

Autogiros: su asombroso comportamiento frente a las ráfagas de viento

Autogiros and their amazing behaviour in wind gusts

Antonio Angulo Álvarez. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Colegiado nº 425. *Presidente de la ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE AMIGOS DEL AUTOGIRO*

Resumen: Sin duda extrañará a los lectores de la *Revista de Obras Públicas*, que se trate de un tema que difiere de los normalmente reflejados en ella. Sin embargo, se refiere al invento de un Ingeniero de Caminos, Juan de la Cierva Codorníu, el Autogiro, del que puede asegurarse que fue el invento español más importante de todo el siglo XX.

Estos aparatos tienen una "virtud" en relación con los aviones de ala fija. Es sabido, en los ámbitos de la aviación ligera, que cuando existen turbulencias en el ambiente, que hacen temerario el vuelo de los aviones normales, de ala fija, los autogiros vuelan.

En las líneas que siguen, se analiza la sustentación de los autogiros, llegándose a la conclusión que son mucho menos sensibles a la ráfagas de viento que los aviones, cuantificándose sus efectos, notablemente menores que los sufridos por aparatos de ala fija.

Palabras Clave: Autogiro, Estabilidad, Ante turbulencias

Abstract: Readers of this journal will undoubtedly be surprised to read about a subject which does not normally appear in these pages. However, this refers to an invention by a civil engineer, Juan de la Cierva Codorniu, in the form of the Autogiro which was possibly the most important Spanish invention of the 20th century.

This craft had "advantages" over aeroplanes with fixed wing as they could fly in turbulence which would be detrimental to fixed wing light aircraft.

The article considers the lift of autogiros and comes to the conclusion that these are far less sensitive to wind gusts than aeroplanes and that they do not suffer the effects to the same degree as fixed wing aircraft

Keywords: Autogiro, Stability, Turbulence

Introducción

Los autogiros actuales, aunque sustancialmente son iguales a los ideados por Juan de la Cierva, suelen ser del tipo que se aprecia en la figura 1.

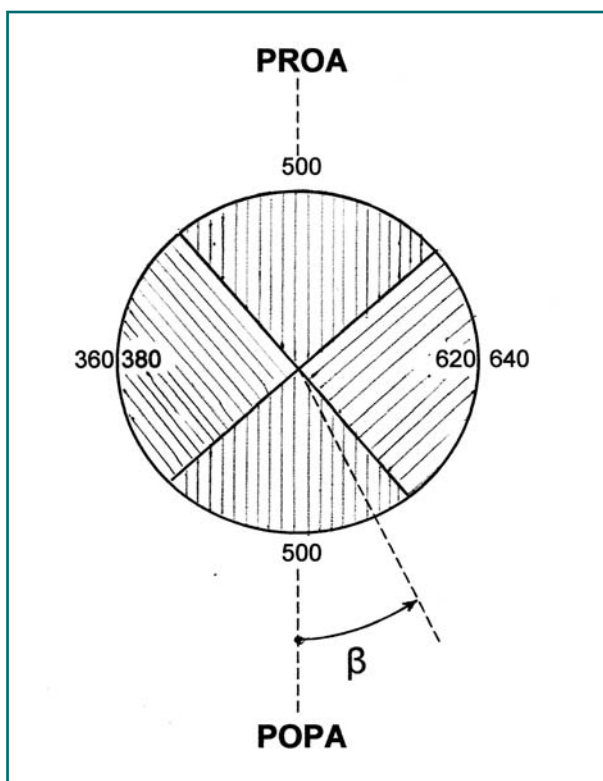
Reglamentariamente, están incluidos dentro de los aerodinos denominados "ultraligeros motorizados" (U.L.M.) que tienen limitado su peso.

La velocidad de marcha normal (ó de "crucero") de estos aparatos varía según los modelos, siendo del orden de 120 km/hora, aun cuando la característica fundamental de los autogiros es que pueden volar a velocidades



Figura 1.

Figura 2.



mucho mas reducidas, adecuadas para las maniobras de aterrizaje.

En cierta ocasión, me entró la curiosidad de saber la velocidad del extremo de las palas giratorias que caracterizan a los autogiros. Supe que para un conjunto de palas de 8 metros de longitud total (diámetro del disco engendrado), la velocidad de giro de las mismas, en condiciones de vuelo normal, es de unas 340 vueltas por minuto. Por cierto, este es un valor en circunstancias normales de vuelo, de un autogiro determinado, pues varía según la carga que lleve el aparato, la altitud del vuelo....etc. Se adoptan estas cifras, que son propias de un caso particular, pero pensando en que la mayoría de los aparatos tendrán características que no se diferenciarán mucho de los valores mencionados.

Con los datos citados, la velocidad del extremo de las palas resulta poco mas de 500 km/hora. Para cuanto sigue, se utilizará la mencionada velocidad de 500 km/hora.

El primer comentario que se ocurre es precisamente lo importante de esta cifra.

Pero los citados 500 km/hora solo se refieren al giro de las palas. La velocidad real será, además de la anterior, la debida a la marcha normal del autogiro.

Dibujé, en la figura 2, una circunferencia que representa el "disco" barrido por las palas en su giro, visto desde arriba. En la parte superior, el sentido de la marcha o

"proa", mientras que en la inferior, la parte trasera del autogiro, la "popa".

He utilizado términos marinos, pues los normalmente usados en ambientes aeronáuticos de "morro" y "cola" me parecen poco ... académicos.

Cuando la pala, en su giro, se encuentra en dirección a la proa, ó a la popa, la velocidad que lleva el extremo de la pala, que haya que tener en cuenta a efectos de sustentación, es tan solo la citada de 500 km/hora, puesto que la velocidad de avance es paralela a la pala, en la cual ésta produce, por lo tanto, ninguna sustentación.

Cuando la pala está a la derecha, avanzando hacia delante, y perpendicular a la marcha, la velocidad del extremo de la pala, respecto al aire, será la suma de los 500 km/hora propios del giro del rotor, mas 120 km/hora de avance del aparato. Son 620 km/hora, y se localizan en la parte derecha del dibujo. El sentido de giro del rotor, contrario al de las agujas del reloj, está indicado en la figura.

En la parte izquierda, la velocidad del extremo de la pala, respecto al aire, será la diferencia entre la propia del autogiro (hacia delante), y la originada por el giro (hacia atrás). En el caso citado, resultan 380 km/hora.

El comentario obligado, ratifica lo antes mencionado. Son velocidades muy altas, muy superiores a la normal de avance del aparato.

Precisamente ésta elevadísima velocidad me hizo pensar si las inevitables ráfagas de viento que se producen durante el vuelo, y cuya importancia es de unas pocas decenas de kilómetros por hora repercutirían de modo apreciable en el vuelo de los autogiros.

Así que cogí un bolígrafo y me puse a dar vueltas al tema.

Las ráfagas

A continuación se hace referencia únicamente a las ráfagas de viento HORIZONTALES, y que se dirigen hacia nuestra aeronave, procedentes bien sea de la proa, ó de la popa, pero fundamentalmente, de la proa.

Primero veamos lo que sucedería a un avión normal, de ala fija.

Concretamente, si volando a 120 km/hora, en una atmósfera estática, nos encontramos de frente con una ráfaga de viento que viene hacia nosotros, de 20 km/hora, ocurrirá que, instantáneamente, nuestro aparato tiene una velocidad respecto al aire, de 140 km/hora.

Ello trae dos consecuencias: una de ellas es que el aparato se frena, puesto que su motor le impulsaba con potencia suficiente para que su empuje equilibrase la resistencia al avance propia de los 120 km/hora, pero du-

rante la ráfaga, esta resistencia es la correspondiente a 140 km/hora, notablemente mayor.

La segunda consecuencia se refiere a la sustentación. Nuestro aparato marchaba en equilibrio, a velocidad constante. La sustentación producida por sus alas igualaba a su peso. De repente, al recibir la ráfaga, se encuentra volando sobre un aire, a 140 km/hora de velocidad sobre el mismo. La sustentación será mayor ya que el resto de circunstancias no ha cambiado.

Para concretar mas, se recuerda que la presión ejercida por el aire, en movimiento, sobre un cuerpo sólido incluye cuatro factores:

- La densidad del aire
- La superficie del sólido (tamaño)
- Su forma, que define un coeficiente
- El cuadrado de la velocidad existente entre sólido y viento

Los tres primeros son los mismos antes y durante la ráfaga, por lo que las comparaciones entre presiones (sustentación) son idénticas a las propias de los cuadrados de las velocidades.

Así, en el caso mencionado de un avión que vuele a 120 km/hora, y reciba de frente una ráfaga de 20 km/hora, su sustentación habrá variado en la proporción de

$$(140/120)^2 = 1,3611$$

impulsando hacia el cielo a nuestro avión con una fuerza equivalente al 36,11 % del peso total del aparato. Así seguirá, elevándose por razón del impulso, (sufriendo una aceleración del 36,11 % de la propia de la gravedad), hasta que cese la ráfaga.

Algo análogo ocurre si la ráfaga se recibe por la popa. Nuestro aparato se encontrará con una sustentación inferior a su peso (la propia de 100 km/hora), por lo que descenderá mientras dure la ráfaga

Se trata de los conocidos "baches".

La sorpresa

Veamos lo que ocurre con los autogiros

Volviendo a la figura 2, se habían anotado en el interior el círculo dibujado, las velocidades del extremo de las palas del autogiro, en marcha normal, a velocidad "de crucero" que afecten a la sustentación del aparato.. Además se apuntan ahora en la parte exterior del mismo círculo las velocidades del aire en el instante en que una ráfaga de viento de 20 km/hora se presentase ante el autogiro. En tal situación, las velocidades de los extremos de las palas serían las mismas de 500 km/hora cuando el

extremo de la pala pasase frente a la proa. Y también frente a la popa. Pero a la derecha serán 640 km/hora y a la izquierda, 360 km/hora las velocidades del extremo de la pala.

Luego, repartí el círculo en cuatro cuadrantes, rayados con diferente dirección. Admitiendo que en cada cuarto de vuelta del rotor, (todos con igual superficie) la sustentación puede estimarse proporcional al cuadrado de la velocidad anotada relativa al mismo, obtuve la sustentación total, por simple suma, tanto para la situación normal de vuelo (120 km/hora), como para la que se encuentre en el instante de recibir la ráfaga (140 km/hora).

Estas valoraciones fueron las siguientes:

A 120 km/hora:

$$2 \times 500^2 + 620^2 + 380^2 = 1.028.800$$

A 140 km/hora:

$$2 \times 500^2 + 640^2 + 360^2 = 1.039.200$$

Aquí está la sorpresa :

¡¡ Ambas cantidades son casi iguales !!

Es decir, que si un autogiro volando a 120 km/hora recibe una ráfaga por su proa, de 20 km/hora, el impulso que ello produce en el aparato es tan solo del

$$(1.039.200 / 1.028.800)^2 = 1,0108$$

es decir, poco mas del 1 % del peso del aparato.

O sea, que apenas se notaría.

Comparando esta cifra, con el 36,1 % que sufrirían en los aviones de ala fija en análogas circunstancias, se destaca que, contrariamente a lo que ocurre en los aviones normales, los autogiros son prácticamente insensibles a las ráfagas de viento.

La explicación

Para valorar la velocidad que va tomando en extremo de la pala, desde que está situada a popa, a medida que va girando en sentido contrario a las agujas del reloj, se utiliza el ángulo "beta" (β) señalado en la figura 2.

Cuando dicho ángulo vale "cero" la velocidad del extremo de la pala son 500 km/hora. Cuando llega a 90° Las velocidades son respectivamente de 620 y de 640 km/hora, según que la velocidad del autogiro respecto al aire sea de 120 ó de 140 km/hora.

Cuando el mencionado ángulo alcance los 180°, de nuevo será de 500 km/hora la velocidad del extremo de

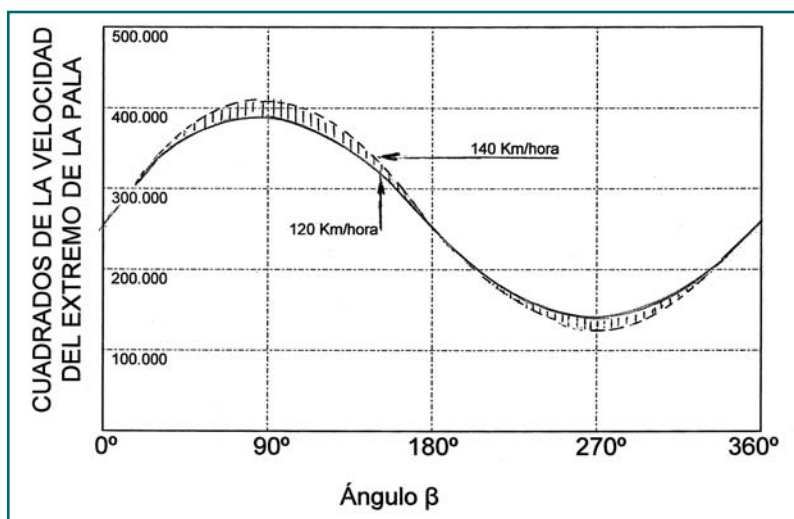


Figura 3.

la pala, igual para ambas velocidades del autogiro (120 ó bien 140 km/hora)

Al llegar a los 270° las velocidades correspondientes del extremo de la pala, serán de 500 km/hora menos 120 ó 140 km/hora por la marcha del autogiro, respecto al aire es decir, 380 y 360 km/hora.

En la figura 3 se ha representado la variación citada, tomando en abscisas el valor del ángulo β , y en ordenadas, los cuadrados de las velocidades mencionadas.

Con línea seguida, se han unido los puntos correspondientes a la velocidad de 120 km/hora, y con trazos la correspondiente a 140 km/hora de velocidad respecto al aire.

La sustentación durante una vuelta de la pala, estará medida por el área comprendida entre los ejes de coordenadas, y las curvas que se acaban de mencionar.

La diferencia entre ambas líneas dará a conocer el impulso que sufrirá el autogiro al recibir una ráfaga de 20 km/hora.

Para valores de β menores de 180°, la pala recibe mas impulso si se han alcanzado los 140 km/hora, en relación con la velocidad normal de 120 km/hora, pero cuando dicho ángulo sobrepase los 180°, hasta que alcance los 360° propios de la vuelta completa, es MENOR el impulso que recibe la pala si la velocidad es de 140 km/hora, que cuando lo hace a 120 km/hora.

Estas diferencias se han destacado en la figura 3, pudiéndose apreciar que tales diferencias entre ambos impulsos, que se han rayado en el dibujo, son de signo contrario. Asimismo se ve claramente que ambas tienen análoga magnitud.

Esta explicación aclara que el impulso total recibido en una vuelta del giro de la pala, apenas varía con la velocidad de marcha del autogiro, que es lo que se pretendía. Recibir una ráfaga de viento no implica que

cambie de modo apreciable la sustentación producida por la pala, a lo largo de cada vuelta.

Como la pala recibe más impulso estando a 90° y menos en la posición opuesta, resulta que al aparecer una ráfaga, las palas del autogiro "abaniquéan" más, pero no existe otro efecto notable.

Con los cálculos anteriores no se pretende valorar la sustentación que producen las palas al girar. El hecho de considerar los cuadrados de las velocidades del extremo de la pala no implica que tales cifras representen exactamente la sustentación. Son, eso sí, un índice que ha servido para averiguar que, ante una ráfaga, los autogiros son mucho menos sensibles que los aviones de ala fija.

Valoración

Lo antes mencionado demuestra cualitativamente el comportamiento de los autogiros cuando reciben ráfagas de viento.

Sin embargo, parece demasiado "poco aproximada" la hipótesis que se ha hecho, según la cual las velocidades del extremo de la pala, son iguales durante cada cuarto de vuelta.

Seguidamente, se estudia tal variación de modo mas razonado.

En la figura 4 se ha esquematizado una pala, situada a un ángulo β respecto a la dirección de la popa, en el

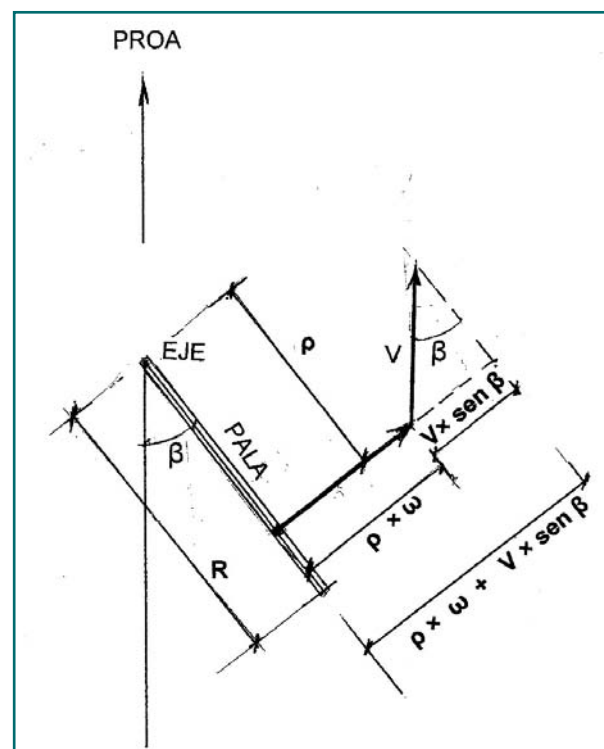


Figura 4.

giro de la citada pala alrededor de su extremo interior, que es el eje del conjunto del rotor.

La longitud de la pala, se ha señalado con la letra mayúscula R, por ser el radio que, en el giro de la pala, define su extremo.

Cualquier punto intermedio de la pala, está definido por su distancia al eje, asignando a esta dimensión, la letra griega minúscula "rho" (ρ).

La pala gira alrededor de su extremo, unido al eje, a una velocidad angular que se ha designado por la letra griega minúscula "Omega" (ω).

En cualquier punto de la pala, su velocidad respecto al aire en calma, es el producto de su radio, multiplicado por la velocidad angular, por razón del giro del rotor, esto es;

$$\rho \times \omega$$

y es perpendicular a la pala, y por lo tanto a su borde de ataque. Esta velocidad, se aplica íntegramente para producir sustentación.

La velocidad de avance del aparato, respecto al aire en calma queda definida por la letra mayúscula V, y se supone, procede de la parte delantera ó proa del aparato. Esta velocidad no afecta en su totalidad a la sustentación, sino solamente su componente perpendicular a la pala, o sea;

$$V \times \text{sen } \beta$$

Se suman ambas causas de sustentación, resultando una velocidad a estos efectos, que se refleja en la siguiente expresión

$$\rho \times \omega + V \times \text{sen } \beta$$

Para tener en cuenta la totalidad de la sustentación producida por una pala, en un giro de una vuelta completa, se precisa integrar la expresión que incluye EL CUADRADO DE LA VELOCIDAD RECIEN DEFINIDA, y la SUPERFICIE INFINITESIMAL definida por el rectángulo cuyos lados son ; la diferencial del radio ($d\rho$), y respecto al arco, este es el producto del radio (ρ), que es finito, por la diferencial del arco ($\rho \times d\beta$). Esto es:

$$\text{superficie infinitesimal} = \rho \times d\rho \times d\beta$$

En la Figura 5 se aclara éste concepto

Se llega a la siguiente integral doble, que se desarrolla a continuación en una serie de operaciones, destacando que los límites de la integración son:

- Entre "cero" y 2π , para el ángulo β
- Entre "cero" y R, para la magnitud ρ .

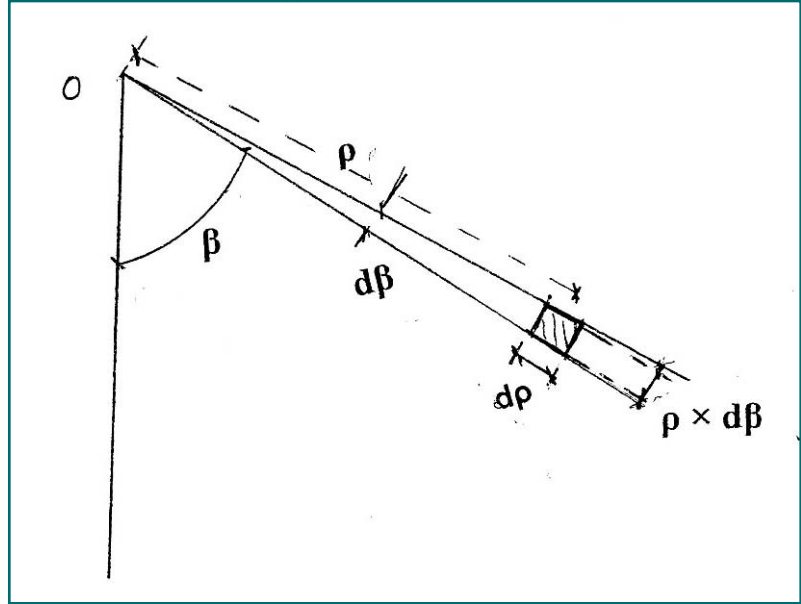


Figura 5.

$$\int_0^{2\pi} \int_0^R (\rho \times \omega + V \times \text{sen } \beta)^2 \times \rho \times d\rho \times d\beta =$$

$$= \int_0^{2\pi} \int_0^R (\omega^2 \times \rho^3 + 2 \times \omega \times \rho^2 \times V \times \text{sen } \beta + \rho \times V^2 \times \text{sen}^2 \beta) d\rho \times d\beta =$$

$$= \omega^2 \int_0^{2\pi} \frac{R^4}{4} \times d\beta + 2 \times \omega \times V \times \frac{R^3}{3} \int_0^{2\pi} \text{sen } \beta \times d\beta + \frac{R^2}{2} \times V^2 \int_0^{2\pi} \text{sen}^2 \beta \times d\beta =$$

$$= \frac{\omega^2 \times R^4}{4} \times 2 \times \pi + 0 + \frac{R^2}{2} \times V^2 \times \pi = \pi \times \frac{R^2}{2} \times (\omega^2 \times R^2 + V^2)$$

O sea que a efectos comparativos, sirve la valoración del binomio

$$\omega^2 \times R^2 + V^2$$

en el que son constantes las magnitudes "R", que es el radio del extremo de la pala (longitud de la misma, en metros) y "omega" es la velocidad de giro del conjunto del rotor.

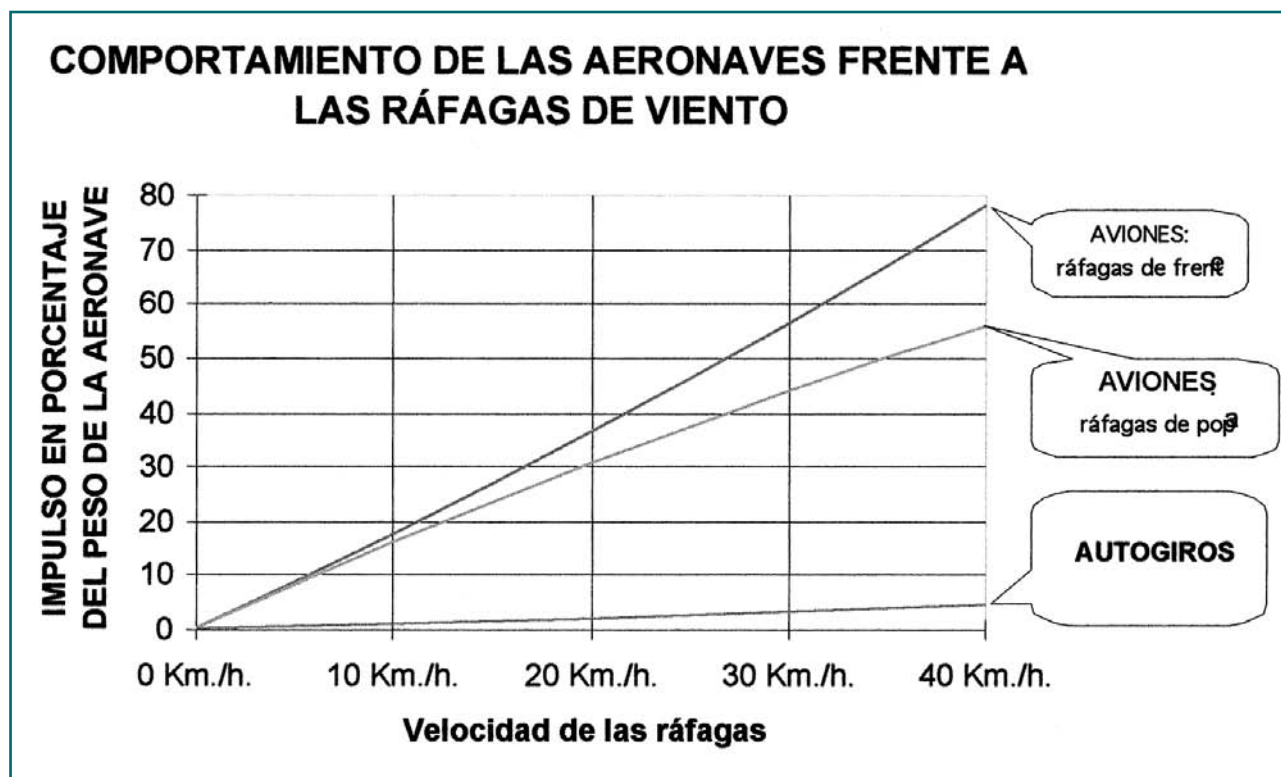
El producto de la velocidad angular (ω) por el radio (R), es la velocidad lineal del extremo de la pala, que se fijó para los cálculos en 500 kilómetros por hora, por lo que, a efectos comparativos, la sustentación total, según la velocidad del aparato respecto al aire queda definida por la expresión

$$500^2 + V^2$$

En poder de ésta formula, obtenida con todo rigor, se vuelve al ejemplo citado anteriormente.

Aplicando la parte comparativa del citado binomio, en marcha normal, la velocidad V es la propia del autogiro (120 Km./hora, en el ejemplo), y su sustentación es

Figura 6.



precisamente el peso total del aparato. En esta situación el binomio vale

$$264.400$$

Al enfrentarse con una ráfaga de viento de 20 km/hora, la velocidad del aparato respecto al viento será de 140 km/hora, y en este caso, el valor de binomio citado (para $V = 140$ km/hora) se eleva a

$$269.600$$

El cociente entre ambas cantidades (1,0196), define el impulso que sufrirá el autogiro por razón de la ráfaga de viento, que es el 1,96 % del peso del aparato.

Esta cifra es, pues, del mismo orden que la deducida mediante cálculo aproximado, que resultó del 1,08 %. Pequeñísima en ambos casos.

Conclusión

Para apreciar visualmente cuanto antecede, se ha dibujado en la figura 6 la variación del "impulso" (que son "aceleraciones"), para distintas velocidades de ráfaga, tanto para autogiros como para aviones de ala fija.

Para éstos últimos, una curva refleja el efecto de las ráfagas que vienen de "proa", y otra, el producido por las ráfagas que el avión recibe por su popa.

Los "impulsos" que reciben los autogiros son tan pequeños, que prácticamente se confunden los gráficos de los mismos, tanto para ráfagas recibidas de proa como de popa.

Se destaca la grandísima diferencia que existe entre los efectos causados a autogiros y a aviones.

La conclusión es evidente:

"LOS AUTOGIROS SON MUCHO MENOS SENSIBLES A LAS RÁFAGAS HORIZONTALES DE VIENTO, QUE LOS AVIONES DE ALA FIJA"

Helicópteros

Cuanto se ha mencionado referido a los autogiros, (otra cosa no podría ser, dada la índole de la Asociación que preside el autor de las presentes líneas) tiene su aplicación a los helicópteros, por razón de que también su sustentación procede del giro de un rotor.

La diferencia estriba en que en éstos, el movimiento de las palas del rotor es debido a la acción de un motor, en tanto que en los autogiros, es el propio avance del aparato el que "milagrosamente" hace girar al rotor, consiguiendo que el autogiro se sostenga en el aire. Y vuela. ♦