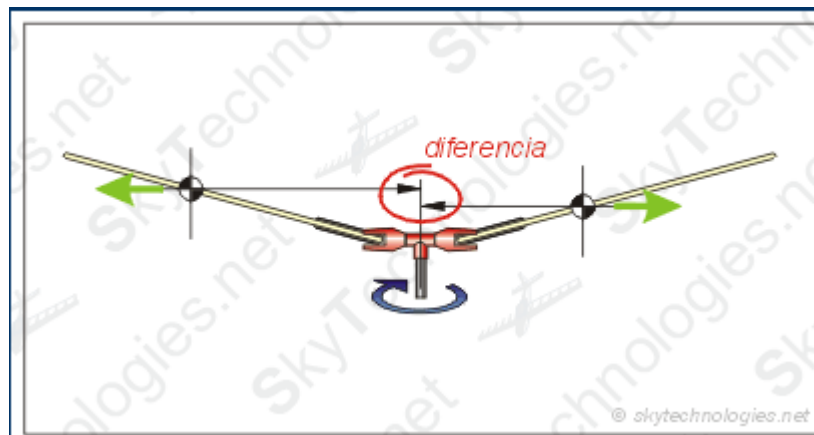


Fz: fuerza centrífuga (N)
m: masa (kg)
v: velocidad (m/s)
r: radio (m)
t: tiempo (s)

En este caso, en la pala izquierda el centro de gravedad está situado a 300mm del eje del rotor y el peso es de 170g. En la pala derecha el centro de gravedad está situado a 250mm y el peso de la pala es de 204g. Es decir, una pala pesa 170g y la otra 204g. Rápidamente tenderíamos a pensar que este rotor no puede estar equilibrado, puesto que las palas tienen una diferencia de peso de 34g. Sin embargo sí lo está! Porque las distancias de los centros de gravedad son diferentes y en este caso coinciden exactamente para que el sistema esté en equilibrio.

Esto cuenta tanto para el equilibrio estático (el rotor no gira) como el dinámico (el rotor está en giro). Aunque parezca que la fuerza centrífuga debería de ser más alta en la pala de mayor peso, ésta también tiene una dependencia de la distancia a la que se encuentra el centro de gravedad del eje y en este caso también coincide.

Pero este caso sólo es válido si las palas se encuentran exactamente en ángulo recto con el eje central. Ahora es donde entra en juego el ángulo de cono explicado arriba... Si ahora doblamos las palas hacia arriba debido a las cargas aerodinámicas, los diferentes centros de gravedad se sitúan a una altura diferente a lo largo del eje del rotor y esto es lo que finalmente causará vibraciones:



En resumen, si queremos un rotor perfectamente equilibrado, deberemos hacer coincidir tanto los pesos como los centros de gravedad de ambas palas. Por otro lado, como vimos arriba, cuanto más pequeño el helicóptero y más altas las revoluciones del rotor principal, menos ángulo de cono y menos influencia de este desequilibrio. Es más, la experiencia ha demostrado que todo rotor que gira a más de 2.000rpm la diferencia entre un equilibrado dinámico y un estático ya no es perceptible...

Esperamos que esta explicación explicada por **Skytechnologies** se de gran ayuda para todas las personas que se inician en este mundillo de volar helicópteros o querer fabricar alguno.

Página de enlace: <http://www.skytechnologies.net/home.html>

