Informe técnico A-031/2021

Accidente ocurrido el día 11 de julio de 2021, al helicóptero Bell412, matrícula EC-MTS, operado por Rotorsun, en Ejea los Caballeros (Zaragoza-España)

El presente informe no constituye la edición en formato imprenta, por lo que puntualmente podrá incluir errores de menor entidad y tipográficos, aunque no en su contenido. Una vez que se disponga del informe maquetado y del Número de Identificación de las Publicaciones Oficiales (NIPO), se procederá a la sustitución del avance de informe final por el informe maquetado.



ADVERTENCIA

El presente informe es un documento técnico que refleja el punto de vista de la Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil en relación con las circunstancias en que se produjo el evento objeto de la investigación, con sus causas probables y con sus consecuencias.

De conformidad con lo señalado en el art. 5.4.1 del Anexo 13 al Convenio de Aviación Civil Internacional; y según lo dispuesto en los arts. 5.5 del Reglamento (UE) nº 996/2010, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de octubre de 2010; el art.15 de la Ley 21/2003, de Seguridad Aérea; y los arts. 1, 4 y 21.2 del R.D. 389/1998, esta investigación tiene carácter exclusivamente técnico y se realiza con la finalidad de prevenir futuros accidentes e incidentes de aviación mediante la formulación, si procede, de recomendaciones que eviten su repetición. No se dirige a la determinación ni al establecimiento de culpa o responsabilidad alguna, ni prejuzga la decisión que se pueda tomar en el ámbito judicial. Por consiguiente, y de acuerdo con las normas señaladas anteriormente, la investigación ha sido efectuada a través de procedimientos que no necesariamente se someten a las garantías y derechos por los que deben regirse las pruebas en un proceso judicial.

Consecuentemente, el uso que se haga de este informe para cualquier propósito distinto al de la prevención de futuros accidentes puede derivar en conclusiones e interpretaciones erróneas.

ÍNDICE

ΑC	VERTEN	NCIA	.0					
ΑE	ABREVIATURAS2							
Sinopsis1								
1.	INFO	RMACIÓN SOBE LOS HECHOS	.3					
	1.1.	Reseña del accidente	.3					
	1.2.	Lesiones personales	.4					
	1.3.	Daños a la aeronave	.4					
	1.4.	Otros daños						
	1.5.	Información sobre el personal	.4					
	1.6.	Información sobre la aeronave	.5					
	1.7.	Información meteorológica1	1					
	1.8.	Ayudas para la navegación1	1					
	1.9.	Comunicaciones1	1					
	1.10.	Información de aeródromo1	1					
	1.11.	Registradores de vuelo1	12					
	1.12.	Información sobre los restos de la aeronave y el impacto1	4					
	1.13.	Información médica y patológica1	8					
	1.14.	Incendio1	8					
	1.15.	Aspectos relativos a la supervivencia1	8					
	1.16.	Ensayos e investigaciones1	8					
	1.17.	Información sobre organización y gestión2	26					
	1.18.	Información adicional2	26					
	1.19.	Técnicas de investigación útiles o eficaces2	27					
2.	ANÁ	LISIS2	28					
	2.1.	General2	28					
	2.2.	Pérdida de control en vuelo2	<u>2</u> 9					
	2.3.	Incapacidad del helicóptero para mantener el estacionario3	32					
3.	CON	CLUSIONES3	3 5					
	3.1.	Constataciones	3 5					
	3.2.	Causas/Factores contribuyentes	36					
1	REC	OMENDACIONES SORRE SEGURIDAD OPERACIONAL	₹7					

ABREVIATURAS

°C Grado centígrado %...... Porcentaje AD...... Directiva de aeronavegabilidad AEMET Agencia Estatal de Meteorología AESA Agencia Estatal de Seguridad Aérea AFCU Unidad de control automático de combustible ATC...... Control de tráfico aéreo CMM Manual de mantenimiento de componentes CPL(H).....Licencia de piloto comercial de helicóptero EASA Agencia Europea de Seguridad Aérea ft......Pie(s) FCU Unidad de control de combustible h...... Hora(s) HUET Formación en abandono de helicóptero sumergido GS...... Velocidad respecto al suelo In-lb Libra por pulgada(s) kt Nudo(s) m...... Metro(s) MM...... Manual de Mantenimiento MDCU Unidad manual de control de combustible min Minuto(s) N2 Velocidad de la turbina de potencia NR...... Velocidad del rotor Nm Newton-metro p/n..... Número de la parte rpm...... Revoluciones por minuto s Segundo(s) s/n Número de la serie SPM Manual de prácticas estándar de mantenimiento TLU Unidad de limitación de torque VFR...... Reglas de vuelo visual

VMC...... Condiciones meteorológicas de vuelo visual

Informe Técnico A-031/2021

Propietario y operador: Rotorsun

Aeronave: Bell Helicopters Textrom Bell412, EC-MTS

Fecha y hora del incidente: Domingo 11 de julio de 2021; 20:04 hora local¹

Lugar del incidente: Ejea de los Caballeros (Zaragoza-España)

Personas a bordo: 2 (tripulación, ilesos)

Tipo de vuelo: Aviación general – comercial – lucha contra incendios

Fase de vuelo: Maniobrando

Reglas de vuelo: VFR

Fecha de aprobación: 25 de octubre de 2023

Sinopsis

La tarde del domingo 11 de julio de 2021, el helicóptero Bell412, matrícula EC-MTS, operado por Rotorsun, fue activado con 12 personas a bordo para intervenir en un incendio que se había producido a 8 km de su base de Ejea de los Caballeros (Zaragoza). El helicóptero despegó a las 19:54 hora local, realizó una toma intermedia a las 19:59 para dejar a la brigada y volvió a despegar para dirigirse al embalse Estanca del Charco, donde a las 20:03 iniciaba las maniobras de comprobación de funcionalidad del helibalde en estacionario. Durante estas maniobras en estacionario el helicóptero mostró tener problemas para mantenerse en vuelo y, a las 20:04, la desconexión del eje de transmisión principal de la caja de engranajes producía que el helicóptero se desplomase sobre el agua.

La investigación ha permitido descartar una relación de causalidad entre los problemas para mantener el vuelo estacionario y la desconexión del eje de transmisión, concluyendo lo siguiente:

- Respecto a la incapacidad para mantener el vuelo en estacionario, no se ha podido determinar su origen, aunque se han descartado problemas técnicos.
- Respecto a la desconexión del eje de transmisión se ha encontrado su origen en, al menos, una de las seis uniones roscadas, que trabajó sin tuerca autofrenante como consecuencia de deficiencias en las instrucciones y prácticas de mantenimiento. Estas instrucciones y prácticas de mantenimiento afectaron también al resto de las uniones roscadas, degradando el par de apriete y contribuyendo al fallo completo de la transmisión.

La investigación ha concluido que la causa del accidente fue la pérdida de control en vuelo del helicóptero por la desconexión del eje de transmisión principal de la caja de engranajes debido a la pérdida de integridad de las 6 uniones roscadas que las mantenían unidas, tras estar trabajando, al menos una de ellas, sin tuerca autofrenante, y el resto en un estado degradado por pérdida del par de apriete.

¹ La referencia horaria utilizada en este informe es la hora local obtenida del sistema de seguimiento de flota.

Se han considerado posibles factores contribuyentes al accidente las instrucciones y prácticas de mantenimiento del eje de transmisión principal:

- La reutilización de los elementos de las uniones roscadas.
- La ausencia de comprobación del tare torque, como requisito para la reutilización de las tuercas, en el procedimiento de mantenimiento.
- Las prácticas de comprobación del tare torque realizadas por el operador.

El informe contiene cinco recomendaciones de seguridad: dos dirigidas al fabricante del helicóptero y tres dirigida al operador.

1. INFORMACIÓN SOBE LOS HECHOS

1.1. Reseña del accidente

La tarde del domingo 11 de julio de 2021, el helicóptero Bell412, matrícula EC-MTS, operado por Rotorsun, que se encontraba en la base de Ejea de los Caballeros (Zaragoza), su base habitual, fue movilizado por segunda vez en el día para asistir en las labores de extinción de un incendio que se había declarado a 8 km en un punto limpio en las cercanías de la misma localidad.

El helicóptero, con un total de 12 personas a bordo (9 brigadistas, 1 agente de protección de la naturaleza y 2 pilotos), puso en marcha los motores a las 19:50, despegó a las 19:54 y se desplazó hacia la zona del incendio, donde dejó a la brigada sin incidencias a las 19:59. La brigada desplegó el helibalde y el helicóptero despegaba de nuevo a las 20:01 hacia el embalse Estanca el Gancho, al sur del término municipal de Ejea de los Caballeros, para realizar la carga de agua.

Los procedimientos del operador establecen que al inicio de cada misión se compruebe la operatividad del helibalde, para lo cual se llena de agua y se suelta, y una vez esta prueba es satisfactoria, la unidad ya puede realizar la carga y desplazarse al incendio.

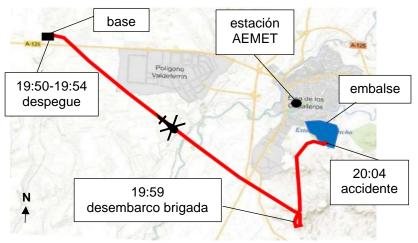


Figura 1. Trayectoria completa (19:50-20:04)

A las 20:03 el helicóptero se situaba en estacionario sobre el embalse para realizar la comprobación de la operatividad del helibalde, siendo en esta operación cuando se produjo el accidente, que fue reportado como una pérdida de potencia. La descripción realizada por la tripulación fue la siguiente:

- Antes de empezar la maniobra, todo era normal. El segundo piloto recordó haber comprobado que los valores de NR y N2 de los dos motores estaban en 100%. El piloto a los mandos era el comandante y se mantuvo durante la emergencia.
- Hundieron el helibalde para cargarlo. Se elevaron para sacarlo del agua y notaron que las vueltas de NR descendieron hasta el 94%. Los dos pilotos reportaron que "las tres agujas (NR y N2 de ambos motores) bajaron al unísono". Inmediatamente apareció el aviso de bajas revoluciones del rotor² y un aviso de sobretorque, que mencionó el comandante, pero no el copiloto.

² El aviso de bajas revoluciones del rotor (LOW RPM) aparece cuando las NR están por debajo del 95%. Este aviso consiste en un aviso visual y aviso acústico.

- Soltaron el agua del helibalde y cedieron potencia descendiendo ligeramente, consiguiendo que desparecieran los avisos momentáneamente. El helicóptero consiguió elevarse nuevamente un par de metros, pero según describió el comandante, las NR solo llegaron al 97% por lo que actuó sobre el interruptor del "increase3" sin conseguir mejoría.
- Ante esta situación, el comandante empezó a buscar una zona para aterrizar, pero sin considerar necesario soltar el helibalde. Estaba valorando las opciones que tenía (a la derecha y hacia delante había una pasarela con farolas, a la izquierda el centro del pantano y hacia atrás se situaba con viento intenso de cola), cuando las vueltas del rotor comenzaron a caer de nuevo y el helicóptero inició un descenso hasta impactar con el agua a las 20:04. Los valores que recordaban eran de NR 85-90% poco antes de hacer contacto.

Toda la maniobra fue realizada aproados al viento, que estimaron entre 15-25 kt y del norte, con rebufo del agua. El suceso fue grabado por dos testigos con sus móviles. Estos videos confirmaron los dos ciclos de ascensos-descensos y la carga y suelta de agua descrita por la tripulación.

Tras el contacto con el agua, el helicóptero mantuvo la verticalidad durante unos segundos, para posteriormente volcar hacia el costado izquierdo. El helicóptero quedó parcialmente sumergido en una zona poco profunda (3-4 metros). Los dos pilotos abandonaron la aeronave por sus propios medios sin sufrir daños ni lesiones.

1.2. Lesiones personales

Lesiones	Tripulación	Pasajeros	Total en la aeronave	Otros
Muertos				
Lesionados graves				
Lesionados leves				
Ilesos	2			
TOTAL	2			

1.3. Daños a la aeronave

Exteriormente el helicóptero resultó con daños menores como consecuencia del impacto con el agua y de haber estado sumergido en el agua durante 4 días hasta que pudo ser recuperado.

1.4. Otros daños

Ninguno.

1.5. Información sobre el personal

1.5.1 General

El piloto, de 59 años, contaba con una licencia de CPL(H) y habilitación en Bell412 en vigor hasta mayo de 2022. Acumulaba un total de 4290 h. Operaba en lucha contra incendios desde el año

³ El término "increase" se refiere coloquialmente al interruptor INCR/DECR situado en el colectivo, que actúa sobre el governor N2 para regular las velocidades de N2 entre el 97% y el 101,5%. Si las N2 están por debajo del 97%, este actuador no funciona. Esto se consigue a través del AFCU como se explica más adelante.

1990 y para Rotorsun desde el año 2020, con el que sólo realizaba vuelos de lucha contra incendios. El día del accidente era su primer vuelo en esa base, pero la campaña anterior la había realizado en la base de Ejea de los Caballeros, por lo que conocía la zona.

El segundo piloto, de 36 años, contaba con una licencia de CPL(H) y habilitación en Bell412 en vigor hasta abril de 2022. Acumulaba un total de 1550 h, de las cuales 1350 h en el modelo. En lucha contra incendios tenía una experiencia de 3 campañas. Trabajaba para Rotorsun desde el año 2020, realizando sólo vuelos lucha contra incendios. Llevaba en la base de Ejea de los Caballeros desde marzo operando este helicóptero.

1.5.2 Formación en abandono del helicóptero sumergido (HUET)

Ambos pilotos indicaron que habían realizado el HUET en el centro de formación de SASEMAR de Jovellanos y que habían recibido formación teórica en ROTORSUN. Consideraron que estaban adecuadamente formados para afrontar esta emergencia y que, de hecho, fue menos extrema que la entrenada en el curso.

1.5.3 Actividad previa

El comandante llevaba de servicio 11 días (110 h de servicio), con un total de 6:25 h de vuelo. El segundo piloto también llevaba 11 días de servicio con un total de 9:55 h de vuelo. Ambos habían tenido un periodo de descanso superior a 12 horas previo al día del accidente.

Debido a que la actividad lucha contra incendios en la base de Ejea de los Caballeros requiere presencia física, el domingo 11 de julio llevaban desde las 10:30 de la mañana en la base, junto con la brigada y el mecánico. La primera tarea que realizaron ese día fue revisar la documentación, realizar planificación, comprobar las limitaciones de operación y el estado de operatividad de la máquina, además de realizar el briefing con la brigada. La revisión prevuelo del helicóptero la realizaron también los pilotos, puesto que el mecánico ayudante que estaba en la base no tenía capacidad para ello. Ese día habían sido activados para participar en otro incendio a las 11:37 en el que estuvieron trabajando 1 hora.

Descartaron haber tenido distracciones o sentir fatiga en el momento del suceso. Así mismo calificaron la carga de trabajo como normal.

1.6. Información sobre la aeronave

1.6.1 General

El helicóptero Bell412, s/n 36050, fue construido en el año 1992. Debido a la configuración que tenía en la actualidad era equivalente a un Bell412 EP. El peso en vacío era de 3432 kg y el máximo de 5398 kg. Llevaba instalados dos motores de turbina Pratt Whitney PT6T-3DF Twin Pac, s/n TH0740 (motor 1), s/n TH0741 (motor 2) y una caja de engranajes (combining gearbox), parte del grupo motor, s/n TJ0022. En el momento del evento, la célula acumulaba 12463 h totales, los dos motores 5624 h y la caja de engranajes 6335 h.

El helicóptero era propiedad de Rotorsun desde el año 2016. En el momento del accidente estaba dedicado a lucha contra incendios con base en Ejea de los Caballeros (Zaragoza) y llevaba

instalado un helibalde, con una capacidad para 1000 kg aproximadamente, que desplegado se extendía 6 m.

Rotorsun, además de propietario y operador, realizaba la gestión del control de la aeronavegabilidad (ES.MG.101) y el mantenimiento (ES.145.205) de las aeronaves de su propiedad, incluido el helicóptero accidentado. El programa de mantenimiento del helicóptero estaba aprobado por AESA y establecía revisiones periódicas diarias, cada 25-100-300-600-1000-5000 h y/o cada 1-12-60 meses.

1.6.2 Transmisión de potencia

El helicóptero Bell412 EC-MTS obtiene la potencia de dos motores Pratt and Whitney montados en paralelo y conectados a una caja reductora de engranajes, llamada caja de engranajes, que es parte del grupo motor. Todo este conjunto, motores y caja de engranajes, se denomina Twin Pac. La caja de engranajes, que cuenta con su propio sistema de lubricación, tiene como misión reducir las velocidades de giro N2 de las turbinas de 33000 rpm hasta las 6600 rpm que entrega al eje de transmisión principal.

El eje de transmisión principal, arrastrado por la caja de engranajes a 6600 rpm, está conectado a su vez a la transmisión. Desde la transmisión la potencia se transmite al rotor principal y al rotor de cola. El eje va alojado en un mamparo cortafuegos, como se muestra en la figura 2.

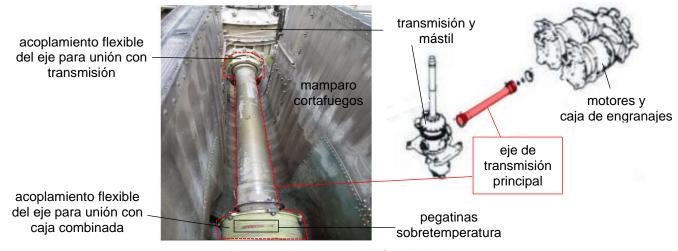


Figura 2. Eje de transmisión principal

El eje de transmisión principal está unido, por lo tanto, por un extremo a la caja de engranajes (a través de un adaptador) y por otro a la transmisión. Para absorber vibraciones y permitir un cierto juego entre estos elementos (caja de engranajes-eje-transmisión) los extremos del eje de transmisión consisten en unos acoplamientos flexibles de color verdoso (figuras 2 y 3), que se unen con 6 uniones roscadas formadas por tornillos-arandelas-tuercas autofrenantes por cada flanco. En total, cada acoplamiento necesita 12 uniones y el eje completo 24. En estas uniones roscadas, entre la arandela y la pieza, se instalarían unos contrapesos que podrían ser necesarios para equilibrar el eje. El conjunto, entonces, quedaría así: tornillo-arandela-contrapeso-pieza-tuerca. Este equilibrado hay que realizarlo cada vez que se desinstala el eje (según el Manual de Mantenimiento BHT-412-MM). Existen también unas pegatinas que detectan sobretemperatura en el acoplamiento mediante el cambio de color de los círculos (de blanco a negro).

En el accidente del helicóptero EC-MTS el acoplamiento flexible de unión del eje de transmisión principal con la caja de engranajes se encontró desconectado y las 6 uniones roscadas de ese flanco desprendidas.

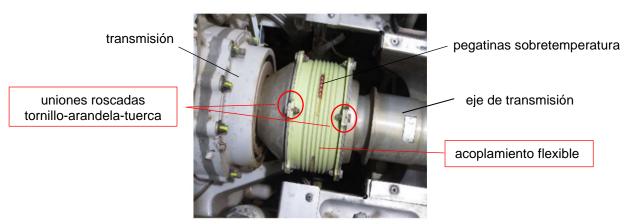


Figura 3. Acoplamiento flexible del eje de transmisión principal

1.6.3 Mantenimiento del eje de transmisión principal

El fabricante Bell establece un mantenimiento del eje de transmisión de potencia cada 600 h o 12 meses, y así estaba incluido en el programa de mantenimiento aprobado por AESA. Para realizar este mantenimiento, el Manual de Mantenimiento (BHT-412-MM) requiere el desmontaje del eje, para lo cual deben quitarse las 24 uniones roscadas tornillo-arandela-tuerca que se mencionaban en el apartado 1.6.2 (figura 3).

Las instrucciones de mantenimiento incluidas en el Manual de Mantenimiento (BHT-412-MM) solo especifican el valor de torque de 70-90 in-lbs (7.91-10.16 Nm) para esta unión, pero no contiene ningún aviso que indique qué comprobaciones hay que realizar para poder reutilizar los elementos de la unión roscada que se desmontan. Es decir, según el Manual de Mantenimiento tornillos, tuercas y arandelas se reutilizarían de forma indefinida salvo que se detecte algún defecto, sin incluir ninguna mención a la comprobación del tare torque.

Sin embargo, existe un documento adicional al Manual de Mantenimiento, que es el Manual de Prácticas Estándar (BHT-ALL-SPM) de Bell, donde se especifica lo siguiente⁴:

- Las tuercas autofrenantes solo pueden reutilizarse si se comprueba el tare torque, realizando esta comprobación de la siguiente manera:
 - a) el tare torque debe medirse en la misma combinación de elementos,
 - b) se debe utilizar un indicador de dial,
 - c) debe medirse cuando la tuerca haya recorrido todos los hilos de rosca, y
 - d) en caso de que el torque medido sea menor que el tare torque, el elemento debe rechazarse.
- El tare torque depende de las características del hilo de rosca del tornillo y para el caso de los tornillos del EC-MTS (1/4-28), el tare torque era de 3.5 in-lbs (0.40 Nm).

⁴ Además, se incluye un tercer criterio de instalación y es que el torque total de montaje para el caso de elementos autofrenantes es la suma del torque específico (70-90 in-lbs) y el tare torque (3.5 in-lbs). En este caso, el intervalo de montaje del torque específico englobaría el tare torque, por lo que este aspecto no se considera de influencia en este accidente.

Es decir, para poder reutilizar las tuercas autofrenantes instaladas en el eje de transmisión debe realizarse un paso previo que es la medición del tare torque de 3.5 in-lbs (0.40 Nm) para asegurar que la tuerca mantiene su capacidad de frenado o fricción. Una vez comprobado, se aplicaría el torque de montaje.

En las reuniones mantenidas con el operador, se confirmó que esta comprobación del tare torque se realizaba de forma cualitativa, en función de la fricción que ofrecía la tuerca cuando se enroscaba, y que, de hecho, no se consultaba el manual de prácticas estándar (SPM).

1.6.4 Histórico de directivas sobre las tuercas autofrenantes

Las tuercas que lleva instaladas el eje de transmisión principal del Bell412 contaban con un historial de cambios que se iniciaron tras la detección de unas tuercas fracturadas debido a un problema de fragilización del material con el que estaban fabricadas. Este problema dio origen a una directiva de aeronavegabilidad de EASA (EASA AD2014-0118) y a una serie de boletines de servicio de Bell (ASB412-14-160) que obligaron a la sustitución de las tuercas.

La consulta al fabricante y al repositorio de notificación de sucesos nacional y europeo sobre casos similares al EC-MTS no obtuvo ningún resultado. La detección de las tuercas fracturadas se había producido en inspecciones de mantenimiento, sin que en operación hubiesen llegado a generar problemas de transmisión de potencia.

1.6.5 Control de los motores

En condiciones normales, la potencia total requerida para el vuelo es suministrada por los dos motores de igual forma. El sistema tiene como misión mantener las NR en un valor constante, a partir de las dos turbinas de potencia (N2). De hecho, las N2 y NR están unidas por medio de engranajes. El mantenimiento de las N2 se realiza a través de las dos unidades de control de combustible (FCU), una por motor, que controlan el combustible que se inyecta a las cámaras de combustión. Estas unidades pueden funcionar en modo automático y en modo manual, siendo el modo de funcionamiento normal el automático (AFCU) y el que estaba activo durante el accidente.

Funcionando en modo automático (AFCU) el control de combustible depende de la siguiente información de entrada (los tres primeros provienen de los mandos del piloto):

- De la posición de gases (throttle position), que afecta al governor N1.
- Del mando rpm INCR/DECRE, que ajusta el governor N2.
- De la posición del colectivo, que ajusta el governor N2.
- Del governor N2, que regula P_G.
- De la TLU que modifica P_G.
- De los cambios de NR que afectan al governor N2.
- Del governor N1, que modifica P_Y⁵.

⁵ Las presiones Px, Py P_G y P_R son presiones derivadas de P₃. Estas presiones son utilizadas por la FCU para realizar el control del combustible.

Con todos estos elementos, la reacción del sistema, en caso de que las NR descendieran, sería la siguiente: el descenso de NR sería trasladado a los ejes de las turbinas de potencia N2; este descenso en N2 sería detectado por el governor N2 de cada motor que generaría un aumento en la señal neumática P_G; esta señal se enviaría a las AFCU para aumentar el combustible y se produciría un aumento de N1 y de N2, lo que repercutiría en un aumento de las NR.

Por otra parte, el torque proporcionado por los dos motores está monitorizado por la unidad de limitación de torque (TLU) para proteger la integridad de la transmisión principal. Esta unidad entrará a funcionar cuando el torque en el mástil alcance el 108-109%. En otros motores, la TLU también realiza el equilibrado y el control del torque de ambos motores, pero en el caso del EC-MTS no existe esta funcionalidad.

1.6.6 Actividad el día del accidente

El vuelo del accidente era el segundo del día. Esa mañana, a las 11:37 el helicóptero fue movilizado para otro incendio donde realizó un total de 3 descargas. Según indicó la tripulación, en ese primer vuelo las vueltas de NR también cayeron, sin llegar a activarse el aviso de LOW RPM. En este caso actuaron sobre el interruptor "increase" y consiguió recuperarlas hasta el 100%.

Después del primer vuelo del día, la aeronave se repostó con 1630-1650 lb de combustible aproximadamente, se hizo la revisión postvuelo y se dejó preparada para futuras movilizaciones.

1.6.7 Información sobre la aeronave en las entrevistas

El copiloto, que llevaba desde marzo operando en la base y con el helicóptero EC-MTS, indicó que no había habido ningún problema de funcionamiento.

El comandante, entrevistado dos veces, describió la necesidad de actuar sobre el "increase" en el vuelo de esa mañana, pero no haber detectado ningún otro problema adicional. Era el primer día en esa base, por lo que su actividad con esta matrícula se limitaba al día del accidente.

Se entrevistó a otro comandante que había volado el día anterior con el helicóptero EC-MTS y que llevaba 10 días en la base. Tampoco reportó haber tenido ningún problema de operación. Únicamente mencionó haber tenido una separación de agujas de torque de más de un 4% (fue identificado en el parte de vuelo de abril de 2021).

El mecánico ayudante, con presencia en la base de forma permanente, tampoco describió ningún problema previo con el helicóptero. No obstante, su función en la base era de revisión de niveles, asistencia a los arranques, repostajes y controles diarios de la cuba de combustible. No realizaba actividades de mantenimiento propiamente dichas, sino que, si ocurría algún problema, contactaba con el mecánico certificador.

El mecánico certificador, que fue también entrevistado, acudía a las revisiones que se hacen cada 25 h. La última vez que había estado en la base había sido el 2 de julio, 9 días antes del

accidente. Describió el estado de mantenimiento y funcionamiento de este helicóptero como bueno.

1.6.8 Anotaciones en los partes del vuelo

Se revisaron los partes de vuelo de un año con objeto de comprobar las anotaciones realizadas por las tripulaciones. Solo se encontraron tres anotaciones:

- Mayo 2021: Aumento de la temperatura de aceite del motor 1 de la combining gearbox.
- Abril 2021: Disminución de valores de TQ, N1 e ITT del motor 1 y descenso de NR. Este fallo se identificó como un "Low Side⁶".
- Enero 2021: Parpadeo de la luz del AFCS.

1.6.9 Actuaciones de mantenimiento

Las revisiones y actuaciones de mantenimiento realizadas durante el año 2021 habían sido las siguientes:

- 11/07/2021: Accidente (12463 h).
- 02/07/2021: Inspección de 25 h (12455 h).
- 13/06/2021: Inspección de 25 h (12446 h).
- 02/06/2021: Inspección por caída de un rayo (12446 h).
- 26/05/2021: Inspección de 150 h/6m de motores y cambio del oil cooler blower del motor 1 (12443 h).

Actuación como consecuencia de la anotación de mayo de 2021.

- 04/05/2021: Inspección de 25 h (12436 h).
- 24/04/2021: Cambio de botella extintora (12433 h).
- 11/04/2021: Reemplazado acumulador P_Y por fuga de aire (12431 h) tras realizar

troubleshooting de la FCU del motor 1.

Actuación como consecuencia de la anotación de abril de 2021.

- 05/04/2021: Inspección de 25 h y 50 h (12430 h).
- 10/03/2021: Inspección de 25 h (12410 h).
- 08/02/2021: Inspección de 25 h (12392 h)
- 18/01/2021: Reemplazo actuador (12397 h).

Actuación como consecuencia de la anotación de enero de 2021.

1.6.10 Actuaciones de mantenimiento del eje de transmisión principal

Por orden de antigüedad, se enumeran las revisiones de 600 h/12 meses realizadas al eje de transmisión principal (main driveshaft), que se encontró separado de su unión con la caja de engranajes (combining gearbox). En cada una de ellas se ha indicado si hubo sustitución de los elementos de las uniones roscadas:

⁶ El término "Low Side" se refiere coloquialmente al fallo Low-Side FCU. Es un fallo en el funcionamiento de la unidad de control de combustible FCU, cuya misión principal es mantener las NR, a través de mantener las N2 de su motor entre el 97-100%. Un fallo Low-Side generalmente está producido por una fuga en la línea neumática de P_G. Los efectos en el helicóptero son una pérdida de potencia y una bajada de NR.

Enero 2014: Instalación de 12 tornillos por el anterior operador (Global Helicopter Service

GMbH). Se desconoce la posición de instalación de esos tornillos.

Febrero 2016: Inicio de operación del helicóptero por ROTORSUN.

Instalación de 24 tuercas MS21043-4 según ASB412-14-160 rev A.

Mayo 2017: Instalación de 6 tornillos NAS6604-4 fabricados por LFC Industries de un

lote de 20 tornillos comprado en 2014 a AEROGLEN International. La orden

de trabajo no especifica qué tornillos se cambiaron ni en qué zona.

Mayo 2018: Revisión de 600 h /12 m sin cambio de elementos.

Mayo 2019: Revisión de 600 h/12 m sin cambio de elementos.

Mayo 2020: Instalación de 24 tuercas 90-132L4 según ASB412-14-160 rev B (EASA AD

2014-0118), pertenecientes a un lote de 45 tuercas compradas a Bell.

Nov 2020: Inspección de 600 h/12 meses. Esta inspección hubiese correspondido a

mayo 2021, pero por programación de taller adelantó 6 meses. Sin cambio de elementos. El equilibrado de esta revisión no necesitó instalar

contrapesos.

• 11/07/2021: Accidente.

1.7. Información meteorológica

Para valorar las condiciones meteorológicas se han utilizado tres fuentes de información. Todas proporcionaron información consistente entre sí:

Datos AEMET: La estación meteorológica de Ejea de los Caballeros de AEMET, está

situada al sur de la localidad, con una elevación de 321 m. A las 20:00 (18:00 UTC) registraba los siguientes datos: cielo cubierto, 30,7°C de temperatura, 41% de humedad, viento medio de 4,5 kt (2,3 m/s) del noreste (046°) y rachas de 13 kt (6,7 m/s) del norte (012°). La figura 1 muestra la

ubicación de esta estación.

Tripulación: Refirió tener viento del norte de entre 15-25 kt.

Video: En los dos videos grabados, se aprecia claramente la presencia de viento

de cierta intensidad procedente del norte-noreste y cielos cubiertos. Las

figuras 6 y 7 muestran estas condiciones.

Respecto al vuelo anterior de ese mismo día, la temperatura era de 32ºC.

1.8. Ayudas para la navegación

El vuelo se realizó con referencias visuales al terreno. No se utilizó ninguna ayuda a la navegación ni el vuelo quedó registrado por los sistemas de vigilancia ATC.

1.9. Comunicaciones

El vuelo no mantuvo comunicaciones con ninguna dependencia ATC. Respecto a las comunicaciones con los medios de extinción, en el momento del accidente la tripulación no realizaba ninguna comunicación con el exterior.

1.10. Información de aeródromo

La información de interés sobre las superficies utilizadas para la operación el día del accidente es la siguiente:

- Base de Ejea de los Caballeros: tiene una elevación de 341 m. En ella se ubica una zona de descanso para la tripulación y brigadas, una helisuperficie con dos puestos de estacionamientos y un depósito de combustible.
- Incendio en punto limpio: la elevación de la zona donde el helicóptero dejó a la brigada era de 322 m.
- Embalse Estanca del Gancho: tiene una elevación de 326 m, una superficie de aproximadamente 27 hectáreas y está rodeado por un camino circular para transeúntes. La elección de este embalse fue realizada por la tripulación debido a su cercanía al incendio y amplitud.
- Incendio anterior: la elevación de las zonas de desembarco de la brigada y de realización de las 3 cargas de agua eran de 365 m y 390 m, respectivamente.

1.11. Registradores de vuelo

1.11.1 Fuentes de información

El helicóptero no disponía de registradores de vuelo por no ser preceptivos para su actividad. Sin embargo, el vuelo pudo ser reconstruido a partir de:

- el sistema de seguimiento de flota, que grabó el vuelo completo, y
- dos videos realizados por testigos, situados en las orillas sur y noroeste del pantano que han permitido detallar los últimos 65 segundos del vuelo, y, por tanto, el accidente.
 - a) El video grabado desde la orilla noroeste no registró el audio del helicóptero, pero sí casi toda la maniobra de comprobación de la operatividad del helibalde hasta el accidente.
 - El segundo, grabado desde el sur, más cerca que el anterior, cubrió los últimos 20 segundos del vuelo antes del accidente y registró el audio del helicóptero (ver apartado 1.16.2).

La información de este apartado se centra en los últimos 2 minutos del vuelo correspondientes al acercamiento a la zona sur del embalse y a la prueba de operatividad del helibalde. El resto de información del vuelo previo ha sido incluida en el apartado 1.

1.11.2 Sistema de seguimiento de flota

- 20:02 Inicio de la aproximación al embalse en rumbo este. El helicóptero se encontraba a 139 ft de altura, 32 kt GS y a 250 m del punto donde iniciaría las pruebas de operatividad del helibalde.
- 20:03 El helicóptero se encontraba sobre el embalse en estacionario. Se considera que este es el momento del inicio de las pruebas y, por lo tanto, del evento. Los datos registrados en esta fase en cuanto a alturas y velocidades no se consideran fiables, por lo que se utilizan los cálculos obtenidos a partir de los videos.
- 20:04 Impacto contra el agua.

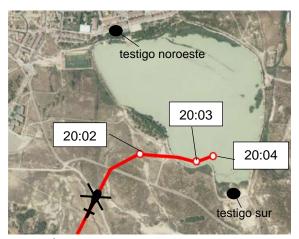


Figura 4. Últimos dos minutos de vuelo (20:02-20:04)

1.11.3 Videos de testigos

- t=+0 s 20:03:00. Inicio de la grabación del video desde el noroeste. Se estima que coincide con la referencia horaria de las 20:03:00 del seguimiento de flota. El helicóptero se encontraba en estacionario a una altura de 6 m sobre el agua. El helibalde estaba hundido y cargándose de agua.
- t=+28 s 20:03:28. Helicóptero a 6 m de altura. Inicia un desplazamiento hacia delante y hacia arriba para sacar el helibalde cargado del agua.
- t=+29 s 20:03:29. El helibalde se vacía de agua a la vez que el helicóptero asciende hasta los 8 m.
- t=+32 s 20:03:32. Inicio del descenso.
- t=+35 s 20:03:35. Helicóptero a 6 m de altura con el helibalde en la superficie del agua. Se mantendrá en esa posición 2 segundos más hasta iniciar un nuevo ascenso.

En este primer ciclo de ascenso-descenso el desplazamiento horizontal fue de 32 m con una velocidad GS aproximada de 1,7 kt.

- t=+38 s 20:02:38. Inicio de la grabación del video desde el sur. Helicóptero a 6 m de altura. El helibalde está al nivel del agua. El helicóptero inicia un desplazamiento hacia delante y hacia arriba. El tiempo de llenado del helibalde requiere los 10 s, y en el video solo transcurren 3 s (desde +35 a +38) con el helibalde en el agua, por lo que se confirma que el helibalde estaba vacío en este segundo ciclo.
- t=+45 s 20:03:45. Helicóptero a 9,5 m de altura. Fin del ascenso. El helicóptero sigue avanzando hacia delante manteniendo la altura sobre el agua.
- t=+48 s 20:03:45. El helicóptero mantiene el estacionario, pero inicia un pequeño descenso.
- t=+50 s 20:03:50. Helicóptero a 8,5 m.
- t=+52 s 20:03:52. Helicóptero a 7 m⁷. Inicio de guiñada hacia la izquierda y aparición de un sonido nuevo en el audio (apartado 1.16.2).
- t=+53 s 20:03:53. Helicóptero en descenso a 6 m. Helibalde en contacto con el agua. Se aprecia conicidad en el rotor principal.
- t=+54 s 20:03:54. Helicóptero impacta con el agua.

⁷⁷ Esta altura, calculada de forma aproximada, muestra que el helicóptero se mantuvo dentro de la zona segura de la curva de velocidad altura en caso de fallo de uno de los dos motores.

Este segundo ciclo de ascenso-descenso se realizó con un desplazamiento horizontal de 30 m y con una velocidad GS de 3,6 kt. El régimen de descenso entre las 20:23:48 y las 20:03:52 fue de 123 fpm. Desde las 20:03:52 hasta las 20:03:54 fue de 690 fpm.

La figura 5 muestra el primer ciclo de ascenso y descenso, sólo registrado por el testigo ubicado en el noroeste. La figura 6 muestra el segundo ciclo de ascenso-descenso desde las dos perspectivas de los dos testigos.



Figura 5. Último minuto: primer ciclo ascenso-descenso (20:03:00 a 20:03:35)

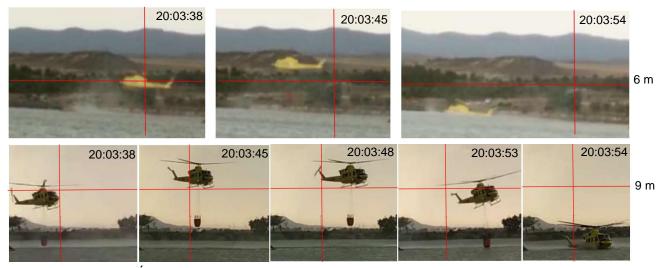


Figura 6. Último minuto: segundo ciclo ascenso-descenso (20:03:38-20:03:54)

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

Tras la recuperación del helicóptero del embalse el día 14 de julio, el 20 de julio se realizó una inspección general del helicóptero. Los resultados orientaron la necesidad de realizar más pruebas específicas posteriores y que han sido incluidas en el apartado 1.16.



Figura 7. Aeronave EC-MTS tras el accidente

1.12.1 Estructura exterior

La aeronave exteriormente presentaba daños menores:

- Deformación de un registro del lateral derecho trasero que no se podía abrir, como consecuencia de la deformación anterior.
- Pequeña deformación por compresión en el costado derecho del estabilizador vertical.
- Las palas del rotor principal y trasero, así como los patines no presentaban daños aparentes.

1.12.2 Cabina

La inspección de la cabina confirmó que el compartimento había permanecido intacto. Respecto a los sistemas de mando y control se encontró lo siguiente:

Varios:

- Se detectaron 5 disyuntores saltados que no se consideran relacionados con el evento.
- La palanca cortafuegos del motor 2 estaba sacada. Según indicó el piloto, fue actuada para apagar el motor cuando ya estaban en el agua.

Sistema de combustible:

- Gov switches: en posición de AUTO, indicativo de que las unidades de control de combustible (FCU) estaban funcionando en automático (AFCU). Los circuit brakers de los gov switches no estaban saltados.
- Fuel switch: en posición normal de funcionamiento de los dos motores. Esto descarta la activación de la alimentación cruzada y confirma que el funcionamiento del sistema de combustible de los dos motores se realizaba en el modo normal.
- Puño de gases: continuidad entre el mando de gases a las unidades de control de combustible (FCU) de los motores. El reglaje en las FCU en los topes máximo y mínimo era correcto.

Mandos de vuelo:

- Colectivo: continuidad y coherencia de movimientos entre el colectivo y el rotor.
- Cíclico: continuidad y coherencia de movimientos entre cíclico y el rotor.
- Pedales: continuidad y coherencia de movimientos con el rotor de cola.

1.12.3 Transmisión y mástil

- Indicadores (ojos de gato) de partículas metálicas de la transmisión de la zona superior, intermedia (planetarios) y cárter: ninguno de los tres estaba saltado.
- Detectores de partículas metálicas (chip detector) de la zona superior, intermedia y cárter de la transmisión: no tenían partículas. Esto descartó fallos mecánicos en la transmisión.
- Comprobación del filtro de galleta de la transmisión: libre de partículas.

- Indicador (ojo de gato) de sobretorque del mástil: no saltado.
- Se realizó una prueba de indicación del triple tacómetro: La prueba confirmó que las conexiones entre el generador tacómetro y el indicador en cabina estaban intactas y que el generador tacómetro de NR tenía un error de indicación de 1,5-2% inferior al real, pero dentro de tolerancias.

1.12.4 Eje de transmisión principal

La unión del eje de transmisión principal con la transmisión estaba en perfecto estado. Sin embargo, la unión del eje de transmisión principal con la caja de engranajes se encontraba suelto:

- La unión entre el acoplamiento del eje de transmisión principal y el adaptador de la caja de engranajes se había separado y el eje se encontraba apoyado sobre el mamparo cortafuegos.
- Las 6 uniones roscadas tornillo-arandela-tuerca autofrenante que mantenían ambas partes unidas habían desparecido de sus alojamientos.
- Fueron recuperados 6 tornillos (5 fragmentos y 1 entero), 5 arandelas (3 enteras y 2 fragmentos) y 2 tuercas autofrenantes (enroscadas en dos fragmentos de tornillo).
- Las marcas de rozamiento en las superficies de contacto eran escasas y recientes.
- Las pegatinas de monitorización de la temperatura de la zona de engranajes no habían cambiado de color, lo que descartaba sobretemperatura en el acoplamiento, tanto en la unión con la transmisión como en la unión con la caja de engranajes.
- En el mamparo cortafuegos, donde se encontraba apoyado el eje, se encontraron dos perforaciones paralelas producidas por los flancos del acoplamiento del eje una vez desconectado. Estas perforaciones se situaban encima del motor 2. En el lado del motor 1, existían dos marcas de rozamiento paralelas similares pero que no habían llegado a producir perforación.
- Las perforaciones habían llegado a alcanzar la tobera de escape del motor 2.
- Comprobación de giro libre y sin rozamientos del eje de transmisión de potencia.



Figura 8. Separación del acoplamiento del eje con la caja de engranajes



Figura 9. Tornillos, tuercas y arandelas recuperadas

1.12.5 Caja de engranajes

La caja de engranajes no presentaba fugas de aceite ni deformaciones:

- Comprobación de giro de la rueda libre de ambos motores y sentidos: correcto.
- Comprobación de giro de los air cooler blower de los dos motores: sin rozamientos.
- Comprobación de lubricación de la caja de engranajes: se drenaron 5 litros de agua (como consecuencia de estar sumergida) y 3 de aceite. El aceite se filtró y se confirmó que no había partículas metálicas.
- Comprobación del estado del filtro de aceite de la caja de engranajes: sin partículas.
- Comprobación del detector de partículas metálicas de la caja de engranajes: sin partículas.
- Comprobación de libertad de giro de todo el tren de engranajes de la caja de engranajes, desde la salida de potencia de los dos motores hasta la entrega de potencia al eje de transmisión principal.

1.12.6 Motores

Los resultados son los mismos para ambos motores:

- Comprobación visual, a través de la tobera de escape, de las turbinas de potencia: sin daños.
- Comprobación de giro de las turbinas de potencia: sin rozamientos.
- Detector de partículas metálicas de N2: sin partículas.
- Desmontaje, inspección y filtrado de los filtros de aceite: sin partículas.
- Desmontaje e inspección de los filtros de combustible: estado correcto.
- Inspección boroscópica de la zona de la turbina del compresor y el estátor: sin daños ni rozamientos.
- Comprobación de giro libre de la turbina del compresor.

1.12.7 Unidad de control de combustible (FCU)

Se pudieron realizar las siguientes comprobaciones:

- Desmontaje y comprobación del estado del filtro de P₃: sin obstrucciones.
- Realización del test de presión del sistema neumático del control de combustible (línea de P_G): no había burbujas ni pérdidas de presión en todo el circuito.

1.13. Información médica y patológica

No se encontró prueba de que la actuación de los miembros de la tripulación se haya visto afectada por factores fisiológicos o incapacitantes.

1.14. Incendio

No se encontraron evidencias de incendio en vuelo o después del impacto.

1.15. Aspectos relativos a la supervivencia

Los dispositivos de retención realizaron correctamente su función y el habitáculo de cabina mantuvo su integridad estructural. El segundo piloto, sentado en el lado izquierdo, hacia el que se produjo el vuelco, abrió la puerta de su lado inmediatamente para asegurarse la salida y pudo abandonar la cabina por su lado una vez que el rotor quedó detenido, sin esperar a escuchar la orden de evacuación que no llegó a ser emitida. Bordeó nadando el morro del helicóptero hasta alcanzar el lado derecho donde se encontraba el comandante.

El comandante se mantuvo más tiempo en la cabina y apagó los dos motores, que estaban funcionando cuando llegaron al agua: uno de ellos con el puño de gases y el otro con la palanca cortafuegos. Salió del helicóptero por el lado derecho y ambos subieron por el patín y esperaron sobre el fuselaje a que les rescatasen. El comandante describió que la cabina llegó a inundarse solo hasta la mitad del cuerpo, no entrando más agua debido a que la zona era poco profunda.

En cuanto a los sistemas de salvamento, llevan en cabina chalecos salvavidas que no llevaban puestos y un equipo de respiración asistida que no necesitaron coger.

El rescate se produjo por medio de una lancha del servicio de bomberos que los acercó hasta la orilla donde se encontraba una ambulancia medicalizada.

1.16. Ensayos e investigaciones

1.16.1 Cálculo de performance del helicóptero

Para el cálculo de performance del helicóptero se han utilizado las cartas de performance que utilizó la tripulación para preparar el vuelo y los datos concretos del vuelo: peso máximo al despegue autorizado 5398 kg, peso en vacío del helicóptero 3432 kg, peso carta de pago (pasaje, gancho, cesta, equipaje) 1167 kg, peso del combustible 740 kg, consumo en estacionario y baja altitud del helicóptero 340 kg/h, helibalde con capacidad para 1400 kg, temperatura en el momento del accidente 30,7°C, altitud zona operación 341 m (base), 322 m (incendio), 326 m (pantano). Con estos datos se obtienen los siguientes resultados:

- Peso al despegue en la base: 5339 kg
- Peso en el pantano con el helibalde cargado con 1000 kg: 5342 kg
- Peso en el pantano con el helibalde cargado con 500 kg: 4842 kg
- Peso máximo para realizar estacionario con y sin efecto suelo en pantano, incendio y base en el momento del vuelo: 5398 kg.

Para el vuelo realizado esa mañana el peso máximo para realizar estacionarios con y sin efecto suelo sobre las zonas de operación y con la temperatura del momento, era también de 5398 kg. Los datos de peso para las operaciones de la mañana serían similares a los calculados para el vuelo.

Los datos muestran que los pesos de operación para realizar las cargas de agua el día del incendio estaban muy cercanos al peso máximo para realizar estacionarios fuera y dentro del efecto suelo (56 y 59 kg de margen). En el momento del accidente, la carga era parcial (500 kg), lo que sí que proporciona mayor margen respecto al peso máximo de operación (556 kg). El día del accidente la humedad relativa era del 41% y, aunque no está incluida en las tablas de performance, es un factor que afecta negativamente al rendimiento.

1.16.2 Análisis acústico

Los videos grabados por los testigos fueron objeto de un estudio acústico para obtener más información sobre el régimen de funcionamiento del helicóptero durante el evento. Sólo se pudo obtener información del segundo ciclo de ascenso-descenso, entre las referencias horarias 20:03:38 a 20:03:54.

- Las revoluciones del rotor principal NR (y asociado a él del rotor de cola) y de N1 (en la figura 10 se indican como N_G) se mantuvieron, de forma constante, en el entorno del 95% durante casi toda la maniobra, hasta las 20:03:52. Las revoluciones N1 de ambos motores se mantuvieron iguales. La velocidad de giro de la turbina de potencia N2 no pudo ser identificada en el video.
- En la última mitad del segundo 20:03:52 aparece un sonido de alta amplitud, no relacionado con ningún componente bajo condiciones normales de operación. Este sonido aumenta rápidamente en frecuencia para después reducirse y su aparición coincide con el descenso a 690 fpm del helicóptero hasta impactar con el agua.
- Tras la aparición del sonido, en cuestión de un segundo las NR decrecen de forma instantánea y las N1 de ambos motores sufren un incremento puntual para decrecer drásticamente.

La figura 10 muestra los resultados del análisis acústico. Se han incluido gráficas con las velocidades de rotación porcentuales del rotor principal y las turbinas del compresor y otras con las frecuencias. Las referencias temporales de las gráficas se han marcado respeto al inicio del video tomado desde la zona sur del pantano.

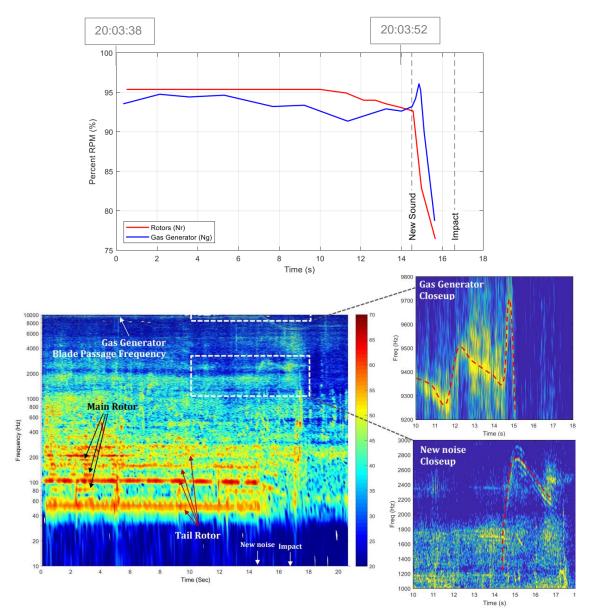


Figura 10. Análisis acústico del vuelo entre las 20:03:38 y las 20:03:54

1.16.3 Investigación sobre los elementos de unión: tornillos, tuercas y arandelas

El flanco donde se produjo la desconexión del eje de transmisión principal se mantiene unido a la caja de engranajes mediante 6 tornillos, 6 arandelas y 6 tuercas autofrenantes. De éstos solo pudieron ser recuperados tras el accidente:

- Tornillos: 3 fragmentos de la zona de la cabeza, 2 fragmentos del extremo con tuercas enroscadas y 1 tornillo entero sin tuerca ni arandela.
- Arandelas: 2 arandelas enteras sueltas, 1 entera pegada a la cabeza de un fragmento de tornillo y 2 fragmentos.
- Tuercas autofrenantes: 2 enroscadas a dos fragmentos de tornillos.

Debido a que el helicóptero estuvo sumergido y volcado durante 4 días en el embalse, se considera que los elementos de unión no recuperados debieron perderse en el embalse.

Fragmentos de tornillos de la zona de la cabeza (p/n NAS6604-4)

Los tres fragmentos de tornillo que incluían la cabeza tenían también la zona no roscada (grip). Las cabezas tenían grabado "NAS6604-4 LFC". Las superficies de fractura fueron examinadas con estereomicroscopio y con microscopio electrónico de barrido (SEM) y se confirmó rotura por sobrecarga en las superficies de fractura. Respecto a las especificaciones de material y dureza, los tres fragmentos cumplían las especificaciones del estándar NAS6604, pero los diámetros de las zonas no roscadas en algunos puntos eran inferiores al mínimo de diseño. Las zonas no roscadas del tornillo presentaban marcas de desgaste y rozamiento.

Fragmentos de tornillos del extremo (p/n NAS6604-4) con tuercas enroscadas (p/n 90-132L4)

Las dos tuercas que se mantenían enroscadas en los fragmentos de los tornillos tenían grabado "90-132", lo que indica que cumplían con el boletín de servicio del fabricante ASB412-14-160 y con la directiva EASA AD2014-0118. Las superficies de fractura de los tornillos fueron examinadas con estereomicroscopio y microscopio electrónico de barrido, confirmando también roturas por sobrecarga. Se confirmó además que estos fragmentos completaban dos de los tres tornillos de los que se habían encontrado la parte de la cabeza.



Figura 11. Fragmentos de tornillos

Además de rozamiento y desgaste en la zona no roscada del tornillo, los fragmentos presentaban aplastamiento de las tres primeras crestas (las más cercanas a la cabeza) de los hilos de rosca. En el caso del tornillo que se encontró con la arandela instalada, ésta estaba completamente combada y deformada hacia la cabeza del tornillo.

Tornillo entero (p/n NAS6604-4) sin tuerca ni arandela

El tornillo que fue recuperado entero no tenía la tuerca autofrenante instalada. Sus dimensiones indicaban que estaba íntegro. Las inscripciones en la cabeza del tornillo eran "NAS6604-4 OHIO". Respecto a las especificaciones de longitud, diámetro de la zona no roscada, material y dureza, se cumplían el de longitud, material y dureza, pero el diámetro era inferior al requerimiento NAS6604 (0,62992 cm respecto al mínimo diámetro de 0,63119 cm).

El tornillo presentaba tres tipos de daños:

 Abolladuras por impacto en algunas zonas de los últimos hilos de rosca que es la posición donde debería estar la tuerca, y en la cabeza.

- Aplastamiento de las 6 primeras crestas de los hilos de rosca, correspondientes a la zona de paso del tornillo por el acoplamiento del eje de transmisión principal.
- Rozamiento y desgaste en la zona no roscada del tornillo, correspondiente a la zona de paso del tornillo por el adaptador de la caja de engranajes.
- Los hilos de rosca últimos no muestran aplastamiento ni cizalladura en sus crestas, aunque sí marcas de contacto (las abolladuras que se mencionaban al inicio).

Estos daños confirmaron que la unión roscada a la que había pertenecido no había tenido instalado ningún contrapeso para el equilibrado del eje.

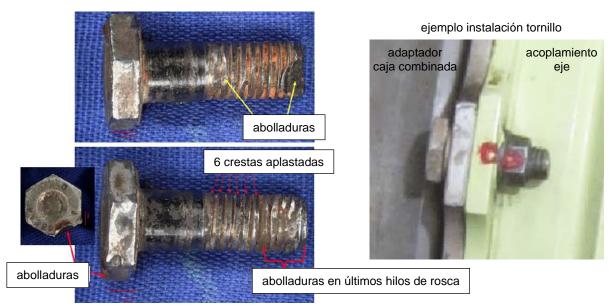


Figura 12. Tornillo entero y ejemplo de zonas de contacto

Arandelas (p/n NAS1149F0432P)

Las dos arandelas enteras sueltas presentaban una concavidad en forma de escalón producido por el contacto de la cabeza del tornillo. Ambas tenían disminuida la sección debido a desgaste y erosión. Respecto a los dos fragmentos de arandelas recuperados había estado sometidos a un excesivo desgaste que había disminuido su espesor y estaban visiblemente combados. La arandela unida al tornillo presentaba evidentes marcadas de deformación y combado similar a estos fragmentos encontrados. En cuanto al material y dureza, las arandelas cumplían con las especificaciones del estándar NAS1149.

1.16.4 Investigación sobre las piezas desconectadas

El acoplamiento del eje de la transmisión principal y el adaptador de la caja de engranajes fueron las piezas que se encontraron separadas, por lo que fueron inspeccionadas específicamente.

Acoplamiento del eje de transmisión (p/n 214-040-659-005)

La zona de contacto con el adaptador presentaba marcas de arrastre y arañazos profundos circulares, que se consideran producidos por el contacto entre ambas superficies tras su

separación. Los orificios de alojamiento de los tornillos no presentaban excesivo desgaste ni ovalización; de hecho, fueron medidos y cumplían con los requerimientos de diseño. Alrededor de los orificios de paso de los tornillos se identifican claramente las marcas del contorno de las tuercas.

La superficie opuesta de la pieza consta de una zona interna dentada que va en contacto con el resto del eje de transmisión. Esta superficie dentada presentaba marcas típicas de desgaste que no se consideran relevantes. El muelle central (p/n 204-040-685-1) estaba en perfecto estado y cumplía con las especificaciones de diseño de longitud sin carga.

Adaptador de la caja de engranajes (p/n 209-040-618-1)

En la superficie de contacto con el acoplamiento se identificaban marcas de arrastre por contacto entre ambas piezas tras la separación de estas. La zona de contacto tiene un pequeño labio o escalón que ayuda a encajar ambas piezas, y que se extiende por todo el contorno. De este escalón había desparecido un arco de 3,8 cm por sobrecarga a cizalladura. Dos de los seis orificios de paso de los tornillos presentaban elongación y se confirmó en las medidas de los diámetros que superaban el máximo de diseño. Alrededor de los orificios de paso de los tornillos se identificaban claramente las marcas del contorno de las arandelas sobre las que apoyan las cabezas de los tornillos.

La superficie opuesta de la pieza, en forma de embudo, consta de una zona interna dentada que va en contacto con la caja de engranajes. Esta superficie dentada no presentaba excesivo desgaste. La superficie exterior que rodea a esta zona mostraba una marca brillante de 0,5 cm que se extendía hasta la mitad del contorno y que se indica un rozamiento en forma rotatoria. Esta marca se considera producida tras el desprendimiento del eje de transmisión mientras que la caja de engranajes seguía todavía girando.

1.16.5 Investigación sobre el sistema de control de combustible

La unidad de control de combustible (FCU), compuesta de la unidad de control automático del combustible (AFCU), la unidad de control manual del combustible (MFCU) y la bomba de combustible, así como el governor N2 de cada motor y la unidad de limitación de torque (TLU) fueron desinstalados del helicóptero para investigación. En el caso de los dos governor N2 y del TLU eran modelos previos a la emisión de un boletín de servicio (PT6T-72-5511) emitido en el 2010-2011 que era opcional y se emitió para eliminar fluctuaciones en el torque.

Los 9 elementos fueron sometidos, entre el 22 y 24 de noviembre de 2021, en este orden, a una inspección visual externa, a unas pruebas de funcionamiento de acuerdo con el manual de mantenimiento de cada componente y a una inspección visual interna tras su desmontaje. De cada componente se relacionan las discrepancias encontradas.

Prueba conjunta sistema de control de combustible del motor 1

Antes del desmontaje de cada componente, se intentó realizar una prueba al conjunto AFCU-MFCU-bomba del motor 1, pero debido a que la bomba no permitía ni siquiera el giro manual del eje, no pudo realizarse. Los elementos metálicos del conjunto mostraban signos de corrosión y la presencia de una arenilla depositada en la superficie de los componentes. La inspección exterior de todo el conjunto mostró la falta de tres precintos de los cables de frenado.

AFCU motor 1 (p/n 3244883-8)

Existía un desvío en el ajuste máximo del tornillo N_G stop screw. Manteniendo la posición de este tornillo, se realizaron las pruebas que establece el manual de mantenimiento de componentes CMM 73-20-71, encontrándose algunas diferencias en algunos reglajes. Las diferencias se han marcado con el signo (+), cuando el flujo de combustible era superior al máximo y (–) cuando el flujo de combustible era menor que el mínimo permitido por el CMM. El término TP, utilizado en el CMM, se refiere a una prueba (test point):

- Metering valve orifice and bypass valve differential pressure: TP 1.04 (+)
- Enrichment spring: TP 2.02 (-)
- Governor spring: TP 3.01 (+), TP 3.03 (+) y TP 3.04 (+)
- Idle speed stop and pick up angle: TP 4.02 (-)
- Governor reset check: TP 6.06 (+)

Algunos de estos reglajes se pueden ajustar en línea de acuerdo al AMM, pero otros no están permitidos y solo se pueden hacer por el fabricante de acuerdo a su CMM. La mayoría de los desvíos encontrados en las pruebas realizadas proporcionaban flujos de combustible por encima del valor máximo del CMM.

MFCU motor 1 (p/n 3244884-3)

Se realizaron las pruebas que establece el manual de mantenimiento de componentes CMM 73-20-72, encontrándose desvíos en los siguientes reglajes:

Cut-off leakage: TP4 (+)

• Fuel schedule: TP9 (-)

Bomba de combustible motor 1 (p/n 025277-300-8)

El eje no podía girarse manualmente por lo que la prueba funcional no pudo realizarse. El desmontaje de la bomba mostró corrosión extendida a todos los componentes.

Prueba conjunta sistema de control de combustible del motor 2

En este caso sí se pudo realizar la prueba de funcionamiento de todo el conjunto de control de combustible del motor 2. Las partes metálicas del conjunto mostraban signos de corrosión y la

presencia de una arenilla depositada en la superficie de los componentes. La inspección exterior confirmó la falta de tres precintos de los cables de frenado. Se realizaron las pruebas de funcionamiento del AFCS de acuerdo con el CMM 73-20-71, encontrándose desvíos en los siguientes reglajes:

- Metering valve orifice and bypass valve differential pressure: TP 1.03 (+) y TP 1.04 (+)
- Enrichment spring: TP 2.02 (-) y TP 2.03 (+)
- Governor spring: TP 3.01 (+) y TP 3.03 (-).
- Idle speed stop and pick up angle: TP 4.01 (-)

AFCU motor 2 (p/n 3244883-8)

La inspección exterior mostró que existía un desvío en el ajuste máximo del tornillo N_G stop screw. Una vez desmontada la unidad de control automático de combustible se volvieron a realizar en banco las pruebas de funcionamiento del AFCU de acuerdo con el CMM 73-20-71, encontrándose desvíos en los siguientes reglajes:

- Metering valve orifice and bypass valve differential pressure: TP 1.03 (+) y TP 1.04 (+)
- Enrichment spring: TP 2.02 (+) y TP 2.03 (+)
- Governor spring: TP 3.01 (+) y TP 3.03 (-).
- Idle speed stop and pick up angle: TP 4.01 (-)

El desmontaje mostró una obstrucción parcial del sangrado de Py producida por un depósito.

MFCU motor 2 (p/n 3244884-3)

Debido a que durante la prueba general del conjunto no se detectaron desvíos en esta unidad no se consideró necesario su desmontaje ni realizar más pruebas adicionales.

Bomba motor 2 (p/n 025277-300-8)

La bomba fue comprobada de acuerdo con el CMM 73-10-11 del fabricante con resultado satisfactorio.

Governor N2 motor 1 (p/n 3244885-4)

Todo el conjunto contenía una arenilla depositada en la superficie de los componentes. La inspección exterior de todo el conjunto confirmó que estaban todos los precintos y sellos en buen estado. El eje del governor se podía mover con la mano. Las pruebas de funcionamiento se realizaron de acuerdo con CMM 73-20-69 del fabricante, con los siguientes desvíos:

- P_R-P_G differencial pressure: TP 3 (+) y TP 4A (+).
- Maximum stop angle: TP9 (+, 1º por encima del límite)

El desmontaje reveló la presencia de depósitos y suciedad interna.

Governor N2 motor 2 (p/n 3244885-2)

Todo el conjunto mostraba presencia de una arenilla depositada en la superficie de los componentes. La línea de ajuste de P_G tenía agua. El eje del governor se podía mover con la mano. La inspección exterior confirmó que faltaban los sellos de los precintos del eje excéntrico (eccentric shaft) y del tornillo de ajuste del tope máximo (maximum stop adjustment screw). Las pruebas de funcionamiento se realizaron de acuerdo con CMM 73-20-69 del fabricante, con los siguientes desvíos:

- P_R-P_G differencial pressure: TP 3 (+) y TP 6 (+)
- Maximum stop screw: TP 7 (+, 7º por encima del límite)

El desmontaje mostró la presencia de depósitos y suciedad interna.

Unidad limitadora de torque (TLU) (p/n 3244881-2)

La revisión exterior confirmó que faltaban los sellos en las válvulas de ajuste fine y grueso. Las pruebas de funcionamiento fueron realizadas de acuerdo con CMM 73-20-68 encontrándose las siguientes discrepancias:

- Flow restrictor bleed test: TP1.01 (-)
- Multilimiter adjustment check: TP 4.01, TP 4.02, TP 4.03, TP 4.04 y TP 4.08 (-)
- Differential pressure check: TP 4.09 (- y +)

El desmontaje mostró la presencia de arena dentro del componente, probablemente procedente de la entrada de agua.

1.17. Información sobre organización y gestión

La información de interés sobre la organización se ha incluido en los apartados correspondientes.

1.18. Información adicional

Durante la investigación se mantuvieron reuniones con el operador en las que se les trasladaron las conclusiones de la investigación. Rotorsun decidió incluir en la orden de trabajo de mantenimiento del eje de transmisión principal que se realiza cada 600 h o 12 meses, la utilización de elementos de unión nuevos (tornillos, arandelas y tuercas autofrenantes) cada vez que se desmonte el eje. A la fecha de emisión de este informe, se confirmó que esta modificación se había implementado en sus procedimientos. Los resultados mostraron que en los primeros cambios se encontró algún tornillo con marcas, pero que en el resto de los mantenimientos los elementos estaban en buen estado. En este sentido cabe destacar que el mantenimiento se realiza por tiempo de calendario (12 meses), ya que la operación anual es de 100 horas aproximadamente, lejos de las 600 horas.

Así mismo, en la investigación estuvieron involucrados desde un primer momento los fabricantes de motores y aeronave. Respecto a las consultas realizadas a Bell sobre el modo de

funcionamiento del eje con una de las uniones degradadas, informó que el diseño está pensado para que el eje funcione con 6 uniones, no con 5, y que, lógicamente, el resto estarían sometidas a mayores cargas en el caso de fallar una de ellas. No se realizan pruebas de comportamiento del eje de transmisión con una unión menos, por lo que es difícil valorar cuánto tiempo podría estar funcionando el eje sin una de las uniones.

La única experiencia sobre este posible escenario proviene de la época en que se emitieron las directivas para el cambio de las tuercas que se fracturaban por fragilización, y en este caso, se encontraron helicópteros en servicio que habían estado trabajando con una tuerca rota sin mostrar problemas de transmisión.

1.19. Técnicas de investigación útiles o eficaces

No aplicable.

2. ANÁLISIS

El accidente ocurrido al helicóptero bimotor Bell412 EP matrícula EC-MTS el domingo 11 de julio de 2021 responde a las características de una pérdida de control en vuelo, por la desconexión del eje de transmisión, durante la realización de una maniobra de estacionario sobre el embalse Estanca del Gancho (Zaragoza).

El hecho de que la maniobra de estacionario y la rotura del eje se hubiesen producido secuencialmente en el tiempo, condicionó y orientó la investigación inicialmente, de tal manera que en un principio se consideraron relacionados y se buscó el origen del primer suceso en el segundo. Sin embargo, las conclusiones obtenidas durante el proceso de investigación y el análisis realizado han permitido descartar este planteamiento inicial, obteniéndose las siguientes conclusiones generales sobre el accidente:

- Estos dos sucesos no estuvieron relacionados, aunque se hayan producido temporalmente seguidos.
- Respecto a la incapacidad para mantener el vuelo en estacionario, no se ha podido determinar su origen, aunque se han descartado problemas técnicos.
- Respecto a la pérdida de control, se ha encontrado su origen en la desconexión del eje de transmisión principal con la caja de engranajes tras la pérdida de integridad de las uniones roscadas que las mantienen unidas. Esta pérdida de integridad se inició en, al menos, una de las uniones roscadas, que trabajó sin tuerca autofrenante como consecuencia de deficiencias en las instrucciones y prácticas de mantenimiento. Estas instrucciones y prácticas de mantenimiento habían afectado también al resto de las uniones roscadas, degradándolas y haciendo posible el fallo completo de la transmisión.

El análisis que se desarrolla a lo largo de este apartado se ha estructurado en dos áreas dedicadas al análisis de los dos sucesos ocurridos en el vuelo, pero, en este caso, sin seguir la secuencia temporal en que ocurrieron.

2.1. General

2.1.1 El vuelo

El vuelo completo tuvo una duración de 14 minutos, y comprendió una aproximación con toma intermedia para dejar a la brigada y una aproximación hasta estacionario sobre el agua, en el que el helicóptero comenzó a tener problemas. Las maniobras en estacionario tuvieron una duración inferior a los dos minutos y consistieron en dos ciclos de ascenso-descenso: el primero con el helibalde cargado y el segundo con el helibalde vacío.

2.1.2 Tripulación

La descripción realizada por la tripulación concuerda en líneas generales con la información que se ha podido confirmar del vuelo. Tanto sus condiciones físicas como los aspectos relacionados con la experiencia y conocimiento, tanto de vuelo como de la zona de operación, no parecen haber contribuido al accidente. Los factores de presión característicos de incendios de gran envergadura, en este caso no estaban presentes, así como tampoco dificultades orográficas de

la zona donde se estaba realizando la carga, por lo que también se descartan como factores de influencia.

2.1.3 Aeronave

Los daños externos confirman deformaciones por compresión, exclusivamente de componente vertical, que son consistentes con el impacto contra agua tras un descenso, no controlado, durante 2 segundos y desde 7 metros de altura. En estas deformaciones se confirmó el contacto del fuselaje inferior con el helibalde, constatando la ausencia de velocidad traslacional.

Por el contrario, los daños encontrados en el eje de transmisión principal, a diferencia de los daños externos, tuvieron su origen en un problema de mantenimiento previo y no fueron producidos por el impacto con el agua.

2.2. Pérdida de control en vuelo

La pérdida de control en vuelo se produjo a las 20:03:52 como consecuencia de la desconexión completa del eje de transmisión principal con la caja de engranajes.

Esta desconexión se produjo cuando el helicóptero se encontraba a 7 m sobre el nivel del agua del embalse, intentando mantenerse en un estacionario que había iniciado siete segundos antes y en el que no había conseguido mantener la altura. Cuatro segundos antes había iniciado un pequeño descenso controlado a un régimen de 123 fpm que, de repente, se transformó en un desplome del helicóptero a 690 fpm hasta contactar contra el agua. El descenso repentino estuvo acompañado con una guiñada a la izquierda, esperable ante una pérdida de transmisión.

Este desplome coincidió con la evolución de las NR que, en menos de 1 segundo, disminuyeron desde el 95% hasta el 76%. Este comportamiento del rotor es consecuencia de haber quedado desconectado de los motores y, por tanto, haberse quedado sin potencia. La evolución de las N1 de los motores a las 20:03:52 muestran una aceleración inicial de las turbinas debido a que se habían quedado sin carga al desconectarse el eje. Se considera que esta aceleración es el sonido que aparece repentinamente en el video. Además, fue inmediatamente revertida por los governor que, en un intento de compensación, debieron reducir el flujo de combustible sin llegar a apagar el motor, confirmando el funcionamiento correcto de estas unidades. Esto fue detectado en el valor de N1 que se había reducido al 79% en un segundo y en el hecho de que los motores llegaran en funcionamiento al agua.

En conclusión, el funcionamiento de los motores y del rotor, y el desplome y la guiñada del helicóptero fueron consistentes con una desconexión completa y repentina del eje de transmisión principal.

2.2.1 Gestión de la emergencia

La fase de vuelo en la que se encontraba el helicóptero (estacionario) y la cercanía al suelo (7 m) dejaban poco margen de actuación a la tripulación que tuvo únicamente dos segundos (lo que

duró el descenso) para reaccionar. Las imágenes recuperadas muestran una conicidad del rotor principal previo al impacto que podría indicar el inicio de una maniobra autorrotativa desde estacionario, que sería el procedimiento a seguir para gestionar una pérdida de transmisión. El tiempo transcurrido entre la rotura del eje y la evidencia de conicidad del rotor se sitúa entre un segundo y un segundo y medio. Este tiempo está incluso por debajo del umbral de reacción humana ante un estímulo⁸, lo que permite concluir que la gestión de la emergencia fue adecuada teniendo en cuenta la situación de cercanía al suelo en que se encontraba.

2.2.2 Supervivencia

El único aspecto reseñable en cuanto a supervivencia es el hecho de que cuando abandonaron el helicóptero ninguno de los dos tripulantes cogió ni el chaleco ni el dispositivo de respiración. Esto no tuvo ninguna consecuencia en la supervivencia de ambos puesto que la zona donde cayeron tenía poca profundidad, pero se consideran aspectos a reforzar y para ello se emite una recomendación de seguridad al operador.

2.2.3 Desconexión del eje de transmisión principal

La desconexión del eje de transmisión principal se produjo por la pérdida de integridad de las uniones roscadas que lo mantenían unido a la caja de engranajes. Las 6 uniones desaparecieron de sus alojamientos produciendo que caja y eje se separasen por completo, interrumpiendo el suministro de potencia a los rotores y produciendo la pérdida de control.

Origen: pérdida de una de las uniones roscadas

La desconexión tuvo su origen en, al menos, una de las seis uniones roscadas. Esta unión corresponde a la del tornillo que se encontró entero sin tuerca ni arandela instalada. Los daños que presentaba este tornillo han permitido confirmar que:

- El tornillo estuvo instalado en uno de los alojamientos.
- En un momento dado se salió del alojamiento y, cuando esto ocurrió, la tuerca no estaba instalada. Para llegar a esta situación se valoran tres opciones:
 - a) Que la tuerca no hubiese sido instalada la última vez que se realizó mantenimiento al eje, es decir, 8 meses y 67 horas antes.
 - b) Que la tuerca se hubiese instalado, pero se desenroscase por pérdida del par de apriete.
 - c) Que la tuerca se hubiese instalado, pero se hubiese fracturado.

De estas tres opciones, la investigación considera como más probable la b) puesto que se han identificado condiciones latentes derivadas de las instrucciones y prácticas de mantenimiento que favorecen la pérdida de par de apriete del conjunto. La opción c) se considera poco probable puesto que las tuercas eran las que indicaba la directiva de EASA y, por lo tanto, no presentaban problemas de fragilización. Respecto a la opción a) la falta de sucesos similares y de información sobre cómo funcionaría la transmisión con la pérdida de alguna de las uniones roscadas hace

⁸ De acuerdo con el RMT.0246 de EASA, el tiempo de reacción de un piloto ante un fallo de potencia en un helicóptero bimotor estaría entre 0.5 y 1.4 segundos.

difícil valorar si es posible que hubiese aguantado 67 horas con unas velocidades de giro de 6600 rpm. Las erosiones y ovalizaciones encontradas indican que la unión estuvo trabajando con falta de solidaridad entre las dos piezas por un tiempo que no se ha podido estimar.

En cualquier caso, lo que se ha podido confirmar con certeza es que esta unión roscada fue el inicio del accidente: la tuerca autofrenante o no estuvo instalada o se perdió, el tornillo abandonó su alojamiento debido a que nada lo mantenía fijado y dejó de ejercer su función de mantener solidarios eje y caja en esa zona.

Degradación previa y sobrecarga del resto de las uniones roscadas

Además de la pérdida completa de una de las uniones, el resto de las uniones se encontraban en un estado degradado de funcionamiento, siendo la combinación de estas dos circunstancias la que generó el fallo completo de la transmisión. Se evidenciaron marcas de ovalización, erosión y abrasión extensiva en todos los elementos recuperados que, por ejemplo, en la zona no roscada de los tornillos, había llegado a producir una disminución de la sección por debajo de la especificación. En estas condiciones, el par de apriete de las uniones se ve afectado y se pierde la capacidad para mantener solidarios los elementos.

En este contexto, cuando la primera unión perdió su integridad, el resto de uniones que ya estaban deterioradas, empezaron a estar sometidas a mayores cargas que las de diseño, acelerando el proceso de deterioro. La pérdida de integridad de las uniones remanentes fue aumentando hasta que en la fase final las uniones rompieron por sobrecarga. Respecto a las dos uniones que no fueron recuperadas se desconoce su mecanismo de rotura, pudiendo estar en cualquiera de los dos grupos.

Si bien no ha sido posible determinar el tiempo de degradación, lo que se ha podido confirmar es que la rotura por sobrecarga de las uniones recuperada se produjo de forma instantánea y conjunta a las 20:03:52 produciendo la separación completa del eje.

Tras la ruptura de todos los elementos de unión, el eje se separó del adaptador. Las marcas escasas y recientes en las superficies de contacto y las perforaciones del mamparo cortafuegos confirman movimientos circulares tras la desconexión debido al giro de ambos ejes: la caja que seguía girando a 6600 rpm y el eje por inercia. Todos estos daños fueron producidos a posteriori, durante el desplome del helicóptero, no existiendo ninguna evidencia de daños previos a la desconexión.

2.2.4 Instrucciones de mantenimiento de la unión roscada: reutilización y tare torque

Se han identificado tres condiciones latentes derivadas de las instrucciones y prácticas de mantenimiento que favorecen la pérdida del par de apriete de las uniones roscadas del eje de transmisión principal, y que se considera que explican lo ocurrido en el accidente:

La reutilización de los elementos de la unión roscada.

- La ausencia de información del tare torque en el procedimiento de mantenimiento, como paso previo necesario a la reutilización de las tuercas.
- Las prácticas de comprobación del tare torque del operador

Las instrucciones de mantenimiento para las uniones roscadas de la instalación del eje de transmisión principal permitían la reutilización indefinida de todos los elementos que la componen: tornillos, arandelas y tuercas autofrenantes.

En el caso del helicóptero EC-MTS la reutilización de los tornillos llegaba a más de 9 años en alguno de ellos, la de todas las tuercas a 1 año antes y en el caso de las arandelas se desconoce cuándo se instalaron por primera vez. Cada año, como mínimo, estas uniones tienen que someterse a un ciclo de desmontaje y montaje y, por lo tanto, de aplicaciones de torque. Estos ciclos favorecen el desgaste de los elementos y la pérdida de propiedades de la unión roscada, sobre todo en un conjunto que gira a 6600 rpm y que está sometido a vibraciones constantes. Los elementos recuperados tras el accidente confirmaron un estado de desgaste en todos los elementos compatible con esta reutilización mantenida en el tiempo. En el caso de las arandelas este desgaste era especialmente llamativo.

Por otra parte, el requerimiento de medición del tare torque no estaba incluido en el procedimiento del Manual de Mantenimiento. La comprobación de este torque es un paso previo a realizar antes de aplicar el torque de montaje, y tiene un objetivo crítico de seguridad que es asegurar que la tuerca no ha perdido su capacidad de retención para poder reutilizarla. Esta información esencial de seguridad no está incluida en el Manual de Mantenimiento, sino que se encuentra recogida en el documento de prácticas estándar de mantenimiento, lo que dificulta su aplicación durante las tareas de mantenimiento. En el caso del helicóptero EC-MTS este tare torque no se comprobó con torquímetro, sino que se realizó una valoración cualitativa en función de la resistencia que ofrecía al enroscado, tal y como se hacía habitualmente con las tuercas autofrenantes.

Las instrucciones de mantenimiento deberían contener todos los datos e información necesaria para realizar la tarea evitando, en lo posible, la necesidad de utilizar documentos adicionales, o incluir una referencia o llamamiento claro a dichos documentos adicionales, máxime cuando se trata de tareas críticas de seguridad que afectan a elementos esenciales como es la transmisión de potencia. Con este objetivo, se emiten dos recomendaciones al fabricante del helicóptero Bell Helicopters para que mejore las instrucciones de mantenimiento y una al operador para la mejora de sus prácticas de medición del tare torque.

2.3. Incapacidad del helicóptero para mantener el estacionario

La incapacidad para mantener el estacionario previamente a la desconexión del eje de transmisión fue confirmada con la velocidad de giro del rotor principal al 95%. Esta velocidad, por el hecho de estar por debajo del 97%, generó los avisos acústicos de LOW RPM que describió la tripulación e imposibilitaron la utilización del mando INCR/DECR RPM del colectivo para ajustar las NR.

Por diseño, el helicóptero está pensado para mantener constantes las revoluciones del rotor en el entorno del 100% y esto se consigue mediante una serie de sistemas y componentes las acciones comandadas por la tripulación desde cabina. En el análisis de este suceso es significativo el hecho de que el valor de NR y N1 se mantuviesen al 95% en el tiempo, lo que descarta esta situación como una pérdida de potencia, sino que más bien parece estar relacionado con un límite establecido por algún elemento del sistema o comandando desde cabina.

2.3.1 Sistemas y componentes

La revisión de los sistemas y componentes tiene dos vertientes: por un lado, centrada en la funcionalidad de los componentes y por otro, en una posible limitación del torque.

La revisión del funcionamiento de sistemas y componentes involucrados en el control del combustible y la gestión de los motores del helicóptero EC-MTS no evidenció ningún problema técnico que impidiese generar potencia en los motores y, por lo tanto, que explique por qué las NR y las N1 se mantuvieron al 95%. Los governor N2, cuyo objetivo es mantener las N2 y las NR en el valor comandado desde cabina, funcionaban correctamente. Por el contrario, la revisión de los sistemas evidenció modificaciones realizadas en algunos componentes cuyo objetivo era suministrar más combustible y, por lo tanto, más potencia y no menos.

A este respecto, estas modificaciones responden a prácticas de mantenimiento que no están permitidas desde hace 20 años por el fabricante y que, probablemente, se realizaron en línea. Estas actuaciones sobre los componentes no han quedado documentadas, por lo que no se ha podido identificar si fue Rotorsun el que realizó estas modificaciones. En cualquier caso, el hecho de que faltasen los sellos de los frenados, debería haberse identificado por parte del personal de mantenimiento del operador, motivo por el cual, se emite una recomendación al operador.

Respecto a la posibilidad de una limitación del torque el único sistema que lo haría sería el TLU, y cuando el torque está en el 108%. La tripulación no describió ninguna actuación sobre los mandos que hubiese justificado esta activación, como por ejemplo un tirón del colectivo. En cualquier caso, este sistema no dejaría el sistema en valores bajos como los registrados.

2.3.2 Reglajes (setting) establecido por la tripulación

Respecto a la contribución de los posibles reglajes de operación establecidos desde cabina por la tripulación, sus declaraciones son la única fuente de información y describieron que las posiciones del colectivo y mandos de gases estaban bien. En este sentido, la ausencia de cualquier dato registrado hace imposible verificar este aspecto. Incluso en el caso de que, por un descuido, la posición del mando de gases o del colectivo se hubiese bajado por un descuido parece difícil creer que la tripulación mantuviese tanto tiempo esta condición sin corregirla.

2.3.3 Actuaciones

Por último, se mencionan las actuaciones del helicóptero para las condiciones de operación de ese día. Los datos muestran que el peso del helicóptero, con carga parcial del helibalde como se

supone que estaban realizando en el accidente, no supondría ninguna limitación puesto que tenían más de 500 kg de margen respecto al máximo. Si la carga de agua no hubiese sido esta, sino que se hubiese acercado a la habitual (1000 kg) esto explicaría los problemas para mantener el vuelo.

Las operaciones con el helibalde lleno se realizan con un peso muy cercano al peso máximo para estacionario, tanto fuera como dentro del efecto suelo, lo que, unido a la humedad relativa, pudieron haber condicionado la capacidad del helicóptero para mantenerse con potencia necesaria en las cargas de agua. En este sentido, se considera que la descripción de la tripulación respeto a la necesidad de utilizar el mando INCR/DEC en el vuelo de esa mañana, está en línea con esa limitación por actuaciones.

3. CONCLUSIONES

3.1. Constataciones

Pérdida de control:

- El helicóptero perdió el control durante una maniobra de estacionario sobre el embalse Estanca del Gancho, tras 14 minutos de vuelo.
- La pérdida de control se produjo por la desconexión completa e instantánea del eje de transmisión principal de la caja de engranajes.
- Tras la rotura del eje, los motores y el rotor reaccionaron como se esperaba.
- Los motores se mantuvieron en funcionamiento hasta el impacto.
- Las 6 uniones roscadas que mantenían unido el eje de transmisión principal con la caja de engranajes habían perdido su integridad y habían desaparecido de sus alojamientos.
- Una de las 6 uniones roscadas había estado trabajando sin tuerca autofrenante.
- Tres de las 6 uniones roscadas presentaban evidencias de haber estado trabajando con un par de apriete por debajo del apropiado. Estas uniones habían roto finalmente por sobrecarga.
- Las instrucciones de mantenimiento del fabricante permitían la reutilización de todos los elementos (tornillos, arandelas y tuercas autofrenantes) de las uniones roscadas del eje de transmisión principal.
- Las instrucciones de mantenimiento del fabricante no incluían en el MM, aunque sí en el SPM, la necesidad de comprobar el tare torque como requisito para la reutilización de las tuercas autofrenantes.

Impacto:

- El impacto contra el agua se produjo después de un descenso no controlado desde 7 metros de altura que duró 2 segundos.
- El impacto tuvo una marcada componente vertical.
- Los daños exteriores del helicóptero fueron producidos por el contacto con el agua.
- Los daños del eje de transmisión principal fueron previos al impacto.

Incapacidad para mantener el estacionario previa a la rotura del eje de transmisión:

- El helicóptero tuvo problemas para mantener el vuelo estacionario antes de la rotura del eje de transmisión principal.
- Durante la realización del último ciclo de ascenso-descenso, las NR y las N1 de ambos motores se mantuvieron estables y parejas en el 95%.
- No se encontró ninguna anomalía en el sistema de control de potencia y combustible del helicóptero que hubiese podido contribuir a los problemas de potencia. Por el contrario, las modificaciones que se habían realizado permitían el suministro de más combustible de los límites del fabricante.
- Se confirmaron variaciones en los reglajes de determinados componentes del sistema de control de potencia y combustible no permitidos en las instrucciones del fabricante orientadas a proporcionar más combustible y, por lo tanto, más potencia.
- La incapacidad para mantener el estacionario no estuvo relacionada con la rotura del eje de transmisión.

3.2. Causas/Factores contribuyentes

La causa del accidente fue la pérdida de control en vuelo del helicóptero por la desconexión del eje de transmisión principal de la caja de engranajes debido a la pérdida de integridad de las 6 uniones roscadas que las mantenían unidas, tras estar trabajando, al menos una de ellas, sin tuerca autofrenante, y el resto en un estado degradado por pérdida del par de apriete.

Se han considerado posibles factores contribuyentes al accidente las instrucciones y prácticas de mantenimiento del eje de transmisión principal:

- La reutilización de los elementos de las uniones roscadas.
- La ausencia de comprobación del tare torque, como requisito para la reutilización de las tuercas, en el procedimiento de mantenimiento.
- Las prácticas de comprobación del tare torque realizadas por el operador.

4. RECOMENDACIONES SOBRE SEGURIDAD OPERACIONAL

La investigación ha determinado que las instrucciones y prácticas de mantenimiento del eje de transmisión principal del helicóptero BELL412 generan condiciones que pueden favorecer la pérdida de torque de las uniones roscadas que mantienen unido el eje a la caja de engranajes y a la transmisión. Estas condiciones están relacionadas con la reutilización indefinida de los elementos de las uniones roscadas y la aplicación del tare torque de los elementos autofrenantes. Con el objetivo de minimizar estas condiciones se emiten las siguientes recomendaciones de seguridad:

REC 34/23. Se recomienda a Bell Helicopter Textrom que considere modificar el Manual de Mantenimiento del helicóptero Bell412 para incluir, en los procedimientos de mantenimiento del eje de transmisión principal, la sustitución de todos los elementos (tornillos, arandelas y tuercas autofrenantes) de las uniones roscadas cada vez que se actúe sobre estas uniones.

REC 35/23. Se recomienda a Bell Helicopter Textrom que considere modificar el Manual de Mantenimiento del helicóptero Bell412 para incluir alertas sobre la necesidad de comprobar el tare torque en elementos autofrenantes.

REC 36/23. Se recomienda a ROTORSUN que recuerde a su personal de mantenimiento la necesidad de comprobar el tare torque cuando se está realizando mantenimiento en uniones roscadas que utilizan elementos autofrenantes.

Se han identificado actuaciones de mantenimiento en algunos componentes del sistema de control del combustible del helicóptero EC-MTS consistentes en la modificación de los reglajes para proporcionar más combustible, y por tanto más potencia. Estas modificaciones no están permitidas por el fabricante desde hace más de 20 años. Aunque la investigación no ha podido determinar en qué periodo fueron realizadas estas actuaciones (si con el actual o con el antiguo propietario), se emite la siguiente recomendación de seguridad:

REC 37/23. Se recomienda a ROTORSUN que tome las medidas necesarias para asegurar que los componentes instalados en sus helicópteros cumplen con las especificaciones de mantenimiento definidas por los fabricantes.

Durante el proceso de abandono de la tripulación del helicóptero en el agua del embalse se constató que la tripulación no había utilizado el chaleco y el dispositivo de respiración portátil. Aunque no tuvo consecuencias en la supervivencia de la tripulación se considera necesario emitir la siguiente recomendación de seguridad:

REC 38/23. Se recomienda a ROTORSUN que recuerde a sus pilotos la conveniencia de utilizar los dispositivos portátiles de salvamento cuando se produzcan impactos sobre el agua.