

RESUMEN DE DATOS

LOCALIZACIÓN

Fecha y hora	5 de agosto de 2008; 18:40 h¹
Lugar	Aeropuerto de Madrid-Cuatro Vientos (Madrid)

AERONAVE

Matrícula	EC-HHX
Tipo y modelo	CESSNA 172 RG
Explotador	Centro de Formación Aeronáutico Aerofan

Motores

Tipo y modelo	LYCOMING O-360-F1A6
Número de serie	RL-15404-36

TRIPULACIÓN

	Piloto instructor	Alumno a los mandos
Edad	38 años	37 años
Licencia	CPL(A)	Autorización de alumno piloto
Total horas de vuelo	6.500 h	11:17 h
Horas de vuelo en el tipo	4.000 h	11:17 h (3:25 h en 172 RG)

LESIONES

	Muertos	Graves	Leves/ilesos
Tripulación			2
Pasajeros			1
Otras personas			

DAÑOS

Aeronave	Menores
Otros daños	Ninguno

DATOS DEL VUELO

Tipo de operación	Aviación general – Instrucción – Doble mando
Fase del vuelo	Circuito de aterrizaje – Viento en cola

INFORME

Fecha de aprobación	25 de enero de 2012
---------------------	----------------------------

¹ Todas las referencias horarias indicadas en este informe se realizan en la hora local, salvo que se especifique expresamente lo contrario.

1. INFORMACIÓN SOBRE LOS HECHOS

1.1. Reseña del vuelo

El día 5 de agosto de 2008, la aeronave CESSNA 172 RG, matrícula EC-HHX, realizaba un vuelo de instrucción, consistente en un viaje («routing»), con origen y destino en el Aeropuerto de Madrid-Cuatro Vientos y escalas en los aeródromos de Marugán (Segovia) y Robledillo de Mohernando (Guadalajara); a bordo iban un instructor y dos alumnos.

Uno de los alumnos realizó el tramo inicial, entre el Aeropuerto de Madrid-Cuatro Vientos y el aeródromo de Marugán, y el otro realizó el resto, con dos tomas en el aeródromo de Robledillo de Mohernando y regreso al Aeropuerto de Madrid-Cuatro Vientos, entrando por el punto N («november»).

Cuando se incorporaron al tramo de viento en cola del circuito de aeródromo, sacaron el tren de aterrizaje y se activaron inmediatamente las alarmas, sonora y visual, de tren no bloqueado abajo; al mirar fuera, comprobaron que la pata derecha del tren principal estaba a la mitad de su recorrido, mientras que la otras dos estaban en posición correcta.

El instructor tomó los mandos, comunicó el problema a la Torre de Control del aeropuerto y fueron autorizados para mantenerse en circuito a 4.000 ft. Una vez en el circuito, y en contacto con el controlador y los mecánicos en tierra del operador de la aeronave, realizaron varios ciclos de operación del tren por el procedimiento normal y otros varios por el procedimiento de emergencia. En todos ellos se comprobó que las patas izquierda y de morro del tren operaban correctamente y bloqueaban abajo, mientras que la derecha permanecía hacia la mitad de su recorrido.

La aeronave se mantuvo en circuito, al menos, durante 40 minutos para consumir combustible y, finalmente, aterrizaron en la pista del aeropuerto con el tren fuera; durante la carrera de aterrizaje, la pata derecha se plegó por completo y la aeronave terminó apoyada en ese lado, sobre la punta de ala derecha, el estabilizador horizontal derecho y el final del fuselaje posterior. Los ocupantes de la aeronave no sufrieron daños y abandonaron la aeronave por sus propios medios, mientras que esta fue recuperada en poco tiempo por los servicios de emergencia del aeropuerto y trasladada a un hangar de su operador.

1.2. Daños sufridos por la aeronave

La aeronave sufrió daños menores en punta del ala derecha y el cono de cola, y ligeros roces en el final del fuselaje posterior; el estabilizador horizontal derecho sufrió los daños más significativos, doblándose ligeramente hacia arriba al haberse apoyado la

aeronave en él durante el aterrizaje. En la figura 1 se muestran los daños en dicho estabilizador.

Adicionalmente, al inspeccionar el mecanismo de accionamiento de la pata derecha de tren de aterrizaje, se encontró su eje de giro roto por una sección situada, aproximadamente, a 3 mm de su cogida al actuador; en el esquema de la figura 2 se indica la posición de la sección de rotura.



Figura 1. Daños en estabilizador derecho

1.3. Información de aeronave

La aeronave CESSNA 172 RG, con matrícula EC-HHX y número de serie 172RG-0006, había sido fabricada en 1980. Hasta la fecha del incidente, tenía acumuladas un total de 7618 horas de célula y 1855 de motor, casi todas realizadas en vuelos de instrucción. Disponía del Certificado de Aeronavegabilidad n.º 4573, válido hasta el 20 de diciembre de 2008.

Con fecha 16-07-2008, cuando contaba con 7.550:05 h de aeronave y 1797:46 de motor, se le había realizado una revisión básica de 200 horas, en el curso de la que se habían inspeccionado los componentes del tren de aterrizaje, y el 28-06-2008, cuando contaba con 7.598:02 h de aeronave y 1.845:43 de motor, se le había realizado la última revisión de 50 horas.

Por otra parte, la aeronave tenía incorporado el Boletín de Servicio SEB01-02R2 que requiere realizar una inspección por grietas en los actuadores del tren principal de aterrizaje, con líquidos penetrantes fluorescentes. El boletín exige unas acciones iniciales y, después, una inspección cada 500 horas; la última revisión de los actuadores por este motivo se había realizado el 12-06-2008 a las 7.410 h de aeronave; en consecuencia, el potencial remanente del actuador a efectos de dicho Boletín de Servicio era de 360 h en la fecha del incidente.

1.3.1. Funcionamiento del tren principal de la aeronave

En el modelo CESSNA 172 RG, el tren de aterrizaje es retráctil y opera al aplicar la presión hidráulica, generada por la bomba hidráulica de la aeronave, a los actuadores

montados uno en cada pata. La bomba es movida por un motor eléctrico y, cuando está conectada, mantiene una presión en el margen entre 1.000 y 1.500 psi; en todo caso, la bomba se conecta al accionar la palanca de actuación del tren de aterrizaje. En el caso de que la bomba hidráulica no actúe, la tripulación puede extender el tren de aterrizaje dando presión al sistema mediante un actuador manual (procedimiento de emergencia).

El movimiento de las patas del tren se obtiene de forma distinta en la pata de morro y en las principales; así, mientras en la primera, el actuador es lineal y su vástago mueve directamente la estructura de la pata, en las segundas, el actuador es rotatorio y opera como se indica en el esquema de la figura 2. En dicho esquema, obtenido a partir de figuras contenidas en el Manual de Servicio de la aeronave, se representa el funcionamiento para una pata del tren principal; para la otra, sería totalmente simétrico.

Como se ve en la figura 2, el *vástago del actuador* tiene mecanizados unos dientes que engranan en la *rueda dentada* exteriormente, que está integrada en el *actuador* (ver detalle). Al operar el tren, se aplica presión hidráulica, el *vástago del actuador* se desplaza y hace que la *rueda dentada* gire en uno u otro sentido según sea dicho desplazamiento.

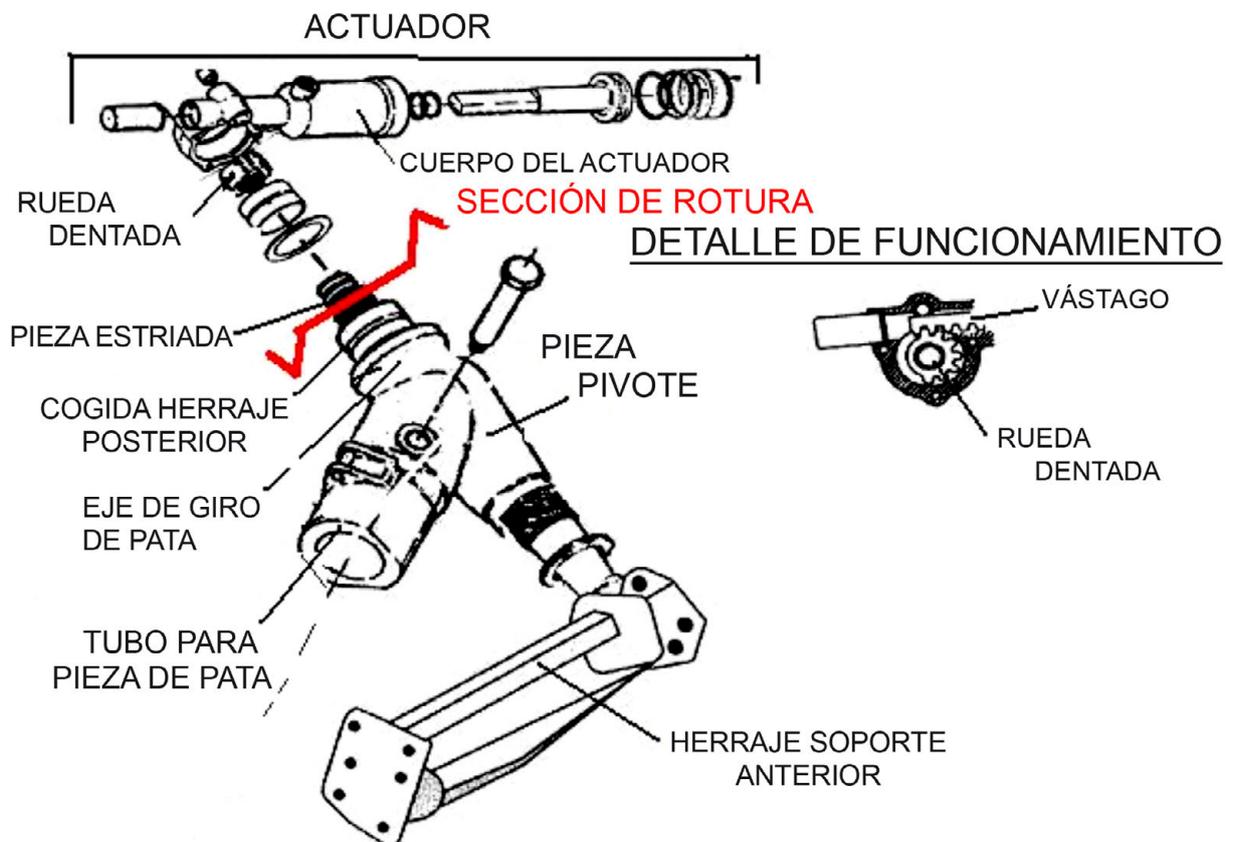


Figura 2. Esquema funcional de pata derecha del tren

La corona interior de la *rueda dentada* está estriada de forma que se acopla a ella un extremo de la *pieza estriada*; el otro extremo de esta pieza está acoplado al *eje de giro de la pata*. Este eje forma parte de la *pieza pivote* que está apoyada, en sus extremos, en unos *herrajes* resistentes, cogidos a la estructura de la aeronave, en los que puede girar con cierta libertad.

La *pieza pivote* contiene, además del indicado *eje de giro*, un *tubo para la pieza de la pata*, que tiene la dirección de ésta y que, por tanto, está inclinado respecto al eje de giro. En este tubo entra la pieza que termina, por el otro extremo, en el soporte del conjunto freno-rueda y que forma la pata propiamente dicha. Este tubo tiene, además, cercano a su inicio, una cogida para el soporte de bloqueo de tren abajo.

La inclinación del *tubo para la pieza de la pata* respecto al *eje de giro* produce que, al girar éste, arrastrado por la *rueda dentada del actuador*, *bascule* la pata entre las posiciones final de su recorrido y retraída, de manera que, en esta última, la rueda esté introducida en su alojamiento del fuselaje.

El soporte del bloqueo de tren abajo está unido a la estructura y, además de bloquear la pata, actúa también, como reacción a las cargas de torsión transmitidas por la rueda durante los movimientos en tierra de la aeronave.

En la figura 2, se ha marcado, en rojo, la posición de la sección de rotura. Como se puede ver, la rotura está en la zona de la cogida del eje de giro al actuador y ocurre, por tanto, en la pieza estriada.

1.3.2. *Mantenimiento del conjunto de actuación del tren principal*

En el Manual de Mantenimiento aplicable figuran las comprobaciones y ajustes necesarios para la correcta operación del tren principal, distribuidas en las revisiones periódicas de 50, 100 y 200 h.

En lo que al actuador y al eje de actuación se refiere, deben someterse a una inspección especial cada 500 h, consistente en: Desmontaje de sus componentes, limpieza e inspección por condición, y sustitución de los elementos que se encuentren dañados. Ninguno de sus elementos tiene límite de vida por fatiga.

1.4. **Inspección del sistema de actuación de la pata derecha del tren principal**

En primer lugar, se procedió a desmontar el actuador y probarlo en banco; el resultado de la prueba funcional fue correcto.



Figura 3. Despiece del actuador de tren

Posteriormente, se procedió a su despiece, separando del conjunto la rueda dentada con el trozo roto de la pieza estriada, al objeto de examinar con detalle la rotura.

En la figura 3 se muestra el despiece del actuador en sus componentes principales; en ellos se observa que los daños más notables encontrados fueron: La rotura de la pieza estriada por una sección que, en su parte inferior, empezaba al nivel de la cogida de la rueda dentada y, en la superior, llegaba a estar a unos 3 mm de la misma, la deformación del eje de la propia rueda dentada con respecto a su tapa y, en la cara plana del vástago, algunas marcas perpendiculares a su eje.

La deformación del eje de la rueda dentada parecía haberse producido al inclinarse el eje a medida que avanzaba la rotura y las marcas en el vástago se estimó que correspondían a las distintas posiciones en las que se situó el vástago contra el rodillo del actuador, en los diferentes intentos de accionamiento de tren durante el vuelo en circuito a 4.000 ft y ya con el eje de giro roto.



Figura 4. Sección de rotura del eje

La rotura en la sección indicada del eje de giro es, básicamente, perpendicular a la estrías y, por tanto, al eje de giro de la pata derecha; en la figura 4 se muestra una vista frontal de la sección de rotura del eje, del lado de la rueda dentada.

1.4.1. Estudio de la rotura en laboratorio

Los elementos del sistema de actuación de la pata derecha del tren principal se enviaron para su estudio en laboratorio; dicho estudio consistió en la observación visual del conjunto, la caracterización del material del eje de giro y de la rotura que presentaba este, y la determinación de las condiciones de funcionamiento que pudieron dar lugar la rotura de la pieza.

A continuación se exponen los resultados de dicho estudio.

1.4.1.1. Observación visual

Como se observa en la figura 5, el trozo roto del eje de unión del actuador al elemento giratorio (pivote) presentaba una rotura de desarrollo prácticamente circunferencial situada en la zona del radio de acuerdo con el trozo que había quedado empotrado en el pivote.

La zona estriada presentaba grietas longitudinales paralelas en la zona de rebaje contigua a la rotura (véase parte superior de la imagen en la figura 5); estas grietas penetraban en el material en la zona dentada.

La zona rebajada, donde se observaban las grietas longitudinales, presentaba una deformación plástica con una inclinación respecto a la generatriz del eje.



Figura 5. Zona estriada

1.4.1.2. Caracterización del material

La composición química del material correspondía a una aleación de aluminio, del tipo Al-Zn, tipificada como EN AW-7175; la dureza que presentaba correspondía, en este tipo de aleación, a una resistencia aproximada de 450 MPa y su microestructura indicaba que había recibido un tratamiento de templado y maduración.

1.4.1.3. Caracterización de la rotura

La superficie de la rotura de la pieza presentaba unos caracteres macrofractográficos y microfractográficos típicos de roturas progresivas por el mecanismo de fatiga.

Las grietas longitudinales que se encontraron en el eje estriado se iniciaban en el exterior del estriado, tanto en los valles, como en los flancos y en las crestas del mismo. Observadas en probeta metalográfica obtenida por corte transversal al eje no se apreció ningún tipo de defecto metalúrgico ni señales de corrosión (véase figura 6).



Figura 6. Corte transversal próximo a la zona de rotura. Detalles de las grietas

1.4.1.4. Condiciones de funcionamiento

En las paredes interiores del actuador y en la pared interior de la tapa del mismo se encontraron marcas de rozamiento e indentación, indicativas de que el eje del pivote había sufrido desplazamientos en la dirección paralela al eje longitudinal del actuador, así como en dirección circunferencial respecto a la pared interior del anillo. Se considera que estos desplazamientos habían sido consecuencia de un desalineamiento durante el funcionamiento del pivote.

Por otro lado, en la pared cilíndrica interior del extremo del pivote opuesto a la fractura, se observaron marcas en sentido longitudinal indicativas de que el pivote había sufrido desplazamientos en su eje longitudinal. Se considera que estos desplazamientos habían sido consecuencia de un desajuste en el montaje.

1.4.1.5. Conclusiones del estudio

De todo lo expuesto en los apartados anteriores, se obtienen las siguientes conclusiones:

- a) El material con el que estaba fabricado la pieza cumplía con las especificaciones del diseño y no presentaba defectos significativos que justificaran una menor resistencia del material del eje estriado en las condiciones en que ocurrió la rotura.
- b) La rotura se había producido por el mecanismo de fatiga y debida a la acción de cargas de torsión.
- c) No se observó ningún tipo de defecto metalúrgico ni señales de corrosión en el origen de las grietas de fatiga longitudinales. El radio de acuerdo de la zona estriada se considera aceptable.
- d) Como consecuencia de las diversas marcas y señales encontradas en las piezas estudiadas se puede concluir que la causa que originó el proceso de fatiga, que concluyó en la rotura del eje, había sido puramente mecánica y probablemente debida a un cierto desalineamiento del eje del pivote respecto de su eje de giro.

1.5. Antecedentes de roturas del sistema de actuación del tren principal

Se consultó al fabricante y al NTSB de Estados Unidos sobre la experiencia de fallos en servicio del sistema de actuación del tren principal en este tipo de aeronaves.

El NTSB informó que en sus bases de datos figuraban 11 casos, ocurridos entre noviembre de 1997 y junio de 2011, distribuidos de la siguiente forma:

- Fallo en el sistema de actuación: 3 casos.
- Fallo en el conjunto del actuador: 8 casos, de ellos:
 - Roturas por sobrecarga: 6 casos.
 - Roturas por fatiga: 2 casos.

En los dos casos de roturas por fatiga, estas se produjeron en el anillo del cuerpo del actuador en cuyo interior gira la rueda dentada; no disponía de antecedentes sobre roturas del eje de la rueda dentada.

2. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

En primer lugar, cabe destacar que la rotura encontrada en el eje de giro de la pata derecha del tren principal de aterrizaje de la aeronave dejaba a esta sin conexión con su actuador de accionamiento, motivo por el que la rotura de dicho eje impedía que se realizase la extensión y retracción de la pata. Debido a que el sistema de extensión del tren por el procedimiento de emergencia actúa dando presión manualmente al circuito hidráulico, la rotura del eje también impedía que se realizase la extensión del tren en emergencia.

En lo que a la rotura se refiere, se ha determinado que presentaba características de haberse producido por el mecanismo de fatiga y debida a la acción de cargas de torsión; debido a la geometría del conjunto, este tipo de cargas oscilantes en los ejes de giro de las patas del tren de aterrizaje se producen durante el rodaje de la aeronave en tierra, como consecuencia de las acciones y reacciones entre las ruedas y el terreno.

Como se ha indicado en el penúltimo párrafo de 1.3.1, el soporte de bloqueo de tren abajo, además de mantener la pata en su posición, también soporta las cargas de torsión transmitidas por las ruedas durante la rodadura en tierra de la aeronave; otra cosa es que amortigüe las vibraciones correspondientes a las cargas oscilantes que se producen y que se han comentado en el párrafo anterior. Por este motivo, se considera que el eje de giro de la pata está sometido directamente a cargas oscilantes de torsión producidas durante la rodadura de la aeronave en tierra.

Por otra parte, en el estudio realizado en laboratorio se comprobó que había un cierto desalineamiento del eje del pivote respecto de su eje de giro y que este pudo ser el desencadenante, puramente mecánico, del proceso de rotura por fatiga a torsión que se produjo en la zona estriada del eje de giro de la pata derecha del tren principal de aterrizaje de la aeronave. Tal y como se encontró el conjunto después de haberse producido la rotura, no fue posible comprobar si el origen de dicho desalineamiento pudo ser consecuencia de un montaje incorrecto o de holguras excesivas en el mismo.

Finalmente, como se ha indicado en 1.5, no se han encontrado antecedentes de roturas en servicio de características similares a la que se produjo en este incidente, por lo se considera que se trata de un caso puntual; esto permite descartar que la rotura esté relacionada con el diseño de la pieza y se considere más probable que lo esté con el montaje y/o el mantenimiento de la misma.