

RESUMEN DE DATOS
LOCALIZACIÓN

Fecha y hora	Jueves, 21 de julio de 2011; 10:01 h UTC
Lugar	Aeropuerto de Ibiza (Illes Balears)

AERONAVE

Matrícula	G-GDFC
Tipo y modelo	BOEING B-737-800 S/N: 28375
Explotador	JET2.COM

Motores

Tipo y modelo	CFM56-7B
Número	2

TRIPULACIÓN

	Piloto al mando	Copiloto
Edad	42 años	28 años
Licencia	Piloto transporte de línea aérea	Piloto transporte de línea aérea
Total horas de vuelo	10.900 h	3.086 h
Horas de vuelo en el tipo	250 h	687 h
Horas en últimos 3 meses	150 h	161 h

LESIONES

	Muertos	Graves	Leves/ilesos
Tripulación			6
Pasajeros			180
Otras personas			

DAÑOS

Aeronave	Daños internos en el motor afectado
Otros daños	Ninguno

DATOS DEL VUELO

Tipo de operación	Transporte aéreo comercial – No regular – Internacional – Pasajeros
Fase del vuelo	Despegue

INFORME

Fecha de aprobación	31 de mayo de 2012
---------------------	--------------------

1. INFORMACIÓN SOBRE LOS HECHOS

1.1. Reseña del vuelo

La aeronave Boeing 737-800, G-GDFC, despegaba el 21 de julio de 2011, a las 10:01 UTC, por la pista 06 del Aeropuerto de Ibiza para realizar el vuelo comercial EXS170 con destino Manchester. A bordo iban 180 pasajeros con una tripulación de 6 personas. El tiempo atmosférico era bueno, con vientos flojos, buena visibilidad y ausencia de nubes. La temperatura exterior era de 27 °C en superficie. Para este vuelo el piloto a los mandos (PF) era el copiloto.

Tras una carrera de despegue normal, cuando el avión estaba ya en el aire, unos segundos después de despegarse las ruedas del suelo, se produjeron repetidas detonaciones en el motor derecho que se escucharon dentro y fuera del avión. Desde la torre de Ibiza se observaron llamaradas por la tobera de salida de ese motor.

Tras la primera detonación fuerte la tripulación tuvo la impresión de que había reventado una rueda del tren de aterrizaje, interrumpiendo la recogida del tren; pero 26 segundos más tarde se dieron cuenta de que había habido fallo del motor número 2. Subieron entonces el tren de aterrizaje y continuaron el ascenso con los dos motores funcionando a la vez que viraban a rumbo 100°.

En ese momento la aeronave emitió una llamada de emergencia (MAYDAY, MAYDAY, MAYDAY) a torre de Ibiza informando de la naturaleza de ésta. Unos 50 segundos más tarde, cuando las vibraciones de la turbina de alta aumentaban y la temperatura de los gases del escape, EGT (Exhaust Gas Temperature) se salía de límites ligeramente, la tripulación decidió cortar gases en el motor derecho (n.º 2) y parar el motor.

Habiendo sobrepasado la altura de aceleración establecida en el procedimiento de fallo de motor (1.000 ft) decidieron ascender y mantener 3.000 ft (MSA² en la zona) estableciendo un régimen máximo continuo en el motor operativo. Próximos a esta altura en comunicación radio informaron de que no observaban fuego y solicitaron un área para hacer esperas y realizar diversas comprobaciones.

Tras el cambio de frecuencia a control de aproximación de Palma de Mallorca, comunicaron su intención de proceder hacia Palma de Mallorca, que dista unas 75 NM de Ibiza. En el briefing antes de despegue la tripulación había establecido que en caso de emergencia virarían por la derecha para evitar núcleos de población y procederían a Palma al reunir las mejores condiciones por proximidad y por su disposición de dos pistas paralelas con bastante longitud.

¹ Todas las referencias horarias en este informe se expresan en tiempos UTC, (Tiempo Universal Coordinado). Para calcular la hora local de deben añadirse dos horas a la expresada en cada momento.

² MSA: Minimum Safe Altitude.

Control de aproximación les autorizó rumbo directo al punto MJV, donde está publicada la espera en los procedimientos establecidos en Palma. La tripulación, manteniendo 3.000 ft de altura, retrajo los flaps estableciendo el avión con configuración limpia y una velocidad de 230 kt.

En ese momento realizaron el procedimiento de la lista de comprobación de referencia rápida (QRH) «Engine Severe Damage or Separation». Aunque ese procedimiento les indica que procedan al aeropuerto más cercano, el comandante, analizando la situación y viendo que estaban casi equidistantes del aeropuerto de Palma, mantuvo su decisión procediendo a la vertical del VOR MJV.

Comunicaron la situación a la tripulación auxiliar que informó, a su vez, que los pasajeros habían visto las llamaradas en el motor n.º 2. Esta información corroboró la decisión de la tripulación de no intentar una puesta en marcha en vuelo.

En contacto radio con aproximación de Palma la tripulación informó de la condición del avión y motor, el número de personas a bordo y su requerimiento de servicios de emergencia en tierra para comprobar el estado del motor.

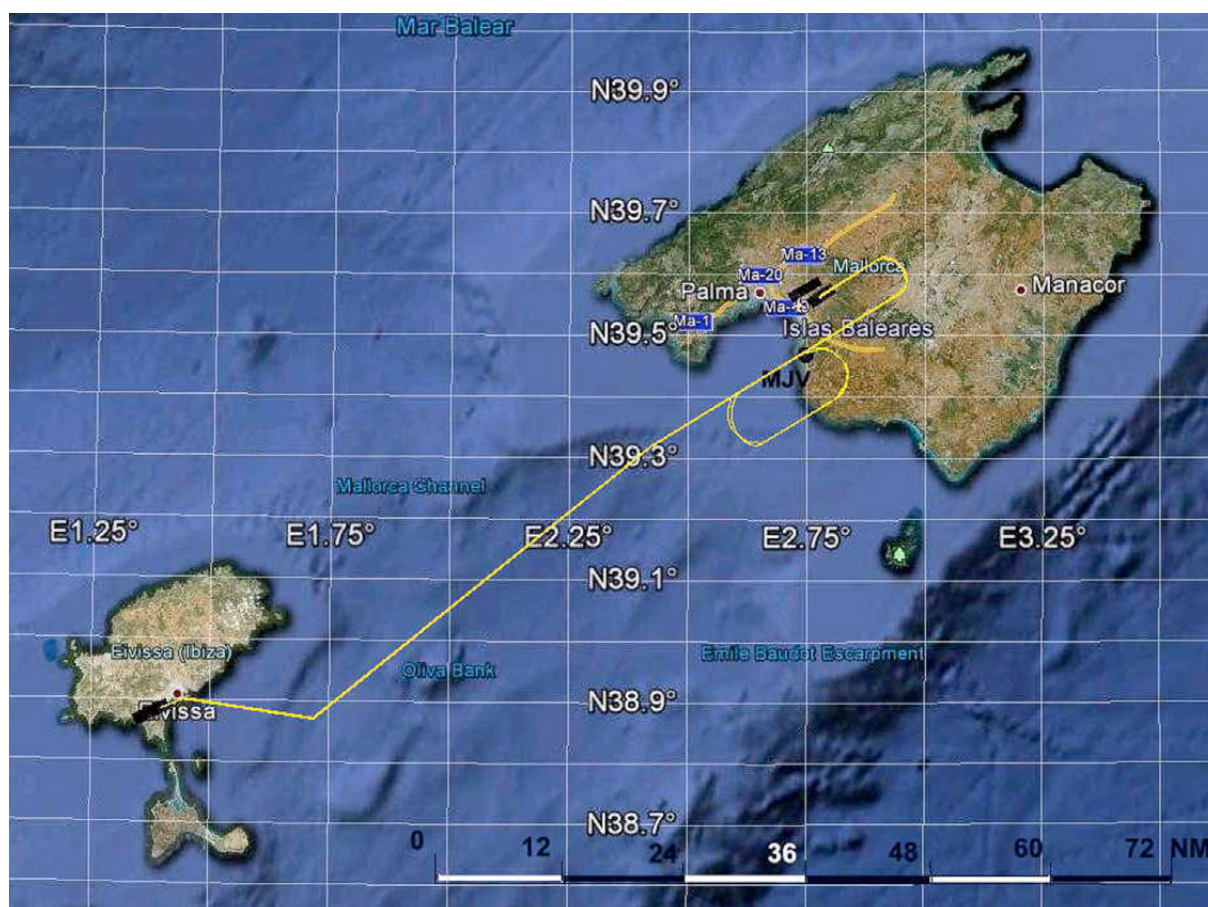


Figura 1. Trayectoria del vuelo EXS170

A las 10:11 h, una vez programado el navegador para Palma como su nuevo destino, establecieron su posición a 36 NM del VOR MJV y consideraron que el sobrepeso en ese momento era de 1.300 kg.

Dos minutos más tarde control de aproximación de Palma les confirmó los datos del campo: pista en servicio la 24L, viento de 220° y 10 kt con rachas de 15, temperatura de 28 °C, QNH de 1.012 hPa y la visibilidad ilimitada. La tripulación realizó entonces un briefing tratando las características de la maniobra de espera en MJV.

A las 10:14 h fueron transferidos a la frecuencia de aproximación final de Palma , donde informaron de su intención de hacer esperas en MJV y confirmaron que la pista 24L era conveniente para sus intenciones.

A continuación la tripulación confirmó sus funciones de piloto a los mandos (copiloto) y piloto de monitorización (comandante), y realizaron un briefing completo sobre la maniobra de aproximación a realizar y la eventualidad de realizar una aproximación frustrada.

La tripulación auxiliar había sido informada a los cinco minutos y medio de producirse la avería y después otra vez, a los 14 minutos, recibiendo instrucciones para el aterrizaje. A continuación el comandante, directamente por la megafonía, informaba al pasaje, el cual ya conocía de alguna manera la situación, pues había oído las detonaciones y había visto por las ventanillas del lado derecho las llamaradas, mientras les atendía la tripulación auxiliar.

Se hizo en Palma una aproximación estabilizada y una toma de tierra suave por la pista 24 L, finalizando un vuelo que había durado unos 40 minutos.

La aeronave abandonó la pista normalmente y a continuación se detuvo, momentáneamente, en la calle de rodaje, para que los servicios contra incendios inspeccionaran el motor derecho. Anteriormente, a través de la Torre se había alertado al Servicio contraincendios y se les había indicado, para que adoptasen sus precauciones, dado que el motor izquierdo se mantendría en funcionamiento.

Una vez confirmado que no había fuego en el motor derecho, la aeronave continuó la rodadura por sus propios medios hasta su aparcamiento, escoltado por los vehículos de los bomberos, donde el pasaje desembarcó normalmente.

No se produjeron heridos a bordo ni daños en la aeronave aparte de los propios debidos a la avería en el motor.

La investigación técnica tras el evento determinó que el fallo del motor se produjo como consecuencia del deterioro total del cojinete n.º 4.

1.2. Información sobre la aeronave

El Boieng 737-800 puede transportar entre 162 y 189 pasajeros. La aeronave del incidente, tenía una configuración de cabina de pasajeros de 189 asientos.

1.2.1. Célula

Marca:	Boeing
Modelo:	Boeing B-737-800
Núm. de fabricación:	S/N: 28375
Matrícula:	G-GDFC
Certificado de aeronavegabilidad:	ARC ref. 275929 emitido el 16/11/2011 CAA de Holanda
Válido hasta:	03/12/2011
MTOW:	76.999 kg
MLW:	66.360 kg
Horas totales de vuelo:	47.494:33 h
Ciclos totales:	18.017 ciclos

1.2.2. Motores

	Motor #1, LH	Motor #2, RH
Marca:	CFM International	CFM International
Modelo:	CFM56-7B26	CFM56-7B26
Número de serie:	875224	875201
Horas totales:	42.719:20 h	41.480:11 h
Ciclos totales:	15.753	15.665
Fecha Shop Visit:	23/11/2010	19/10/2010
Horas desde SV:	1.117:14 h	1.288 h
Ciclos desde SV:	452	500

1.2.3. Hoja de carga y centrado

La hoja de carga que se confeccionó antes de la salida del vuelo EXS170 declara:

- Número de pasajeros: 182
- Peso al despegue: 68.296 kg
- Peso Máximo de aterrizaje: 66.360 kg

En los cambios de último minuto se refleja la ausencia de dos pasajeros que no se presentan al vuelo con una variación de peso estimado de 158 kg.

Por lo tanto, el avión despegó finalmente con 180 pasajeros y un peso al despegue de 68.138 kg.

1.2.4. *Limitaciones de motor*

En el manual de vuelo del avión se indican las siguientes limitaciones del motor CFM56-7B:

- Max. N1, a potencia de despegue durante 5 minutos: 5.382 rpm, 104%
- Max. N2, a potencia de despegue: 15.183 rpm, 105%
- Max. EGT, a potencia de despegue: 950 °C
- Máx. EGT continuo: 925 °C

1.2.5. *Particularidades del diseño del motor CFM56-7B*

El motor CFM56-B7 es un turbofán, de doble carrete y alta relación de derivación.

El carrete de baja, (coloreado de azul en el esquema de la figura 2), comprende el fan de una sola etapa, el compresor de baja (LPC) de tres etapas y en el extremo posterior, la turbina de baja (LPT), de cuatro etapas. El eje de este carrete se apoya en tres cojinetes: dos en la zona de fan, cojinetes #1 y #2; y en el cojinete posterior #5 de la zona de turbina.

El carrete de alta, (coloreado de rojo en el esquema de la figura 2), lo conforma un eje concéntrico con el eje del primer carrete de baja, en el que se ensambla un compresor de alta (HPC) de nueve etapas y una turbina de alta (HPT) de una sola etapa. El eje del carrete de alta se soporta en los cojinetes #3, situado en la zona de fan, y el cojinete #4, situado en la zona de turbina. El cojinete #4 está montado entre los dos ejes; tiene una pista interior, solidaria con el eje de baja y una pista exterior montada en el eje de alta. Entre ambas pistas, se mueve una empaquetadura de rodillos dispuestos en una jaula que los guía y separa.

La jaula está formada por dos raíles unidos por espaciadores o montantes de separación de los rodillos.

Las revoluciones del carrete de alta, N2, están controladas por el MEC («Main Engine Control»), que regula el flujo de combustible para cada régimen de motor. Las revoluciones del carrete de baja, N1, están controladas por el EEC (Electronic Engine Control) que vía la HMU (Unidad de Control Hidrodinámico) regula el caudal de combustible para alcanzar las revoluciones de N1 fijadas como objetivo, al tiempo que continuamente comprueba que la limitación de alta velocidad del carrete de alta no se exceda.

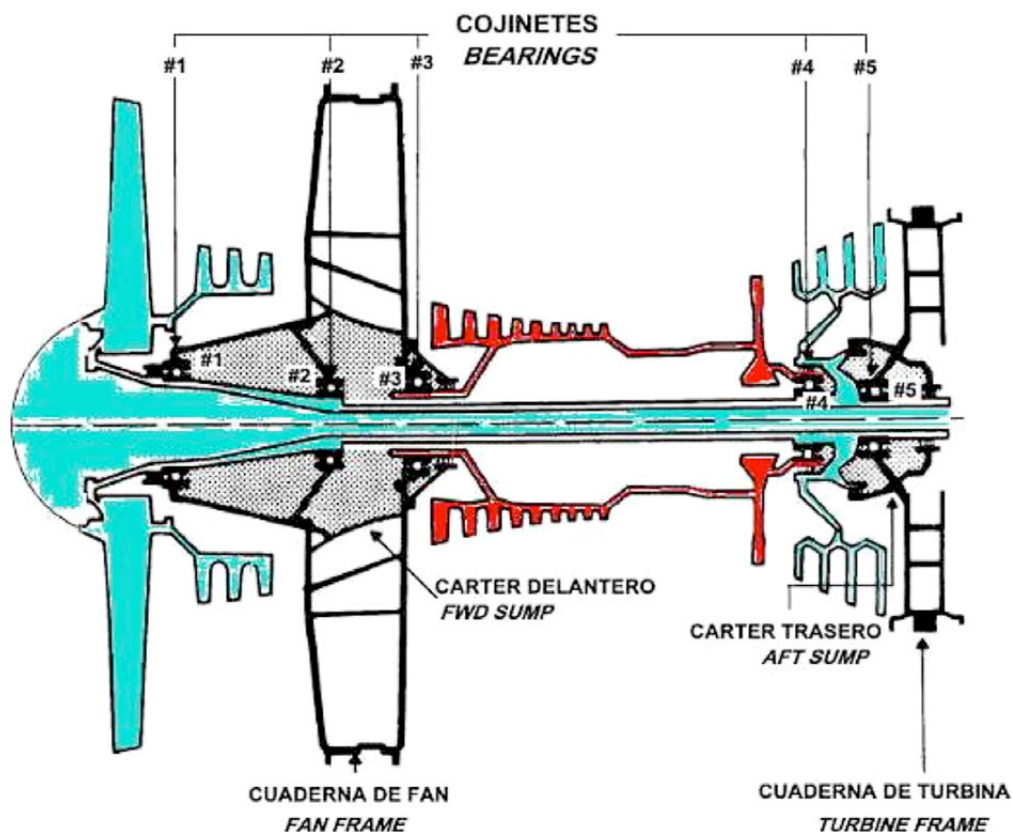


Figura 2. Disposición del motor: azul – carrete de baja; N1. Rojo – carrete de alta; N2. Negro – parte fija –soporte–, no rotante

Interrupciones del flujo de aire o incorrectos ajustes en las revoluciones de los dos carretes del motor, pueden producir pérdidas de compresor o «stall» que bloquean el paso del aire del flujo primario del motor.

Los cojinetes #1, #2 y #3, se encuentran dentro de un mismo cárter de aceite o sumidero, situado en la zona de fan. Los cojinetes #4 y #5 se alojan dentro de un cárter o sumidero en la zona de turbina.

Los cojinetes se lubrican y enfrían por chorros de aceite inyectados sobre sus elementos rotatorios (bolas o rodillos dependiendo de la posición del cojinete). El aceite de lubricación se recoge en los cárteres o sumideros y se retorna a una unidad de lubricación, donde se filtra, se enfría en unos intercambiadores de calor de aceite/fuel y se vuelve a impulsar hacia los cojinetes.

Dentro de los cárteres se separa el aire del aceite mediante separadores centrífugos.

Los cárteres tienen un doble sellado con juntas de laberinto en sus interfaces con los ejes. Entre ambos sellos se insufla aire a presión que ventila el cárter por el sello de aire

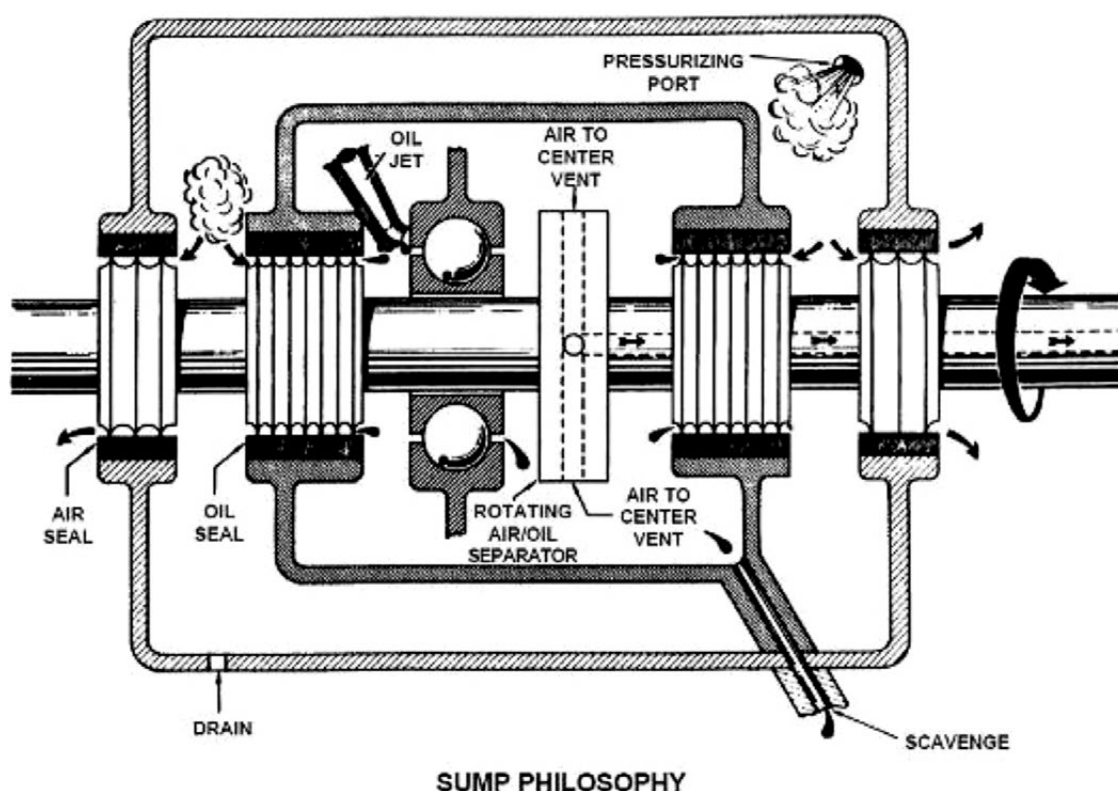


Figura 3. Sellado de los cárteres

hacia el exterior. La presurización impide la salida del aceite del cárter, mientras el aire transita por el interior del eje y se descarga al exterior por la tobera de salida.

En la misma unidad de lubricación se encuentran tres MCD (Magnetic Chip Detector, o tapones magnéticos con filtros para detección de virutas y partículas magnéticas, o no magnéticas). Un MCD protege la línea de retorno del sumidero o carter delantero, otro, la línea de retorno del sumidero trasero, y un tercer MCD protege la línea de retorno de aceite de la AGB (Accessory Gear Box).

1.2.5.1. Particularidades del cojinete #4

El cojinete #4 está sometido principalmente a las cargas de inercia del conjunto de discos de turbina de alta, y a los desequilibrios radiales de las cargas aerodinámicas en la turbina, y al mismo tiempo, a las relativamente altas temperaturas que se registran en esas áreas. En el diseño y en la fabricación de las pistas y rodillos de ese rodamiento se emplean aceros especiales de alta dureza y capacidad de resistencia a la compresión, a las temperaturas altas y a la fatiga. No obstante, desde la entrada en servicio de ese tipo de motor se han registrado fallos del cojinete #4, ocasionados principalmente por el «spalling», escamación o desconchado de la superficie de

contacto de los rodillos con la pista exterior de ese rodamiento. En el punto siguiente se recogen detalles de la evolución de esos diseños en cuanto a los materiales y datos de fiabilidad y calidad.

1.2.5.2. Historial del rodamiento o cojinete #4

Desde la entrada en servicio de este tipo de motor se ha cambiado varias veces la especificación de los materiales empleados en la fabricación de los componentes del cojinete, persiguiendo el objetivo de mejorar su fiabilidad.

Desde el año 1998 hasta 2010 se ha experimentado una reducción de las tasas de fallos conjunta de IFSD (Parada de motor en vuelo, inflight shut down) y de UER (Desmontajes de motor no programado, unscheduled, engine removal), que han descendido, desde valores próximos a 4, hasta 0,52 fallos por millón de horas de vuelo de motor.

En los doce meses anteriores al evento de este incidente se registraron 10 eventos de IFSD y UER, de ellos 8 correspondieron a motores que habían pasado por taller y 2 a motores de primera instalación.

Aprecia el fabricante que la introducción del material mejorado influyó significativamente en la reducción de las tasas de fallos, en la que también contribuyeron otras medidas coadyuvantes.

Del análisis de los cojinetes #4 que experimentaron fallos, el fabricante del motor aprecia que, los fallos fueron inducidos en un 30% de los casos por errores en el ensamblaje de los cojinetes y motores, a los que se añade otro 3% por polución durante el manejo, limpieza e instalación de los cojinetes. Un 17% lo relaciona con aspectos de control de calidad. El restante porcentaje, del 50%, corresponde al del conjunto de fallos en los que no se pudieron determinar las causas.

El fabricante mantiene diversas acciones para la mejora de la fiabilidad del cojinete #4:

- a) Centradas en la fabricación de los rodamientos: Auditorias de calidad de los fabricantes de los rodamientos; Muestreos en los almacenes de CFM, Criterios dimensionales basados en investigaciones de calidad a los suministradores; Emisión del SB72-0329 para evitar tratamientos térmicos inadecuados.
- b) Centradas en el ensamblaje de motores y control de polución: Campaña de buenas prácticas iniciada en 2009; Mejora de los utillajes y herramientas especiales de montaje; Monitorizado avanzado de las vibraciones de aviones (AAVM) para detección temprana de degradación de los cojinetes #3 y #4; Plan de contención iniciado en 2011 basado en las enseñanzas de la campaña de buenas prácticas.

1.3. Información sobre los aeródromos

El aeropuerto de Ibiza, del cual despegó el vuelo EXS170, dispone de una pista 06-24 que tiene una longitud de 2.800 m y anchura de 45 m. Tiene ayudas de ILS/DME.

El aeropuerto de Palma de Mallorca al que se desvió el vuelo tras el fallo del motor derecho, dispone de dos pistas paralelas de direcciones 06-24. La pista 24L por la que aterrizó el avión en emergencia tiene unas dimensiones de 3.000 m de longitud y 45 m de anchura y cuenta con ayuda instrumental de aterrizaje ILS/DME.

1.4. Comunicaciones

Se mantuvieron comunicaciones constantes de la aeronave con los servicios de control aéreo (ATC) de la Torre y Aproximación de Ibiza y de Aproximación final de Palma de Mallorca, que facilitaron el desarrollo del vuelo, las esperas y la coordinación con los servicios de emergencia y de atención al pasaje.

1.5. Registradores de vuelo

La aeronave disponía de los registradores de vuelo de voces de cabina (CVR) Honeywell P/N: 980-6022-001, S/N: 3562-H-CE y de datos de vuelo (DFDR) Allied Signal P/N: 980-4700-042, S/N: 3148.

En las informaciones que se muestran en este punto se ha adoptado una referencia de tiempo homogénea, en la que el tiempo $t = 0$ corresponde al momento del despegue en el que la aeronave se va al aire.

Tanto las informaciones extraídas del CVR como las del DFDR, han sido tenidas en cuenta para la exposición de la reseña del vuelo hecha en el punto 1.1.

1.5.1. CVR

Se pudieron recuperar satisfactoriamente cuatro grabaciones, dos de ellas correspondientes a los 30 últimos minutos de operación hasta la desenergización de la aeronave a la llegada al puesto de estacionamiento en Palma de Mallorca y otras dos grabaciones de dos horas de duración hasta aquel mismo momento, las cuales guardaban conversaciones y sonidos que abarcaban el vuelo completo. Una de las grabaciones en cada grupo correspondía a las conversaciones captadas en los canales de intercomunicación y las otras, a los sonidos ambiente en la cabina de vuelo.

Además de lo reflejado en el punto 1.1 se puede destacar que:

- t = 00' 14": En los primeros instantes se insinúa que las detonaciones y explosiones escuchadas en cabina estaban originadas por neumáticos reventados.
- t = 00' 26": Se expresa «Engine failure» en cabina de vuelo, evidenciando que se ha hallado la razón de las detonaciones.
- t = 01' 19": Comunica a ATC «Mayday», especificando fallo de motor derecho y ausencia de fuego.
- t = 03' 47": Se alcanza la altitud de 3.000 ft y se prosigue en vuelo nivelado hacia el punto de espera próximo a Palma, en el VOR MJV.
- t = 04' 30": Se evalúa la situación, vibraciones. Procedimientos QRH; se arranca el APU.
- t = 5' 42": Se llama a la Jefa de Cabina y se le informa del fallo del motor.
- t = 07' 33": Se desecha la idea de volver a encender el motor.
- t = 08' 38": Se solicitan servicios de emergencia en PMI e informaciones de operación.
- t = 11' 15": Se llama a la Jefa de Cabina y se da la información de briefing para preparar el aterrizaje.
- t = 18' 00": Se reconsidera el peso de la aeronave y se estima el tiempo restante para la toma de tierra. Procedimientos QRH para toma con un solo motor.
- t = 29' 49": Con la cabina asegurada, se inicia la aproximación final.
- t = 39' 55": El avión rueda por la pista.
- t = 40' 42": Se abandona la pista.

1.5.2. DFDR

Algunos de los hechos consignados en el punto 1.1 se sustentan en datos grabados en el DFDR. Además, se pudo determinar, por integración de los flujos de combustible, una estimación fiable de la disminución del peso desde el despegue hasta la toma, que se evaluó en unos 1.860 kg, lo que facilitó una estimación del peso de la aeronave en la toma del orden de los 66.272 kg, estando el peso por debajo del máximo al aterrizaje de 66.360 kg.

Las figuras 4, 5 y 6 representan la evolución de ciertos parámetros del motor, durante el evento de «stall» y siguiente fallo del motor.

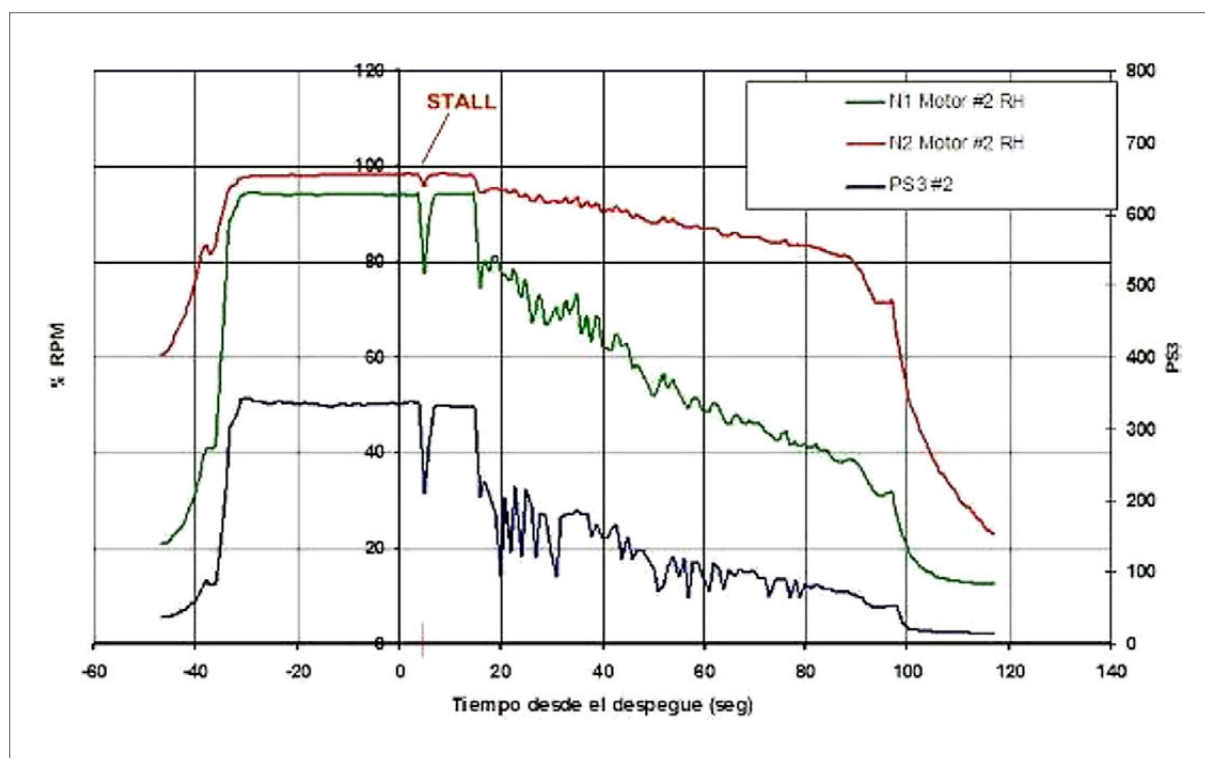


Figura 4. Revoluciones N1 y N2; presión PS3

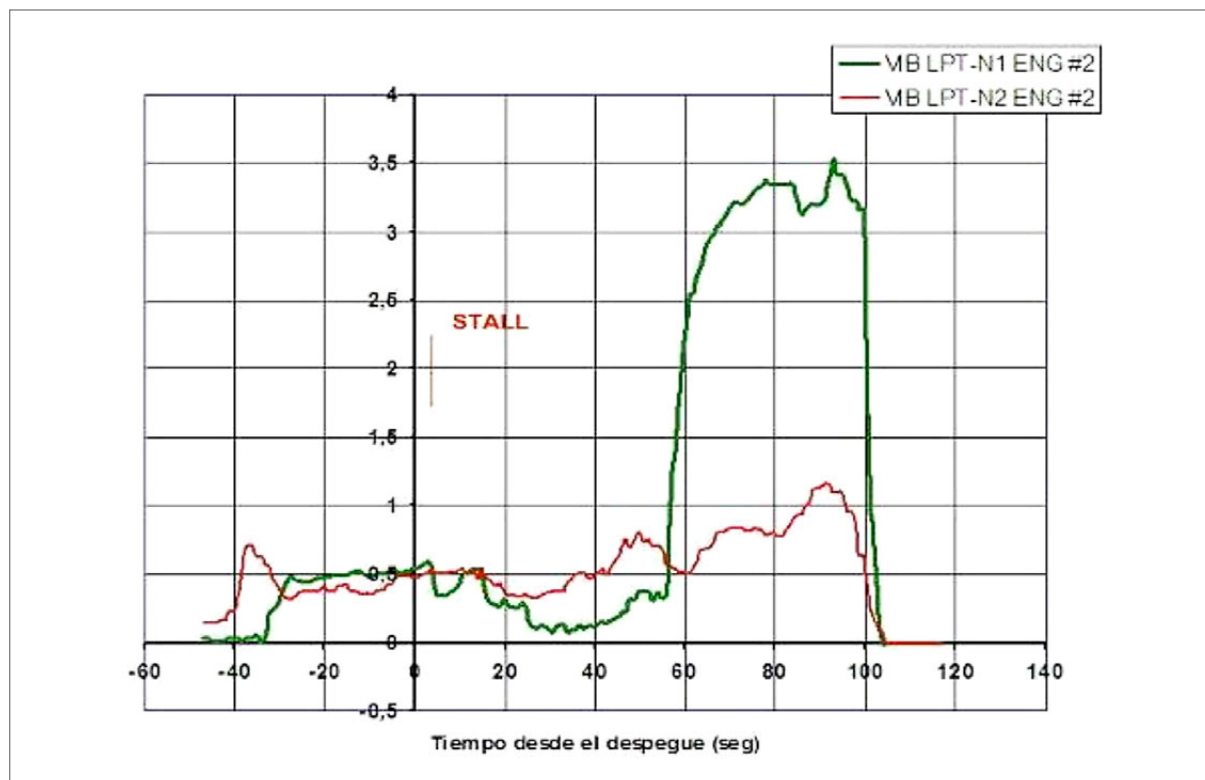


Figura 5. Vibraciones en el sensor de turbina

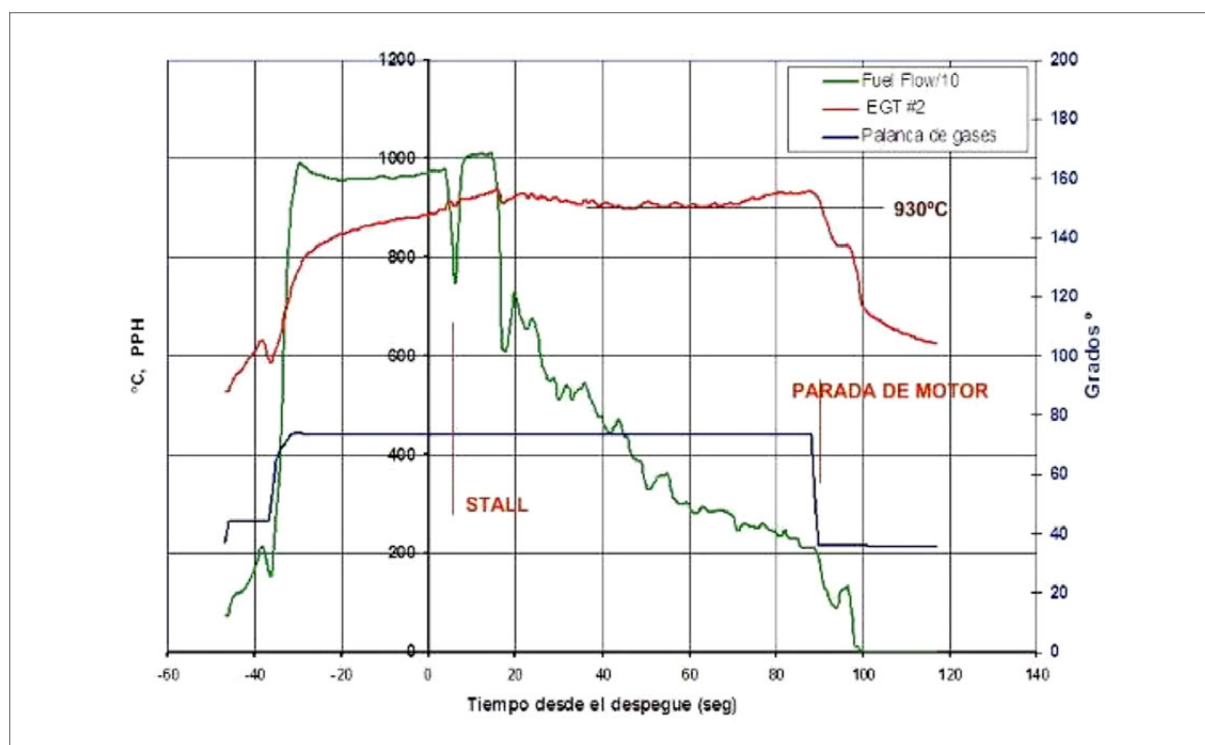


Figura 6. Flujo de combustible, posición palanca de gases y EGT

1.6. Ensayos e investigaciones

1.6.1. Historial del motor S/N: 875-201 previa al incidente

En julio 2010 entró en taller el motor S/N: 875-201, después de un desmontaje no programado, para restauración de performances y cambio de piezas de vida limitada.

A la salida de taller se le efectuaron las pruebas, según manual del taller (Shop Manual) SM 72-00-00, de Aceptación, Performances y Equilibrado, trim balance test, y no se encontraron anomalías. Fue retornado para el servicio el 8 de octubre de 2010.

El motor estuvo montado en ala, en un avión distinto del operado por JET2.COM, hasta febrero de 2011. En la operación subsiguiente de JET2.COM se observó en una inspección rutinaria de MCD, el 6 de julio de 2011 (y 147 horas de operación antes del evento), la presencia de contaminantes procedentes del cárter de aceite delantero, que una vez analizados, resultaron ser de dimensiones $3 \times 2 \times 1,5$ mm, y de material epoxídico abrasionable procedente del sello de aceite de ese cárter. Se estableció entonces una inspección periódica para comprobación de MCD, consumo de aceite y seguimiento. No se descubrieron partículas metálicas.

Hasta que se produjo el fallo en este evento, en la operación diaria no se observaron consumos anormales de aceite ni vibraciones excesivas, aunque sí se apreciaba un ligero incremento progresivo en el nivel de las vibraciones de la turbina de alta.

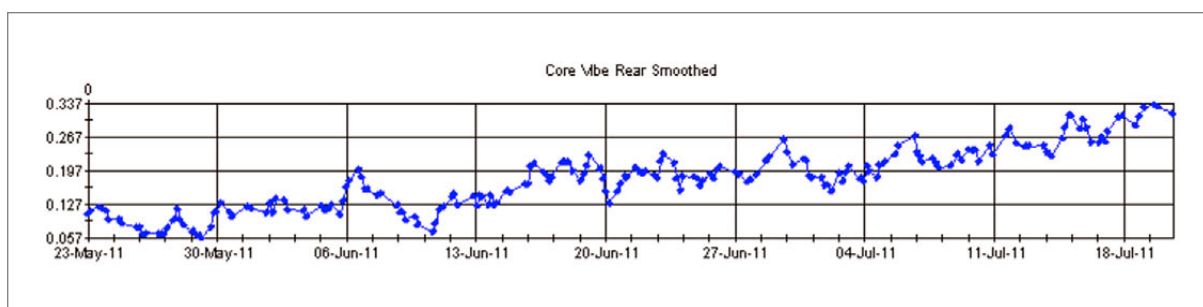


Figura 7. Vibración del motor #2

1.6.2. Inspecciones visuales después del evento

No se produjeron daños externos no contenidos o dentro del capó del motor. Sí se apreciaban restos de carbonilla y señales de fuego en la zona de escape. Los daños internos, presumibles por el excesivo esfuerzo para mover el fan y por el arrastre del carrete de alta, se confirmaron mediante una inspección boroscópica que, descubrió 11 álabes de la etapa 8.^a de compresor, HPC, con daños ligeros en sus puntas y el fuerte deterioro de los álabes de la turbina de alta, HPT.

1.6.3. Resultados de la inspección en el desmontaje del motor en taller

En el desmontaje del motor en taller se observaron daños por fuego de aceite quemado dentro del cárter de aceite trasero y el fallo total del cojinete #4. Se advirtió también el deterioro de los sellos y rotura del separador centrífugo de aire/aceite.

La jaula de los rodillos del cojinete se había abierto saliéndose 7 de los rodillos y desprendiéndose 6 de los espaciadores.

El estado de las toberas de inyección de aceite de lubricación era normal y se desechaba que hubiera podido haber una falta de lubricación.

Para un análisis minucioso se enviaron a laboratorio los rodamientos #4 y #5, así como, el separador de Aire/aceite.

1.6.4. Resultados de la inspección en laboratorio de ciertas piezas

El cojinete #5 se encontraba en buen estado sin mostrar defectos que no fueran ocasionados por el fallo del motor.

La inspección de los elementos del cojinete #4 mostró que el fallo del arillo o riel de la jaula o empaquetadura de los rodillos se produjo por fatiga iniciada en una grieta en el acuerdo del arillo con uno de sus espaciadores.



Figura 8. Cojinete #5

En un sector angular de unos 90° del interior de la pista exterior del cojinete se apreció una escamación, (spalling), que se produce por un fenómeno de adherencia-fricción o arrastre, en el contacto de los rodillos con la pista del rodamiento.

Los rodillos mostraban también escamación, principalmente, en la parte posterior.

Los rodillos habían patinado, al final, sobre la pista interior del cojinete, produciendo gran desgaste uniforme en todo el contorno de la pista y, en un plano secante, en todos y cada uno de los rodillos.

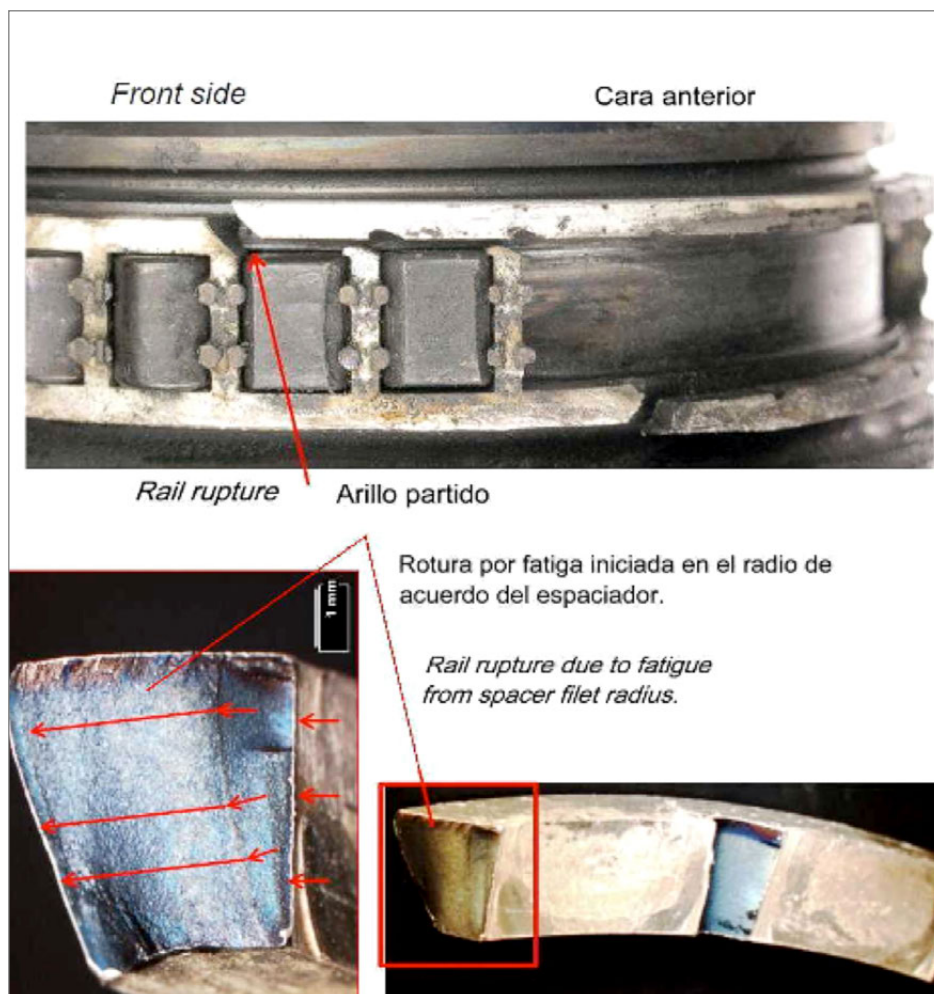


Figura 9. Rotura de la jaula de rodillos. Cojinete #4

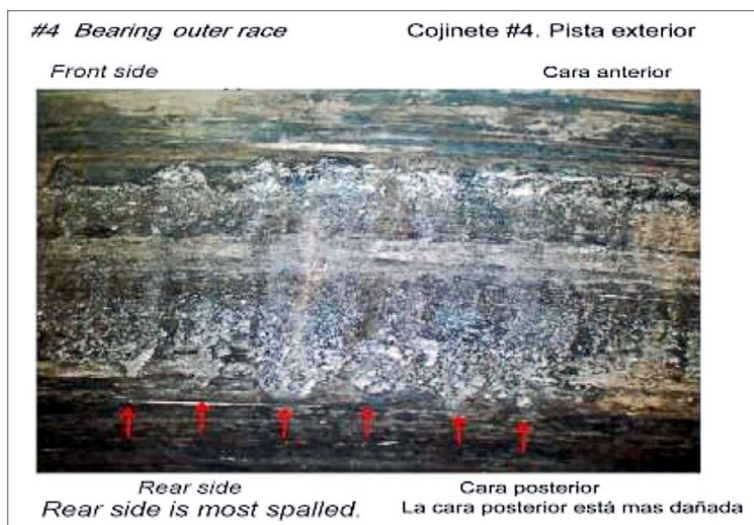


Figura 10. Spalling. Pista exterior del cojinete #4

No se apreciaron defectos de montaje del cojinete, como tampoco contaminaciones o corrosiones.

El análisis metalográfico determinó la conformidad de los materiales utilizados con sus especificaciones, su dureza, los tratamientos superficiales de nitridación, etc. Valores bajos observados de la dureza del acero de los rodillos, cerca de los puntos planos, se achacaron al calentamiento en la fricción

que soportaron cuando ya el rodamiento había fallado y se comportaba como un cojinete liso.

La rotura del separador de aire/aceite y la abrasión de los sellos de laberinto se consideraron daños secundarios, que se produjeron por la holgura del eje, al fallar el rodamiento. La fricción entre las partes de los sellos ocasionó el calentamiento que dio lugar al fuego, por la ignición del aceite.

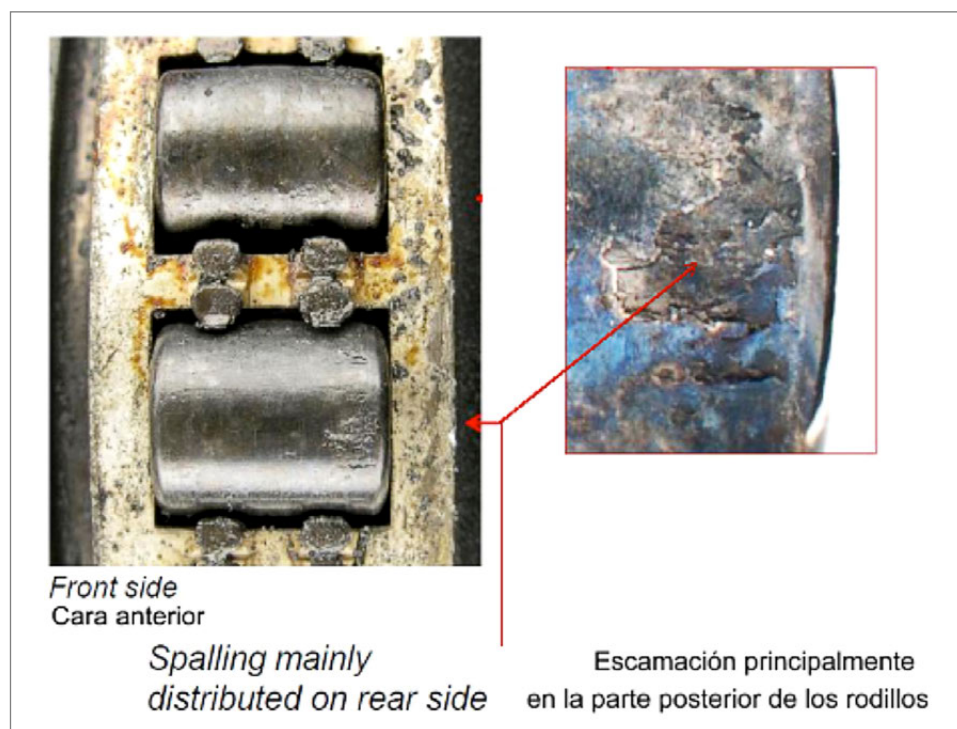


Figura 11. Spalling en los rodillos. Cojinete #4

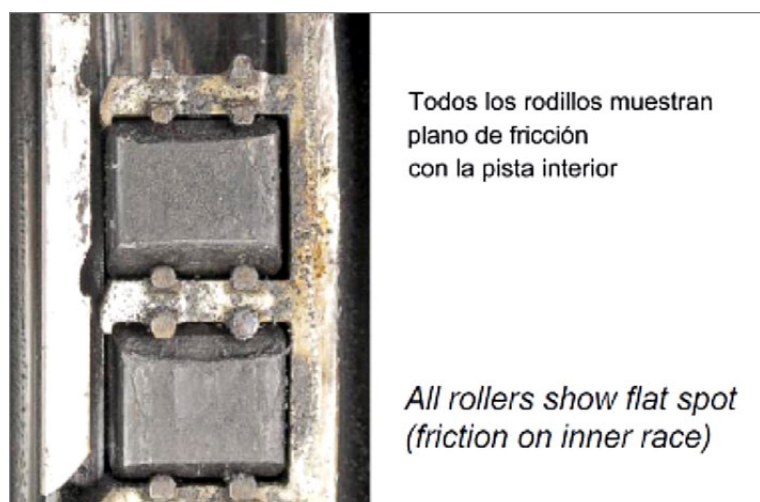


Figura 12. Fricción final de los rodillos. Cojinete #4

2. ANÁLISIS

2.1. Desarrollo del incidente

En la mañana del día 21 de julio de 2011 la aeronave Boeing 737-800, G-GDFC, despegó desde el aeropuerto de Ibiza con destino a Manchester con 180 pasajeros y una tripulación de 6 personas. El tiempo era bueno, sin nubes, con buena visibilidad y vientos flojos.

En los instantes en los que se levantaban las ruedas del suelo se produjo un «stall» del compresor del motor derecho, consecuencia de un fallo interno desarrollado en el motor, y el posterior fallo completo de ese motor, sin que se produjera fuego generalizado. Se observaron llamaradas durante unas decenas de segundos por la tobera de escape.

La aeronave continuó volando con un solo motor y completó el ascenso inicial.

La coordinación de la tripulación en la ejecución de los procedimientos y listas de chequeo de emergencia de fallo grave de motor, y posteriormente, los de operación y aterrizaje con un solo motor, evitaron que se pudiera complicar la situación o se originasen nuevos problemas. Se prolongó el vuelo realizando dos circuitos de espera con la intención de efectuar correctamente todos los cálculos y procedimientos requeridos. Aunque no es un requerimiento operacional, esta extensión del tiempo de vuelo hizo disminuir el peso de la aeronave, que finalmente aterrizó con un peso inferior al máximo estructuralmente permitido.

En vez de volver al aeropuerto de Ibiza, la tripulación decidió desviarse hacia el aeropuerto de Palma de Mallorca, que podía ofrecer más servicios completos de emergencia y de atenciones a los pasajeros, y que solamente distaba 75 NM del de Ibiza

y en el rumbo de despegue. Esta decisión se había planteado en el briefing anterior al despegue, con lo que mantuvieron su plan inicial en caso de eventualidad ó emergencia.

La buena coordinación de la tripulación de vuelo con la tripulación auxiliar y con el servicio ATC, facilitó el correcto desarrollo de la operación en emergencia, evito posibles situaciones de pánico en cabina de pasajeros y confirmó la inexistencia de fuego en el motor tan pronto como pudo, por inspección directa del Servicio de Extinción de Incendios tras el aterrizaje en Palma de Mallorca.

2.2. El fallo del motor

Las inspecciones e investigaciones realizadas confirmaron que no hubo fuego generalizado ni fallos y roturas no contenidos y que el origen de la avería del motor estaba en el cojinete #4.

Los daños en el cojinete #4 hicieron aumentar la resistencia al giro del carrete de baja, que gira loco. Al perder revoluciones N1, se redujo el flujo primario de aire del motor, con la consiguiente entrada en pérdida de compresor, cuando el motor se operaba a potencia de despegue, es decir, muy alta potencia y altas temperaturas internas.

El motor tenía solamente 928 HV y 500 cc desde su última visita a taller. La monitorización de vibraciones e inspecciones del MCD no evidenciaban ningún posible problema previo de funcionamiento. Asimismo las virutas epoxídicas halladas en MCD el 6 de julio de 2011 (15 días antes del evento), correspondían al cárter delantero, y nada tenían que ver aparentemente con el «spalling» en los cojinetes ni con el cárter trasero donde se alojan los cojinetes #4 y #5.

Sin embargo, el cojinete #4 falló; la holgura que adquirió el eje permitió el roce de los sellos del carter de aceite trasero. El calor del roce provocó la ignición local del aceite de ese motor y la destrucción del separador aire/aceite de ese cárter. Por otro lado, los desequilibrios del eje de alta indujeron la interferencia entre las puntas de unos pocos álabes de la etapa 8.º del compresor de alta y la de la totalidad de álabes de turbina de alta, con sus estátores.

Las explosiones audibles con llamas y humo saliendo de la tobera de escape eran el resultado de las entradas en pérdida o «stalls» del carrete del compresor de alta. Esta condición es una perturbación brusca del flujo de aire de entrada dentro del motor causando una irregular combustión que es visible por las llamaradas en el escape, tal como fueron observadas por los pasajeros en cabina y por los testigos en tierra.

Se puede observar en los gráficos de los parámetros de DFDR, (figuras 4, 5 y 6), que el primer «stall» se produjo unos 4 segundos después de irse el avión al aire. Las vibraciones de los ejes N1 y N2 tanto antes, como en los segundos posteriores al «stall», no eran de

ningún modo acusadas. Las vibraciones N1 no aumentaron significativamente, hasta transcurridos unos 50 segundos después del «stall» inicial, cuando los fallos del cojinete se habían generalizado y, posiblemente, se habían dañado ya las puntas de los álabes de turbina y compresor.

La tripulación paró ese motor inmediatamente después de producirse el aumento de vibraciones N1 y cuando la temperatura EGT rebasaba ligeramente sus límites permitidos.

2.3. Fallo del cojinete #4

Las investigaciones de laboratorio evidencian que el fallo del cojinete se originó por el «spalling» en un sector angular de unos 90°, de la pista exterior del rodamiento y en los rodillos. El «spalling» es una escamación de las superficies de contacto de rodillos y pistas sometidas a fuerte compresión, provocando fenómenos de adherencia/arrastre, con otros posibles factores contribuyentes como daños locales superficiales.

La condición de «spalling» en la pista exterior del cojinete, en un sector mayor de 90°, puede indicar que este cojinete sufrió el desequilibrio del carrete de alta (a pesar de que no se observa en la grabación del DFDR) o sufrió daños superficiales previos posiblemente relacionados con el último ensamblaje.

Las escamas metálicas desprendidas atascaron la empaquetadura de rodillos, que al no moverse libremente, indujeron cargas cíclicas, que por fatiga, llegaron a romper la jaula de los rodillos.

Ni la monitorización de las vibraciones ni las inspecciones del MCD dieron avisos del fallo que se iba a producir. El comportamiento del motor era normal en cuanto a las vibraciones y no se observaron virutas metálicas en los MCD previas al suceso.

Una vez ocurrido el fallo, la investigación subsiguiente en laboratorio no fue capaz de determinar el origen del «spalling» inicial que desencadenó el proceso de destrucción del cojinete #4.

2.4. Acciones correctivas

El fabricante del motor, CFM Internacional, reconoce que el fallo del cojinete #4 ha ocurrido con alguna frecuencia anteriormente y se ha repetido históricamente desde la entrada en servicio de este tipo de motor y que en el 50% de las ocasiones no ha podido determinar, en cada uno de esos casos, la causa raíz del fallo.

Actualmente se mantienen determinadas campañas y acciones para prevenir y reducir la incidencia de fallos del cojinete #4. Por otro lado, el fabricante indica que la tasa de

fallos, IFSD + UER, es muy baja, habiéndose reducido ésta, notablemente, desde la entrada en servicio de los nuevos «part numbers» de los rodamientos mejorados.

Al no poder determinar, en este caso, en el que la pista exterior estaba fabricada con los materiales nuevos, cual fue la causa inicial del fallo, no se pueden sugerir o intuir nuevas recomendaciones y solo cabe esperar que se siga vigilando y controlando el comportamiento de la flota, como ya se viene haciendo por el fabricante del motor.

3. CONCLUSIÓN

3.1. Conclusiones

- La aeronave despegaba del aeropuerto de Ibiza, y unos 4 segundos después de levantar las ruedas del suelo comenzó a dar detonaciones de «stall» de compresor en el motor derecho.
- Continuaron las detonaciones durante decenas de segundos fluctuando los parámetros de motor. Las vibraciones N1 aumentaron fuertemente al cabo de unos 50 segundos del primer «stall». Por la tobera de escape eran ostensibles llamaradas y humaredas.
- Identificando el fallo, la tripulación paró ese motor #2 a unos 80 segundos de comenzar las detonaciones por «stall». No intentó la re-ignición del motor, consciente de que se habían producido daños mecánicos.
- Coordinando con ATC, se apartaron del tráfico, hicieron dos esperas, realizaron los procedimientos de emergencia relativos a fallo de motor y los procedimientos previos al aterrizaje, volando con un solo motor.
- Aterrizaron normalmente en Palma de Mallorca con la supervisión del SEI tan pronto como abandonaron la pista de vuelo.
- No se produjeron otros daños distintos a los producidos por la avería del motor y el fuego local generado, en el interior de la tobera de escape y que quedaron circunscritos al propio motor.

3.2. Causas

La causa de la avería del motor fue el fallo del cojinete #4. El origen del fallo de ese cojinete estuvo en el desgaste por «spalling» o escamación del material de la superficie de la pista exterior y de los rodillos. Se trata de un tipo de fallo conocido por el fabricante del motor, con una incidencia o tasa de fallos relativamente pequeña y del cual se hace un seguimiento activo, con ciertas campañas de prevención.

4. RECOMENDACIONES

Ninguna.