

POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

www.upm.es



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Universitaria de
Ingeniería Técnica Aeronáutica

HELICÓPTEROS

Profesores: *Miguel A. Barcala Montejano*
Ángel A. Rodríguez Sevillano

POLITÉCNICA



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**Escuela Universitaria de
Ingeniería Técnica Aeronáutica**

**SISTEMA de ABSORCIÓN
DE VIBRACIONES**

POLITÉCNICA





VIBRACIONES EN EL HELICÓPTERO

- Análisis de los modos de vibración y frecuencias:
 - en flexión (tanto en batimiento como en arrastre), y
 - en torsión.
- En general se asume que son independientes unos respecto de los otros.
- Existen ciertos acoplamientos elásticos y de inercia; casos de torsión en la pala o bien cuando los ejes elástico y másico no coinciden.
 - El flameo de palas es un acoplamiento clásico entre fuerzas aerodinámicas y de inercia.
- Las cargas aerodinámicas en una pala de helicóptero varían notablemente a lo largo de un ciclo (a lo largo de su azimut ψ), y en vuelo estacionario, estas cargas son periódicas.



VIBRACIONES EN EL HELICÓPTERO

- Las fuerzas y momentos del rotor causan vibración sobre el fuselaje:
 - son transmitidas desde las palas a la cabeza del rotor,
 - desde ahí al eje de transmisión del rotor,
 - a los cojinetes de la caja reductora principal,
 - de ahí a la carcasa de la caja reductora, y
 - finalmente al fuselaje, a través de las fijaciones entre este y la caja de transmisión principal.
- Estas fuerzas son tanto aerodinámicas como de inercia, producidas por el movimiento de batimiento y arrastre de las palas.



VIBRACIONES EN EL HELICÓPTERO

- Las fluctuaciones de las fuerzas en el rotor de cola pueden también actuar.
- La mayoría de los casos el rotor principal es la principal causa de vibración no deseada.
- El control de las vibraciones es importante por varias razones:
 - Mejorar la eficacia de la tripulación, y la seguridad en operación.
 - Mejorar la confortabilidad del pasaje.
 - Mejorar fiabilidad de la aviónica y equipamiento.
 - Mejorar la vida a fatiga de los componentes estructurales de la célula.



VIBRACIONES EN EL HELICÓPTERO

- El tipo de rotor influye en el sistema de cargas aplicado al fuselaje.
- Los momentos vibratorios generados en cabeceo y alabeo por un rotor articulado:
 - significativamente más pequeños que los producidos por un rotor rígido o sin articulaciones.



VIBRACIONES EN EL HELICÓPTERO

- La elección del número de palas también es importante:
 - El nivel de las cargas oscilatorias aerodinámica tiende a decrecer a medida que el orden del armónico aumenta.
 - Como el término $b\Omega$ es la primera causa de la vibración del fuselaje, a medida que tengamos un mayor número de palas, menor será la entrada aerodinámica vibratoria básica.
 - El **diseño dinámico correcto** de las palas de helicóptero es esencial por dos razones fundamentales:
 - Minimizar la amplificación de la carga aerodinámica vibratoria en la pala del rotor que se transmite al fuselaje; y
 - Minimizar la carga total vibratoria de la pala para conseguir una vida a fatiga aceptable.



VIBRACIONES EN EL HELICÓPTERO

- La generación de **cargas aerodinámicas oscilatorias a frecuencias que sean múltiplos enteros de la velocidad de rotación:**
 - importante en la operación del helicóptero en vuelo.
- Las vibraciones forzadas del helicóptero no pueden ser totalmente eliminadas.



VIBRACIONES EN EL HELICÓPTERO

- Las fuerzas y momentos en ejes fijos al helicóptero son : **X**, **Y**, **Z**, **L**, **M**, **N**.
 - La fuerza total **Z** sólo tiene armónicos **múltiplos del número de palas**,
 - (con rotores perfectamente equilibrados y en senda; sino es así, aparecerán otros armónicos).
 - La fuerzas **X**, **Y** tienen armónicos **múltiplos del número de palas ± 1** ,
 - que se cancelan de forma que la cabeza del rotor sólo se transmiten múltiplos del número de palas.



VIBRACIONES EN EL HELICÓPTERO

- Durante muchos años, los helicópteros utilizaron palas de helicóptero de distribución de **masa** y **rigidez** básicamente constante.
- Características dinámicas no muy buenas, pero aceptables, en el caso de:
 - con cabezas de rotor con bajas excentricidades de la articulación de batimiento, y velocidades de crucero moderadas.
- Sin embargo, debido a:
 - sistemas con valores más altos de la excentricidad, real o efectiva, de la articulación,
 - velocidades de crucero mayores,
- Han conducido a la necesidad de redefinir el diseño estructural de las palas, para reducir las cargas aerodinámicas.



VIBRACIONES EN EL HELICÓPTERO

- Las palas modernas en material compuesto:
 - con mezcla adecuada de fibras de vidrio y de carbono,
 - permiten conseguir valores adecuados de rigidez en flexión y a torsión, casi de forma independiente.



Sistemas de montaje de la transmisión principal

- Con objeto de minimizar las fuerzas vibratorias sentidas en el fuselaje, se han usado varios métodos de montaje de la caja reductora del rotor principal.
- Veamos algunos ejemplos de sistemas pasivos que se han utilizado:



Sistemas de montaje de la transmisión principal

- **Montaje suave -blando- entre rotor/reductor/turbina.**
 - Una suspensión suave, derivado de los sistemas sencillos de un grado de libertad de una masa más un muelle. La fuerza transmitida a través del muelle al soporte se ve reducida a medida que la frecuencia natural del muelle relativa a la frecuencia de excitación, baja.
 - Como las deflexiones estáticas del sistema suspendido pueden ser inaceptablemente grandes si el sistema de suspensión suave se monta en la base de la transmisión principal, puede ser necesario aislar la masa tanto como se pueda.

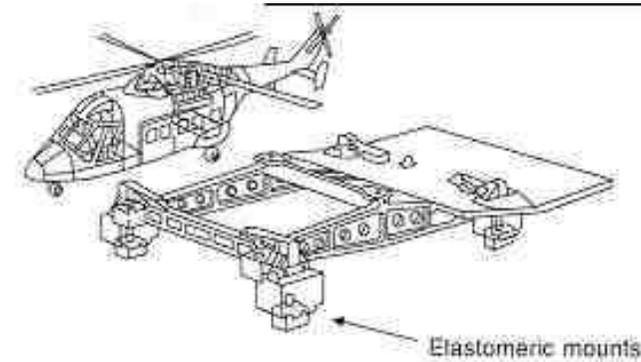


Fig. 8.7 Westland W-30 raft mounting system

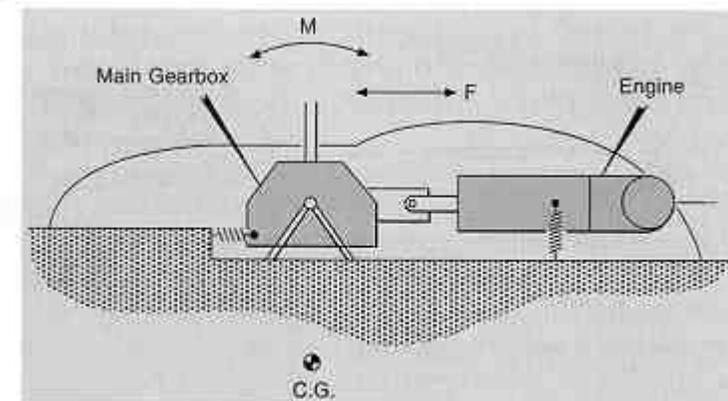


Fig. 8.8 Flexibly mounted gearbox and engine system



Sistemas de montaje de la transmisión principal

- En este sentido, se monta la caja de la transmisión y las turbinas en una plataforma. Se fija la plataforma con el fuselaje usando los montajes elegidos.
- Sin embargo, la atenuación de las fuerzas vibratorias de esta forma es bastante modesta, y ciertas cargas serán transmitidas sin ninguna reducción.

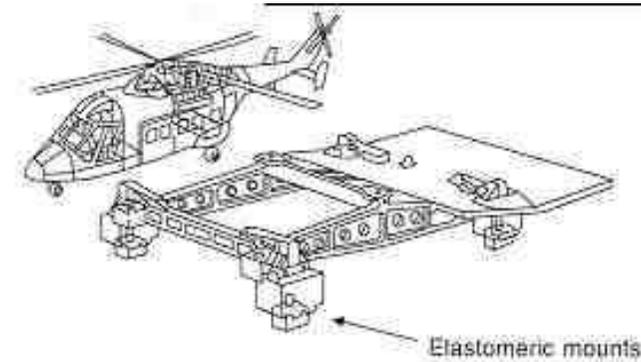


Fig. 8.7 Westland W-30 raft mounting system

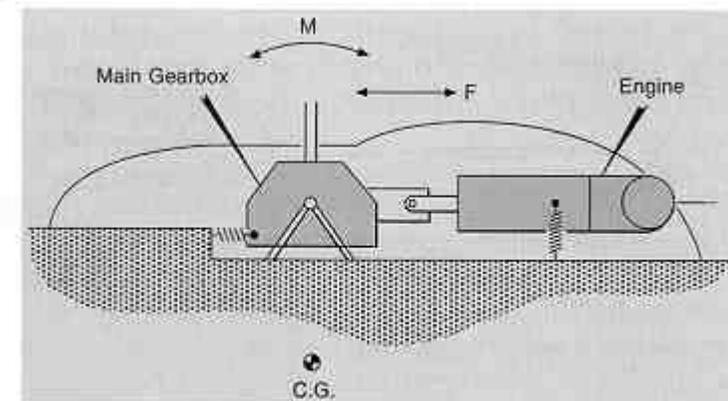


Fig. 8.8 Flexibly mounted gearbox and engine system



Sistemas de montaje de la transmisión principal

- Un sistema de montaje **rotor/transmisión principal/motores** diseñado para responder a la frecuencia forzante $\mathbf{b}\Omega$ de manera que las fuerzas de inercia y de rigidez generadas por la respuesta se cancelen, tanto como sea posible, los efectos generados forzados en el rotor.
 - Por ejemplo, un posible criterio de diseño para un sistema puede ser minimizar la frecuencia $\mathbf{b}\Omega$ del momento de cabeceo del helicóptero respecto del CG.
 - La eficiencia en la atenuación del sistema sería solamente óptima para una condición específica de vuelo teniendo una determinada relación entre las fuerzas y los momentos en la cabeza del rotor.



Sistemas de montaje de la transmisión principal

- Sistemas que empleen el *DAVI* (*Dynamic Anti-Resonant Vibration Isolator*).
 - Originalmente desarrollado para los asientos de tripulación por la compañía *Kaman*, se ha aplicado con éxito al montaje de la transmisión principal.

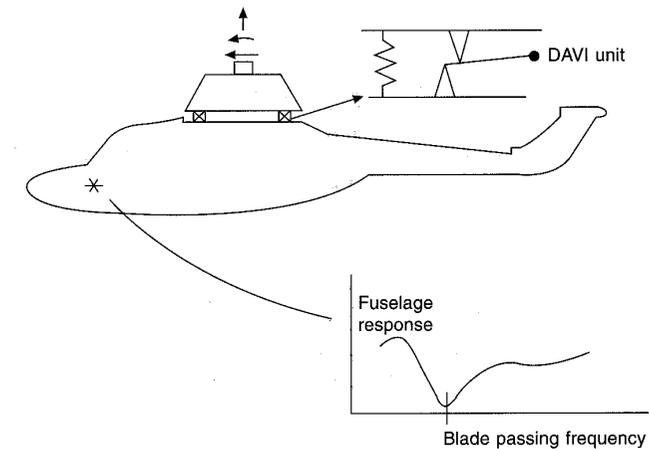


Fig. 8.9 The DAVI gearbox mounting system

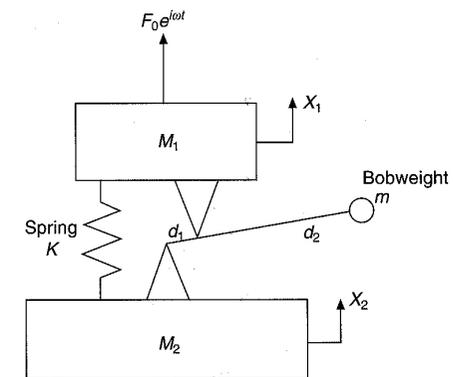


Fig. 8.10 Simplified DAVI model



Sistemas de montaje de la transmisión principal

- Se introduce entre la masa de la transmisión y el motor y la masa del fuselaje un brazo rígido que lleva una pequeña masa centrífuga (*bobweight*).
- Se puede proporcionar una gran atenuación en un estrecho margen de frecuencias.
- Para ello, se deben utilizar valores de rigidez que eviten el problema de excesiva deformación estática.

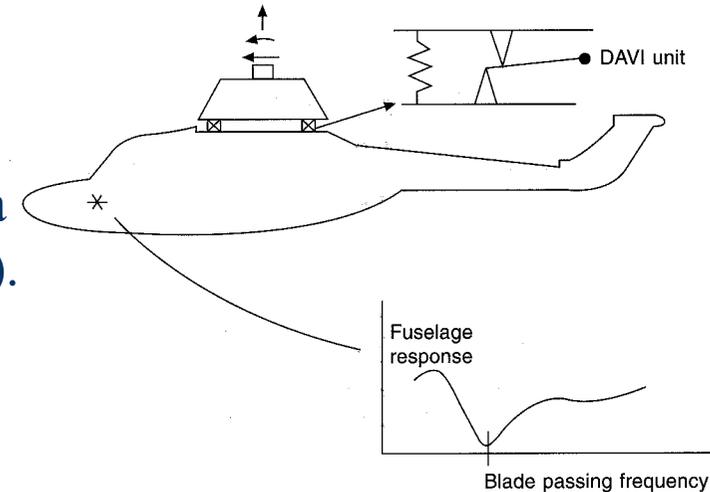


Fig. 8.9 The DAVI gearbox mounting system

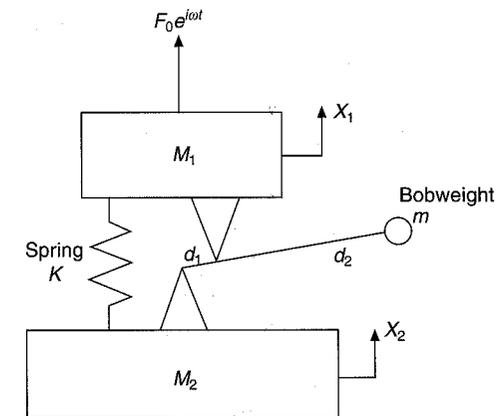


Fig. 8.10 Simplified DAVI model



Sistemas de montaje de la transmisión principal

- Sistema de montaje de la transmisión *Nodamatic*, de Bell.
 - Se intercala una viga entre la transmisión y el fuselaje.
 - Se configura el conjunto suspendido de los puntos nodales del sistema de la viga, cuando está vibrando en respuesta a las cargas y momentos forzadas por el rotor.

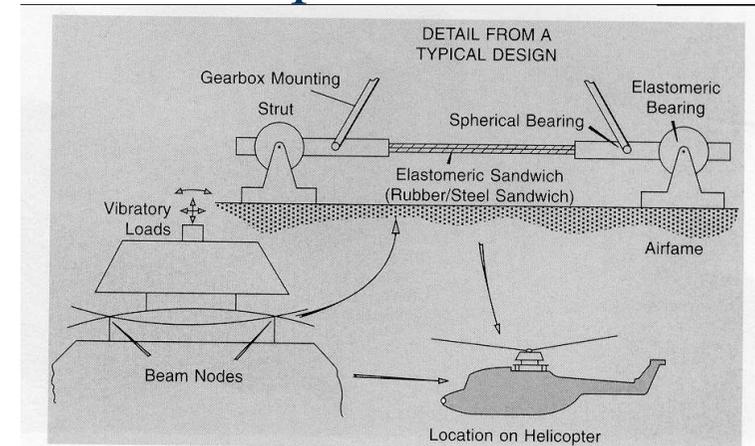
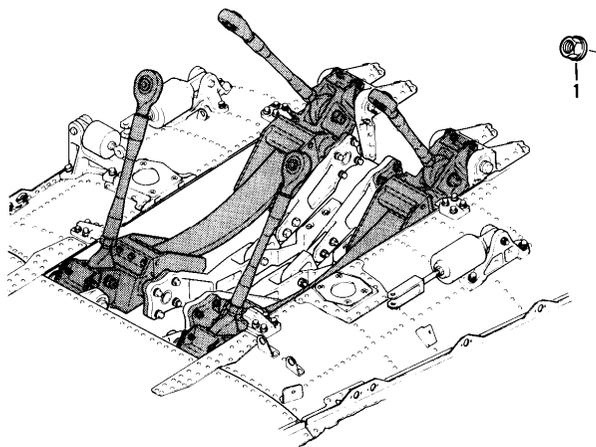


Fig. 8.12 Principle of the nodal beam mounting system



Sistemas que absorben vibraciones

- Se dividirán en **dos** categorías:
 - aquellos diseñados para **reducir los niveles de vibración** a lo largo del fuselaje.
 - aquellos diseñados para producir una **reducción en la vibración en una zona localizada** del fuselaje.



Sistemas que absorben vibraciones

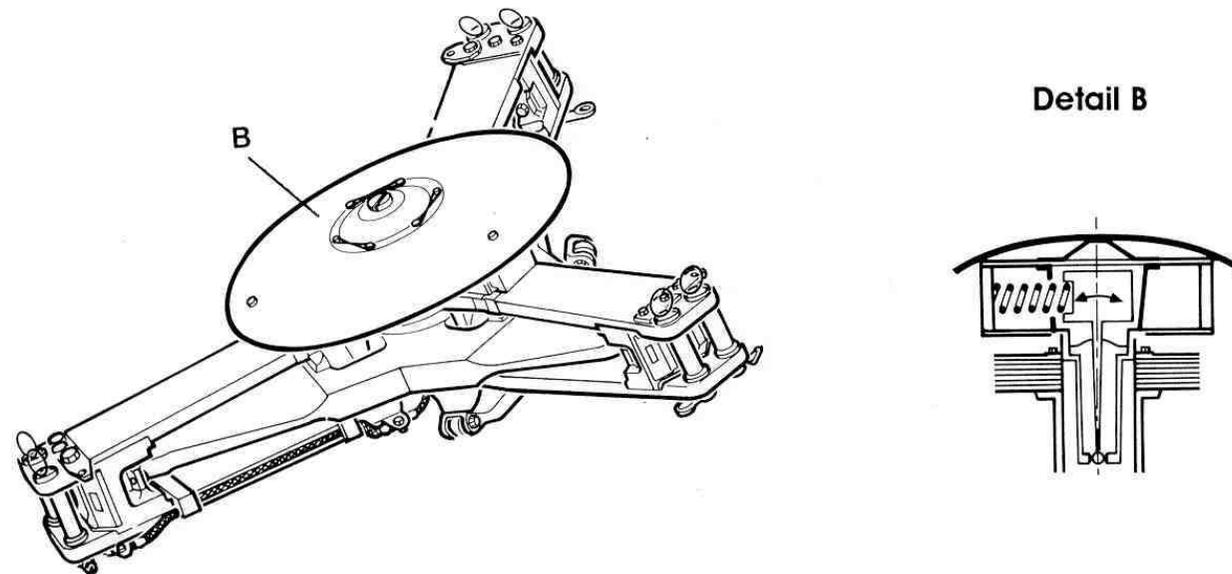
- Los métodos pasivos de la **primera categoría -reducen niveles vibración todo fuselaje-** son:
 - La **cabeza del rotor está montado en un sistema que absorbe la vibración**, de los cuales existen dos tipos:
 - El absorbedor pendular centrífugo (**bifilar**) desarrollado por Sikorsky.
 - La rigidez del muelle requerida se consigue por fuerza centrífuga.
 - La frecuencia natural del dispositivo varía con la velocidad de giro del rotor, como la frecuencia forzadora.





Sistemas que absorben vibraciones

- Absorbedor de frecuencia fija (*flexispring*) desarrollado por Westland. En la figura se muestra el sistema que monta la cabeza del rotor del Ecureil AS350.



ROTOR HEAD ANTI-VIBRATION DAMPER



Sistemas que absorben vibraciones

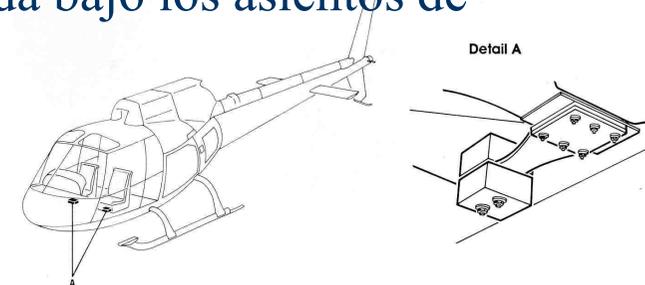
- Un **absorbedor del tipo pendular centrífugo se monta en la pala del rotor.**
 - Este tipo de absorbedor se ha usado en el BO105 y en el Hughes 500.
 - En el caso del Hughes 500 la instalación consiste en absorbedores sintonizados a 3Ω y 5Ω para la versión de 4 palas:
 - reducir la respuesta del 2 y 3 tercer modo de flexión de la pala a la 3Ω y 5Ω frecuencia oscilatoria de cargas aerodinámicas en el sistema rotatorio.





Sistemas que absorben vibraciones

- Métodos pasivos de la **segunda categoría - reducción en la vibración en una zona localizada del fuselaje-**:
 - El fuselaje montado en un sistema clásico masa-muelle.
 - Implica el montaje de un sistema con una masa relativamente pesada (por ejemplo, la batería o masas parásitas), generalmente en la zona de operación de la tripulación y los pasajeros, sintonizado a las frecuencia forzadora $b\Omega$.
 - En la figura se muestra la masa montada bajo los asientos de tripulación en el Ecureuil AS350.

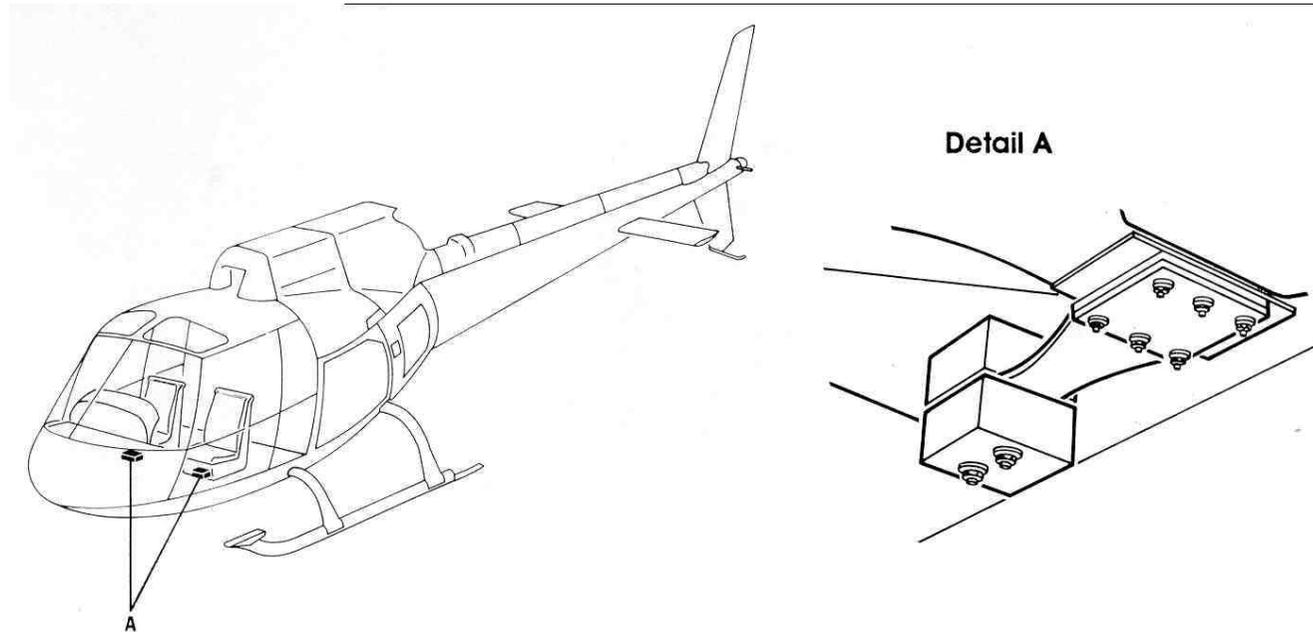


CABIN RESONATORS



Sistemas que absorben vibraciones

- En la figura se muestra la masa montada bajo los asientos de tripulación en el Ecureil AS350.



CABIN RESONATORS



Bibliografía

- M.A. Barcala Montejano y Ángel A. Rodríguez Sevillano. *Helicópteros. Teoría y Descriptiva*. Sección de Publicaciones E.U.I.T. Aeronáutica. Fundación General U.P.M.
- Alastair K. Cooke, Eric W.H. Fitzpatrick. *Helicopter Test and Evaluation*. Blackwell Science.
- A.R.S. Bramwell, George Done, David Balmford. *Bramwell's Helicopter Dynamics*. Butterwoth Heinemann, 2 edition 2001.
- J. Gordon Leishman. *Principles of Helicopter Aerodynamics*. Cambridge University Press, 2000.
- J. Seddon, Simon Newman. *Basic Helicopter Aerodynamics*. Blackwell Science, second edition 2002.
- John Watkinson. *The Art of the Helicopter*. Elsevier Butterwoth Heinemann, 2004.