

RESUMEN DE DATOS

LOCALIZACIÓN

Fecha y hora	Sábado, 9 de junio de 2012; 12:15 hora local
Lugar	Aeródromo de Igualada (Barcelona)

AERONAVE

Matrícula	EC-GGF
Tipo y modelo	PIPER PA-23-250 Aztec E
Explotador	Privado

Motores

Tipo y modelo	LYCOMING IO-540-C4B5
Número	2

TRIPULACIÓN

Piloto al mando

Edad	34 años
Licencia	Piloto privado de avión
Total horas de vuelo	202 h
Horas de vuelo en el tipo	35 h

LESIONES

	Muertos	Graves	Leves/ilesos
Tripulación			1
Pasajeros			5
Otras personas			

DAÑOS

Aeronave	Menores
Otros daños	Ninguno

DATOS DEL VUELO

Tipo de operación	Aviación general – Privado
Fase del vuelo	Carrera de aterrizaje

DECLARACIÓN PROVISIONAL

Fecha de aprobación	24 de julio de 2013
---------------------	----------------------------

1. INFORMACIÓN SOBRE LOS HECHOS

1.1. Reseña del vuelo

El sábado 9 de junio de 2012 a las 12:15 h¹, la aeronave EC-GGF Piper PA-23-250, sufrió una salida de pista y la rotura del tren principal izquierdo durante la carrera de aterrizaje por la pista 17 del aeródromo de Igualada (Barcelona).

La aeronave había despegado del aeropuerto de Sabadell, en vuelo privado, con un piloto y 5 pasajeros a bordo. El vuelo había transcurrido con normalidad hasta que en la toma, tras el primer contacto, el piloto notó que el tren principal izquierdo se doblaba. La aeronave se detuvo tras recorrer aproximadamente 330 m y salirse de la pista por la izquierda (figura 1). Quedó apoyada sobre el tren de morro, el tren principal derecho y el plano izquierdo. Las 6 personas a bordo abandonaron la aeronave por sus propios medios sin sufrir ninguna lesión. Las condiciones meteorológicas no eran significativas.



Figura 1. Posición final y zona de contacto

1.2. Información sobre el personal

El piloto, de 34 años de edad y nacionalidad belga, había obtenido la licencia de piloto privado de avión en julio de 2011. En septiembre de 2011 había empezado a operar aeronaves bimotor como parte de la formación para la obtención de la licencia de

¹ Todas las referencias horarias del informe están expresadas en hora local.

ATPL². Tenía la habilitación de multimotor desde enero de 2012. En el momento del incidente acumulaba 202 h totales, de las cuales 35 eran en el tipo, la mayoría realizadas con la aeronave EC-GGF.

En el último mes había volado 8 horas con aeronaves monomotor y multimotor. Su último vuelo antes del incidente había sido 8 días antes.

Contaba con un certificado médico y de competencia lingüística válidos y en vigor en el momento del incidente.

1.2. Información sobre la aeronave

La aeronave EC-GGF, PA-23-250 S/N 27-4810, propiedad del Aeroclub de Sabadell, fue fabricada en el año 1972. Desde su fabricación había pertenecido al Ejército del Aire con la matrícula E.19-4. En el año 1996, con 4.263 h, fue comprada por Asturiana de Aviación, S.L., que la matriculó en España. En diciembre de 1997, con 4.308 h, fue comprada por el Aeroclub de Sabadell para actividades de escuela. Contaba con un seguro y un certificado de aeronavegabilidad válidos y en vigor. En el momento del incidente la aeronave acumulaba 7.312 h totales. Se desconoce el número de aterrizajes y despegues, es decir, de ciclos del tren, ya que durante su operación en el Ejército del Aire y en Asturiana de Aviación estos no se registraron. El Aeroclub de Sabadell tenía recogidos, en cada parte de vuelo, el número de tomas de cada vuelo. Aunque no estaban reflejados en el libro de la aeronave, según el Aeroclub el número de ciclos en el periodo 2003-2012 fue de 4.815.

1.3.1. *Mantenimiento*

El centro de mantenimiento y de gestión de la aeronavegabilidad de la aeronave EC-GGF era el Aeroclub de Sabadell, autorizados como ES.MF.003 y ES.MG.118, respectivamente. La aeronave había sido mantenida de acuerdo a su programa de mantenimiento.

El 13 de abril de 2012, con 7.293 h, la aeronave había pasado la revisión de 100 h. El 28 de octubre de 2011, con 7.241 h, había pasado la revisión de 50 h. Desde la última revisión de 100 horas hasta el incidente, se había realizado otra acción sobre el tren principal izquierdo por pérdida de hidráulico, en la que se cambiaron las juntas tóricas («O» rings), se repuso el nivel de hidráulico y se ajustaron las presiones de los actuadores.

² ATPL («Airline Transport Pilot Licence»): Licencia de piloto de transporte de línea aérea.

Las hojas de mantenimiento del Ejército del Aire y los libros de aeronave no indicaban ninguna acción de mantenimiento especial al tren a excepción de las revisiones periódicas establecidas por el fabricante. El tren de aterrizaje era el original de fábrica.

El programa de inspecciones definido por Piper contiene inspecciones cada 50 y 100 horas, inspecciones especiales por horas de vuelo³, por calendario⁴ y por tipo de operación o entorno⁵ e inspecciones no programadas en función de eventos en la operación⁶. De todas estas inspecciones, las tareas de mantenimiento relacionadas con los elementos del tren dañados en el incidente son las siguientes:

- Cada 50 y 100 h, comprobar la extensión correcta del pistón y fugas de fluido.⁷
- Cada 100 h, inspeccionar el estado y seguridad de las riostras del tren.⁸

No existen inspecciones o revisiones en función de los ciclos del tren ni revisiones generales («overhaul») definidas para el tren. Tampoco existen limitaciones relacionadas con la fatiga en ningún elemento de la aeronave ni sus componentes⁹. Según el mantenedor, sólo en caso de que durante una inspección se hubiese detectado visualmente alguna grieta, se habrían tomado acciones adicionales como por ejemplo una inspección por líquidos penetrantes. Según el centro de mantenimiento, en ninguna de las revisiones anteriores al incidente se detectó ninguna grieta¹⁰ ni nada que hubiese anticipado la rotura.

1.3.2. Carga y centrado

El piloto, como socio del club, había alquilado la aeronave al Aeroclub de Sabadell para realizar un vuelo privado aquel día. Tras el repostaje completo el día anterior al incidente, la aeronave no había realizado ningún vuelo. El cálculo de carga y centrado de la aeronave teniendo en cuenta el último dato del pesado de la aeronave¹¹, el máximo de combustible, 6 personas a bordo de 75 kg cada una y sin equipaje sitúa la posición del centro de gravedad dentro de límites.

³ Cada 400, 500, 1.000, 1.200, 1.500, 2.000 y 2.400 h. En la de 400 h se incluye una acción relacionada con la tijera del tren.

⁴ Cada 7, 30 y 90 días, 4, 6 y 12 meses y 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12 y 20 años.

⁵ Operación en entorno con mucha polución o polvo, operación en ambiente salino o de alta humedad, operación en frío extremo y operación en terreno inusual o blando.

⁶ Sobre-velocidad, turbulencia, toma con sobrepeso o toma dura, impactos leves, extensión de flaps por encima de la velocidad e inmersión en agua.

⁷ Service Manual. Inspection. G. Landing gear group. 1: Check oleo struts for proper extension and evidence of fluid leakage.

⁸ Service Manual. Inspection. G. Landing Gear group. 14: Inspect gear struts, attachments, torque links, retraction links, and bolts for condition and security.

⁹ Piper Aztec Service Manual. I-Airworthiness limitations.

¹⁰ Según el laboratorio, las grietas son difícilmente detectables y habitualmente suelen confundirse con arañazos.

¹¹ Realizado el 30 de noviembre de 2009: peso en vacío de la aeronave 3.442 lb y 92,08 in.

1.3.3. Descripción del tren de aterrizaje

El tren de aterrizaje es retráctil. La estructura del tren se compone, en líneas generales, de tres elementos (figura 2):

- La pata propiamente dicha que consta de un cilindro o riostra («strut assembly»), donde va alojado el pistón («piston tube») que permite la amortiguación durante el aterrizaje, el pistón y el soporte donde va montada la rueda («fork assembly»). El cilindro y el soporte de la rueda están unidos por una tijera («torque link») que permite el movimiento de amortiguación. El pistón entra y sale del cilindro. Durante el aterrizaje, antes de apoyar en el suelo, el pistón está completamente extendido. La retracción del tren principal se realiza hacia delante. En el cilindro se han mecanizado tres salientes donde van unidos:
 - El brazo de arrastre;
 - La tijera que une el cilindro con el soporte de la rueda, y
 - El triángulo de sujeción del brazo de arrastre.

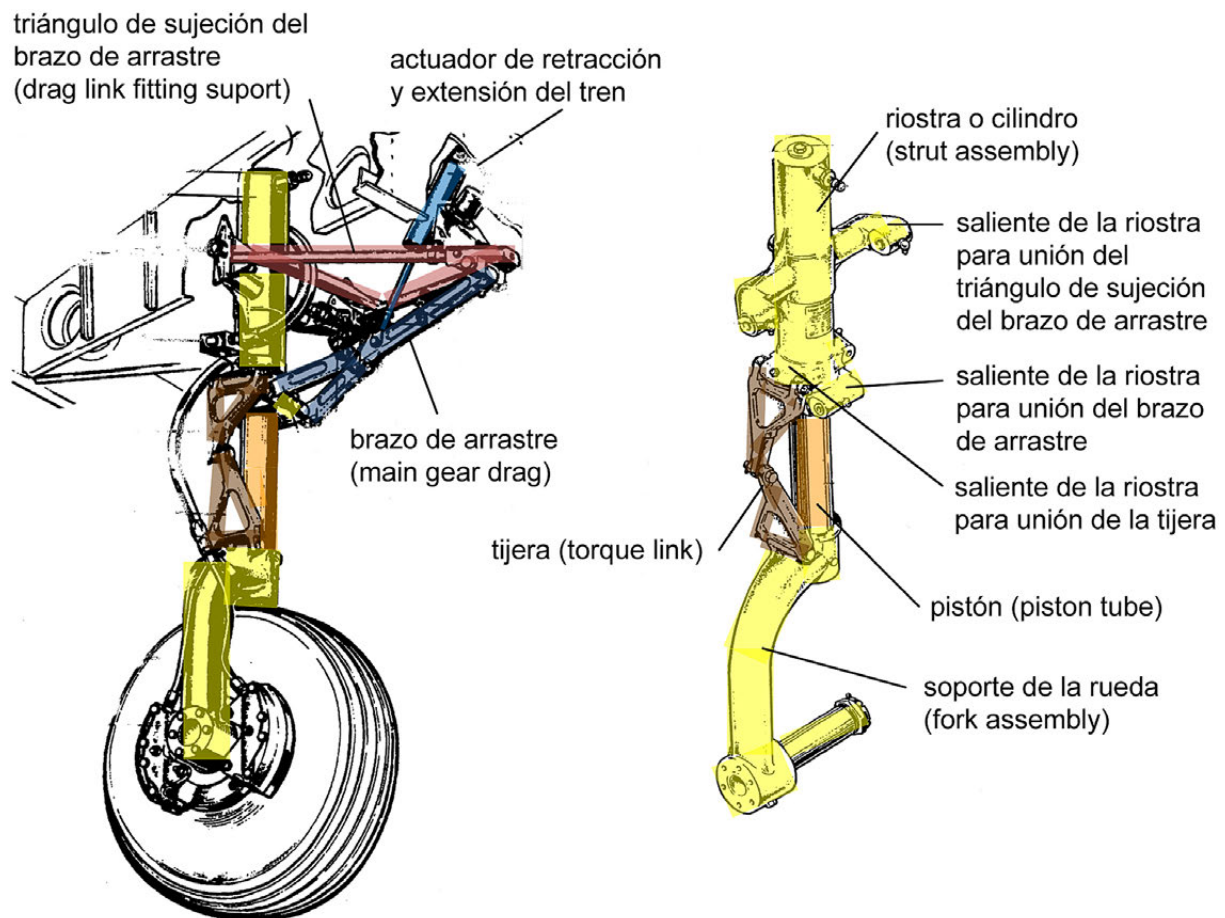


Figura 2. Partes del tren principal (vista del tren izquierdo)

- El brazo de arrastre («main gear drag») es el encargado de retraer, extender y bloquear el tren. El movimiento del brazo lo realiza un actuador. El brazo de arrastre, cuando el tren está extendido, forma un ángulo de aproximadamente 45° respecto de la vertical.
- El triángulo de sujeción del brazo de arrastre («drag link fitting suport»), con el que se une el tren a la aeronave. A él está unido también el brazo de arrastre. El triángulo se sitúa paralelo al suelo cuando el tren esté extendido.

1.4. Información sobre los restos de la aeronave y el impacto

La aeronave contactó con la pista un poco antes del umbral (figura 1). Las primeras huellas que se identificaron fueron las del tren izquierdo. En el tramo recorrido en la pista había marcas dejadas por las palas de la hélice izquierda, una marca longitudinal continua en dirección del desplazamiento al lado de las marcas de la hélice, y marcas del neumático izquierdo. Las marcas del neumático derecho aparecían más adelante y presentaban signos de frenada. La aeronave recorrió aproximadamente 70 m sobre la pista describiendo una trayectoria prácticamente recta en un ángulo de unos 25° hacia la izquierda con respecto al eje de pista. El resto del recorrido también fue prácticamente recto pero en la franja de pista que era de tierra. Las marcas en el terreno mostraban que la aeronave pivotó hacia la izquierda al final del recorrido quedando detenida en rumbo 40° aproximadamente (figura 1).

El plano izquierdo de la aeronave presentaba rozaduras en la parte inferior del mismo cerca del extremo del ala, en concreto, en el último soporte de la bisagra del alerón izquierdo. Esta zona no tenía restos de tierra, lo que indica que este contacto se produjo con la pista. Las puntas de las palas de la hélice izquierda habían sufrido daños por rozamiento con el suelo. El flap izquierdo presentaba daños por deformación al doblarse el tren hacia atrás.

El tren se encontró en la configuración y con las deformaciones y fracturas siguientes (figura 3):

- El brazo de arrastre («main gear drag») estaba en posición de abajo y bloqueado.
- El triángulo de soporte del brazo de arrastre («drag link fitting suport») estaba en posición normal y se mantenía unido a la estructura.
- El refuerzo del triángulo de soporte («reinforcement») se encontraba deformado a causa de que la riostra («main gear strut») había girado, respecto a su posición de abajo y bloqueado, aproximadamente 90° hacia atrás y estaba tocando y deformando este refuerzo.
- La compuerta trasera estaba deformada debido al movimiento hacia atrás de la riostra («main gear strut»).
- La riostra («main gear strut») presentaba grietas y pérdida de material. En concreto, el saliente de unión del brazo de arrastre se había separado por completo de la riostra y estaba unido al brazo de arrastre («main gear drag») (véase apartado 1.5.3).



Figura 3. Tren izquierdo visto desde la punta (izda.) y borde de salida (dcha.) del plano izquierdo

- El soporte de la rueda («fork assembly») había girado 90° hacia la izquierda (mirando hacia delante) respecto al pistón («piston tube») y se encontraba en contacto con el suelo (en la figura 3 se observa la posición perpendicular de la rueda izquierda respecto a la derecha). La parte inferior del soporte de la rueda presentaba una zona donde se había perdido material por rozamiento.
- La tijera inferior («lower torque link») se había separado de la tijera superior («upper torque link») (en la figura 3 se aprecia la tijera inferior).
- El amortiguador había perdido todo el líquido hidráulico.

1.5. Ensayos e investigaciones

1.5.1. Declaración del piloto

El piloto declaró que la aproximación y la toma fueron normales y que a los pocos segundos de contactar con la pista notó que el tren cedía. Había viento pero no era significativo y las condiciones meteorológicas eran buenas. Recuerda que primero tocó el tren derecho, luego el izquierdo y por último el de morro. Tras notar que el tren se metía, decidió irse hacia la izquierda para evitar que saltaran chispas, pensando que la hierba era mejor que el asfalto.

1.5.2. Declaraciones de testigos

La toma fue vista por tres testigos: un piloto de remolcador, un instructor y un piloto de ULM que estaba esperando para despegar. Los tres coincidieron en que la toma fue muy dura y que el tren colapsó en el momento de la toma.

1.5.3. Estudio de las fracturas

La riostra del tren principal y el fragmento del mismo que se había desprendido y quedado unido al brazo de arrastre, se enviaron a un laboratorio para su estudio. Las fracturas se identificaron de la forma siguiente (figura 4):

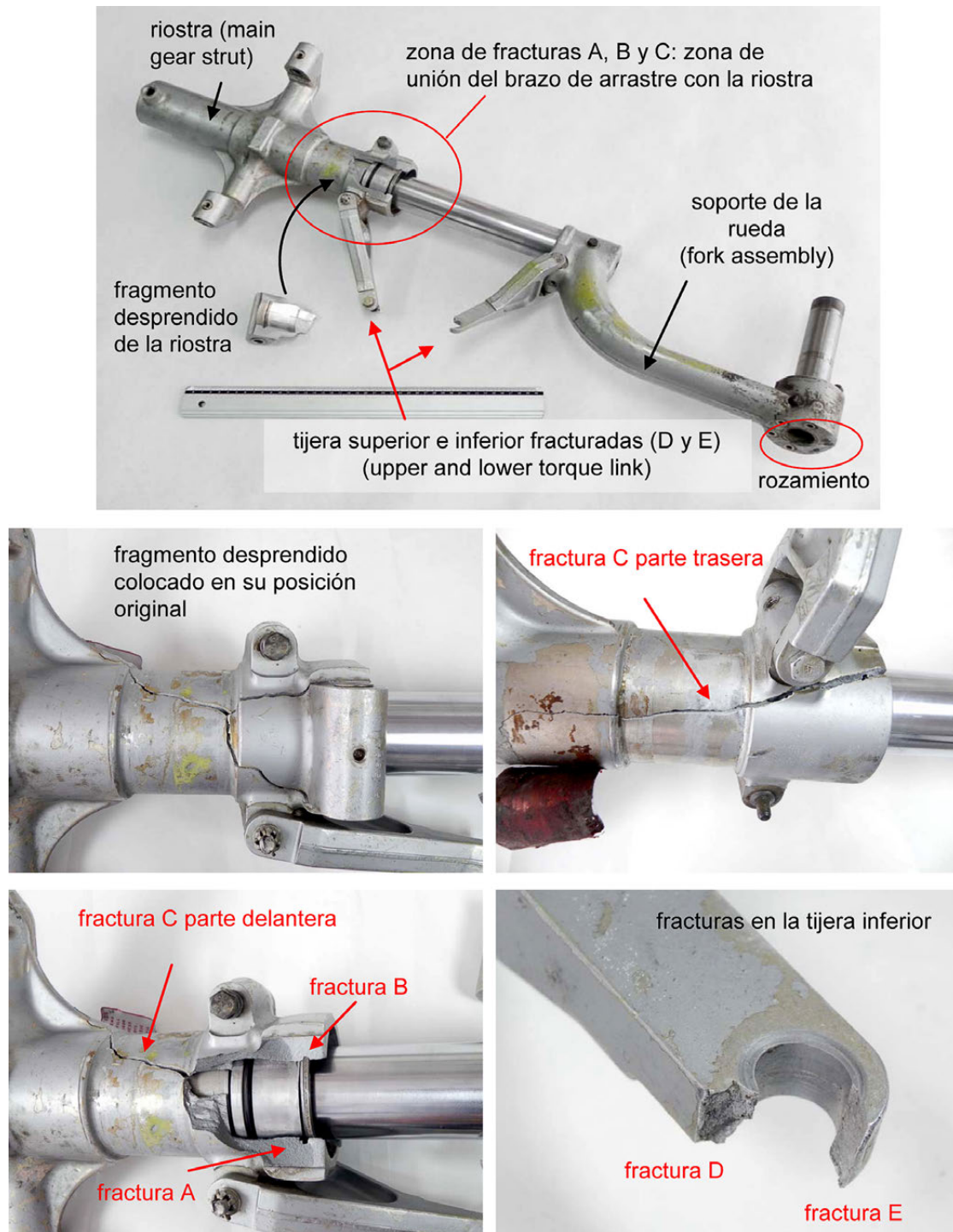


Figura 4. Fracturas en el tren principal izquierdo de la aeronave EC-GGF

- Dos fracturas (A y B) en la riostra o cilindro que habían conseguido separar completamente el saliente donde se une con el brazo de arrastre.
- Las fracturas A y B se unían en un punto a partir del cual continuaba otra fractura C que llegaba hasta el lado opuesto de la riostra.
- La tijera presentaba otras dos fracturas en la zona de la articulación de la tijera inferior (fracturas D y E).

Los análisis permitieron descartar defectos o heterogeneidades microestructurales en la zona de inicio del fallo que pudieran haber originado la rotura en el material.

Los estudios de las fracturas determinaron que las fracturas A y B se iniciaron de manera conjunta y fueron las fracturas principales. Las otras tres (C, D y E) se produjeron como consecuencia de las dos primeras.

Las fracturas A y B (figura 5) se iniciaron en la superficie exterior de la pieza por un mecanismo de fatiga incubado en la zona de transición entre el cuerpo cilíndrico de la riostra y el saliente para la unión con el brazo de arrastre. Las superficies iniciales de fractura se encontraban oxidadas, lo que indica que la aeronave operó durante tiempo con estas grietas en el tren. La oxidación no permitió identificar caracteres fractográficos en el inicio del fallo que indiquen un posible inicio por un mecanismo diferente a la fatiga y que hubiese podido contribuir al inicio de las grietas por fatiga. En cualquier caso, la presencia de varias microgrietas próximas a la fractura, con características típicas de un mecanismo de fatiga y la ausencia de defectos en el material, indicaba que la grieta principal se inició, también, por un mecanismo de fatiga.

Tanto las microgrietas como las fracturas se habían iniciado en lugares donde la geometría de la pieza, con cambios de sección, provocaba una gran concentración de tensiones.

El laboratorio no pudo determinar si el debilitamiento que produjeron las grietas fue suficiente para la rotura durante un aterrizaje en condiciones normales, pero se puede



Figura 5. Detalle fracturas A y B

asegurar que el agrietamiento hubiese seguido avanzando hasta provocar el fallo completo del tren con esfuerzos normales. Visualmente no era posible detectar la presencia de la grieta a simple vista. En muchas ocasiones, este tipo de fracturas se confunden con arañazos. La única forma de detectarlos es mediante ensayos no destructivos como líquidos penetrantes. Tras la recepción de los resultados del laboratorio, se realizó una inspección por líquidos penetrantes al tren derecho de la aeronave EC-GGF, en la cual no se detectó ninguna grieta por fatiga.

1.5.4. *Antecedentes*

El fabricante no tenía antecedentes de fallos por fatiga similares al ocurrido a la aeronave EC-GGF. En la base de datos FAA SDR («Service Difficulty Reports»), que es una base de datos mantenida desde el año 1995, en la que los operadores reportan las incidencias, sólo había un caso reportado de rotura del brazo de arrastre inferior respecto al superior por una toma dura. No había signos de fatiga.

2. ANÁLISIS

2.1. Análisis del aterrizaje

El análisis de las marcas en la pista, la trayectoria seguida durante el recorrido de aterrizaje, los daños en la aeronave, las declaraciones de testigos cualificados y la declaración del piloto han permitido obtener las siguientes conclusiones:

- El tren estaba abajo y bloqueado.
- La toma se produjo con alabeo a la izquierda.
- No se ha podido confirmar, en función de las roturas, si la toma fue dura.
- El tren colapsó tras la toma.

El tren principal derecho y de morro se encontraban en la posición de abajo y bloqueado, tal y como se confirmó al quedar la aeronave perfectamente apoyada sobre éstos una vez se detuvo. La posición del tren principal izquierdo era también de abajo y bloqueado antes de la toma, como se ha comprobado a través de la posición del brazo de arrastre. Por lo tanto, se descarta cualquier situación de transición del tren izquierdo que hubiese podido contribuir al fallo.

La toma se debió producir con alabeo hacia la izquierda, ya que el rozamiento que existía en el último soporte de la bisagra del alerón izquierdo sólo se pudo generar con una inclinación del plano hacia ese lado. Seguramente este impacto se produjo en los primeros momentos de la toma. Las marcas de rozamiento del soporte estaban limpias y brillantes, por lo que se debieron producir con el asfalto de la pista.

Aunque según el piloto la toma fue normal, los tres testigos coincidieron en que ésta fue muy dura. Este aspecto no se ha podido confirmar con el análisis de las roturas ni con las huellas dejadas en la pista. La energía necesaria para provocar la rotura estructural de un tren de aterrizaje en perfectas condiciones sería alta y, lo más probable, es que hubiese provocado dolencias en las personas a bordo. A pesar de que ninguno de los pasajeros se quejó de dolores, este dato no descarta la toma dura, ya que los esfuerzos necesarios para colapsar un tren que tenía iniciado un proceso de fatiga serían mucho menores que los necesarios en un tren en perfecto estado.

Las huellas en la pista dejadas por la hélice izquierda, el neumático y la marca continua producida por el soporte del neumático indican que el tren izquierdo se plegó en la toma de contacto. Para que se produzca el contacto de la hélice con la pista, es necesario que la distancia del plano al suelo lo permita, y esto sólo se produce en el caso de que el tren no mantenga su posición normal. Además, la falta de material en la parte inferior del soporte de la rueda, con marcas evidentes de rozamiento sobre el asfalto, indicaban que éste se tuvo que producir en la pista. Para que esta zona estuviese en contacto con el asfalto, es necesario que el conjunto de la rueda haya girado hacia la izquierda y la riostra se haya desplazado hacia atrás. Es decir, estos daños confirman que la rotura del tren se produjo en los momentos siguientes a la toma de contacto.

En el momento de la toma, la velocidad, la existencia de una cierta sustentación y la aplicación de los frenos sobre el tren derecho por parte del piloto, hicieron posible compensar la resistencia generada por el tren al doblarse, que, además al estar relativamente cerca del eje longitudinal del avión, no debió generar un momento de guiñada excesivamente elevado. La trayectoria de la aeronave se mantuvo relativamente rectilínea hasta que al final, con la aeronave prácticamente detenida, se produjo el giro sobre el tren izquierdo y la aeronave quedó en su posición final.

Las condiciones meteorológicas no se consideran de influencia en el incidente.

2.2. Análisis de la rotura del tren principal izquierdo

En función de los análisis de las fracturas, la geometría de los elementos del tren y la configuración de los mismos durante el aterrizaje, se valoran los siguientes aspectos:

- El origen de las grietas por fatiga en la riostra, descartando problemas en el dimensionamiento del tren o defectos introducidos en el proceso de fabricación.
- La secuencia de roturas en el tren y la contribución de la toma dura, no confirmada, acelerando el problema de fatiga ya existente, pero no como causa de la rotura.
- La zona de la riostra donde se ha producido la fatiga en cuanto a que es una zona de alta concentración de esfuerzos debido a la geometría de máxima extensión del

pistón respecto a la riostra en los aterrizajes, el ángulo de inclinación de todo el conjunto respecto a la vertical durante la toma y el cambio de sección en la pieza.

El inicio de la rotura del tren se produjo en el saliente de la riostra («strut») en el que se unía el brazo de arrastre, en concreto, en el fragmento que quedó desprendido de la riostra. Los esfuerzos cíclicos que se generan en las operaciones de aterrizaje debieron provocar la incubación de grietas de fatiga en esa zona. A medida que crecieron las grietas, se fue debilitando la sección resistente de la pieza y, por lo tanto, aumentando la concentración de esfuerzos, hasta que se sobrepasó la resistencia del material en esta zona y se produjo el fallo completo de la pieza.

La ausencia de defectos encontrados en el material y el elevado tiempo en el que el tren había estado operando (desde su fabricación en el año 1972), hacen descartar defectos de diseño o de fabricación en el tren que, seguramente, se habrían puesto de manifiesto mucho antes. Es decir, se descartan un mal dimensionamiento del tren para soportar los esfuerzos a los que está sometido y la existencia de defectos introducidos en la fabricación del mismo que haya debilitado la estructura. Se considera más probable, en este fallo, la contribución del elevado número de ciclos y la falta de una revisión general del tren.

El hecho de que las fracturas iniciales presentasen oxidación en la zona de inicio, confirma que el proceso de fatiga existía desde hacía tiempo pero no se ha podido determinar el periodo de tiempo con el que la aeronave estuvo operando con este problema. Las grietas no eran visualmente detectables con las revisiones de mantenimiento existentes, ya que este tipo de defectos precisan métodos como el de líquidos penetrantes.

Una vez que las fracturas iniciales A y B (apartado 1.5.3, figuras 4 y 5) crecieron tanto que provocaron la separación del saliente de la riostra, se desarrolló la fractura C, continuación de la unión de estas dos hacia la parte opuesta de la riostra y, como consecuencia, la tijera se fracturó. El inicio de las fracturas A y B se produjo tiempo atrás pero, evidentemente, la evolución de las fracturas A y B hasta unirse y desprender el trozo de riostra, así como las fracturas C, D y E, se desarrollaron de forma instantánea en el momento de la toma. No se ha podido determinar si el colapso total de la pieza se produjo como consecuencia de que las grietas habían alcanzado ya su tamaño crítico (a partir del cual la pieza rompe) y, por lo tanto, incluso con una toma normal la pieza hubiese roto igualmente. Los tres testigos del incidente, a los que se considera cualificados, coincidieron en que la toma fue dura, con lo cual, si este fue el caso, la contribución de la toma al fallo del tren fue únicamente como acelerador del proceso de desarrollo de una fractura ya existente. Es decir, la rotura del tren se habría producido igualmente con el tiempo, y la toma dura, si la hubo, no fue el causante, sino el acelerador.

En cuanto a la geometría de esfuerzos en el aterrizaje hay que considerar, por un lado, la posición relativa del pistón respecto a la riostra antes de la toma y, por otro, la posición del conjunto respecto a la vertical.

Las tomas se realizan con el pistón del amortiguador en su posición de máxima extensión y con un cierto ángulo de inclinación de la riostra respecto a la vertical como consecuencia de la posición de la aeronave durante la recogida. Es decir, el eje de la riostra cuando apoya en el suelo no está completamente perpendicular al suelo. Cuando el peso de la aeronave se apoya en el tren, el pistón se mete dentro de la riostra, generando un movimiento de traslación de uno respecto del otro manteniendo cierta inclinación respecto a la vertical. Las roturas por fatiga se han iniciado en la zona inferior delantera de la riostra, es decir, la orientada en la dirección de aterrizaje: en el punto de «palanca» del pistón respecto de la riostra. Al estar el pistón extendido, el brazo es mayor y hace que esa zona esté más sometida a tensiones.

Además de la geometría de fuerzas en la zona inferior delantera de la riostra durante el aterrizaje, se añade que en esta zona la riostra presenta un cambio de sección para alojar la unión con el brazo de arrastre. Es decir, objetivamente, es una zona especialmente crítica en cuanto a acumulación de esfuerzos durante la toma.

2.3. Análisis del mantenimiento realizado al tren

El tren de aterrizaje llevaba operativo 40 años, los mismos que la aeronave. Desde su fabricación no se había cambiado ni había estado sometido a ninguna revisión general («overhaul») por no estar contemplado por el fabricante dentro de su programa de mantenimiento.

Las revisiones de mantenimiento se establecen por horas, exclusivamente, sin tener en cuenta los ciclos. A pesar de que se conocen los ciclos del tren durante los 8 años previos al incidente, no es posible conocer el número de ciclos total ya que los propietarios previos no registraron este dato. En cualquier caso, la equiparación de horas de vuelo a ciclos está muy alejada de la realidad en el caso de aeronaves dedicadas a entrenamiento, ya que el número de tomas y despegues por hora de vuelo está en una relación superior al 1:1. La actividad de escuela además, propicia una mayor exposición a las tomas duras debido a la naturaleza de la actividad. Las aeronaves son operadas por distintos tipos de alumnos, lo que supone una operación más heterogénea que las aeronaves operadas por un solo piloto, por ejemplo.

Es decir, el tren en el que se produjo un fallo por fatiga era un tren que lleva 40 años de operación, en el que los últimos 15 años había realizado vuelos de escuela, con una mayor probabilidad a sufrir tomas duras y a ser operado de una forma no homogénea y sin revisiones generales («overhaul») realizadas.

La última revisión de la aeronave fue de 100 h y se hizo poco antes del incidente. En ella no se detectó, según el mantenedor, ninguna grieta en la estructura. El piloto, en la revisión prevuelo en la que también se hace una revisión visual al tren, tampoco vio

ninguna fractura en el tren. Las revisiones de mantenimiento establecidas por el fabricante no contienen ninguna acción específica para detectar grietas de fatiga, que por otra parte, son difíciles de detectar visualmente.

El problema se reportó al fabricante y a la vista de que en toda la población de aeronaves de este tipo, este incidente, ha sido el único en presentar problemas de fatiga, se ha desestimado la emisión de una recomendación para modificar el programa de mantenimiento.

3. CONCLUSIONES

3.1. Conclusiones

- El piloto y la aeronave eran aptos para realizar el vuelo.
- Las condiciones meteorológicas no eran significativas y no se consideran de influencia en el incidente.
- El piloto tenía muy poca experiencia: 202 h totales y 35 en el tipo.
- Los cálculos de peso y centrado, con los tanques llenos de combustible, seis personas a bordo y sin equipaje, situaban el centro de gravedad dentro de límites.
- El piloto realizó la toma antes del umbral y probablemente con alabeo a la izquierda.
- El tren estaba abajo y bloqueado antes de la toma.
- No se ha podido confirmar si la toma fue dura, pero si la hubo, sólo aceleró un proceso de fallo por fatiga ya existente en el tren.
- El tren colapsó tras la toma. La rotura inicial fue la de la riostra en el saliente de unión con el brazo de arrastre.
- La riostra se rompió por un proceso de fatiga desarrollado en el saliente de unión con el brazo de arrastre.
- El proceso de fatiga no era detectable visualmente.
- La zona de la riostra donde se produjo la fatiga es una zona de alta concentración de esfuerzos debido a la geometría de máxima extensión del pistón respecto a la riostra en los aterrizajes, el ángulo de inclinación de todo el conjunto respecto a la vertical durante la toma y el cambio de sección en la pieza.
- No había defectos o heterogeneidades microestructurales en la zona de inicio del fallo.
- Se descartan problemas en el dimensionamiento del tren o defectos introducidos en el proceso de fabricación del mismo.
- El tren estaba operativo desde hacía 40 años y los últimos 15 años había estado dedicado a escuela.
- El tren de aterrizaje estaba mantenido de acuerdo al programa de mantenimiento.
- El mantenimiento del fabricante no incluye ninguna revisión general, ni específica en la zona donde se produjo la fatiga, ni mantenimiento por ciclos. La última revisión de 100 h se realizó hacía menos de 2 meses y no se detectó ninguna grieta al tren.

3.2. Causas

El incidente de la aeronave EC-GGF se produjo por la rotura del tren principal izquierdo debido a la existencia de un proceso de fatiga en el saliente de la riostra en el que se une el brazo de arrastre. La rotura se produjo en una zona donde la concentración de esfuerzos es elevada por la propia geometría y configuración del conjunto riostra-pistón durante las tomas y por el cambio de sección de la pieza en esa zona.

Se consideran factores causales en la aparición de fatiga:

- Inexistencia de inspecciones específicas para detección de grietas por fatiga en la zona donde se produjo la rotura.
- El elevado número de ciclos y años de operación (40 años).
- Alta sollicitación al tren de aterrizaje por estar dedicado a actividades de escuela durante los últimos 15 años.
- Inexistencia de un mantenimiento por ciclos y de revisiones generales para el tren.

