



Anexo C





Índice

1. Inspección a la Unidad de Adquisición de Datos (Data Acquisition Unit, DAU). _____	2
1.1. Conclusiones de la inspección del DAU. _____	3
2. Resultados de la inspección al audio de las comunicaciones. _____	3
2.1. Conclusiones del audio de las comunicaciones. _____	4
3. Inspección a las luces del panel de advertencia y de precaución. _____	4
3.1. Conclusiones de los bulbos del MC y MW. _____	8



1. Inspección a la Unidad de Adquisición de Datos (Data Acquisition Unit, DAU).

En el sitio del accidente se ubicó el componente electrónico denominado Unidad de Adquisición de Datos, DAU (Data Acquisition Unit) NP 109-0900-76-6A01 N/S Ver 3 el cual por decisión del grupo de investigadores y expertos del fabricante se decidió que dicho componente fuera trasladado a las instalaciones de Logic S.p.A., en Cassina De' Pecci, Milán, Italia, para poder realizar la extracción de la información.

Inspección visual

La inspección visual inicial se detectó daño extenso producido por fuego en la unidad. La carcasa se encontró muy distorsionada con la cubierta lateral parcialmente fuera de lugar de diseño. La parte frontal de la caja estaba severamente dañada; la batería ya no estaba en su lugar dejando un orificio desde el cual las partes internas eran visibles.

Se evaluó que al mover el DAU, algunos de sus componentes internos se desprendieron junto con una gran cantidad de polvo negro. Estos componentes no pudieron ser identificados ya que todos presentaban daños por calor y no se logró recopilar ninguna información sobre el número de parte relacionada.

Inspección interna

Se abrió la caja para evaluar las condiciones internas del componente por lo cual se removió la cubierta lateral para lo cual fue necesario cortar el soporte de la carcasa que todavía estaba unido a los conectores traseros.

Posteriormente se retiró la cubierta lateral y las tarjetas electrónicas internas quedaron expuestas. Todos los tableros mostraron deformaciones mecánicas y graves daños por fuego. Las dos tarjetas donde van instalados los chips de MNV (Memoria no volátil – Non Volatile Memory), se retiraron para realizar una inspección más detallada. Las tarjetas donde van instaladas los chips de MNV se limpiaron mientras que el resto de las tarjetas que no guardan información se retiraron del interior de la carcasa del DAU. La limpieza de las tarjetas destacó que todos los componentes electrónicos de las tarjetas se desprendieron como resultado de la exposición al calor.

Al inspeccionar en el interior de la carcasa del DAU, se observó una serie de chips con diferentes formas y dimensiones, todos ellos mostraban un gran daño por calor, sin embargo, fue posible, comparando la forma y el número de pines identificar dos chips de memoria no volátil que estuvieron instalados en las dos tarjetas.

Debido al daño sufrido por la temperatura a la que estuvieron expuestos, no fue posible identificar claramente el número de parte de estos chips ni evaluar la posición original en las tarjetas de MNV.

Los dos chips fueron inspeccionados usando un microscopio óptico para evaluar el estado de estos. El primer chip inspeccionado se identificó como "CHIP 1", este estaba completamente cubierto de hollín. En ambos lados superior e inferior se identificaron una serie de grietas a lo largo del perímetro del chip. Todos los pines de conexión todavía estaban presentes; sólo dos de ellos presentaban pequeñas deformaciones, pero aún se encontraban en su posición de diseño.

El "CHIP 2" también presentó las mismas evidencias que el "CHIP 1". En dos de los pines se identificaron restos que probablemente provenían de otros componentes.



Recuperación de datos.

A pesar del daño severo observado, se acordó que se debería realizar un intento de recuperación de datos en ambos chips. Ambos chips fueron conectados sin embargo el lector mandó un mensaje de error en la memoria por lo que no fue posible la recuperación de datos.

1.1. Conclusiones de la inspección del DAU.

La inspección logró identificar 2 de 16 chips de memoria no volátil. Los dos chips recuperados mostraron un gran daño por estar expuestos a calor y fuego comprometiendo su funcionalidad. Por lo tanto, no se han recuperado datos.

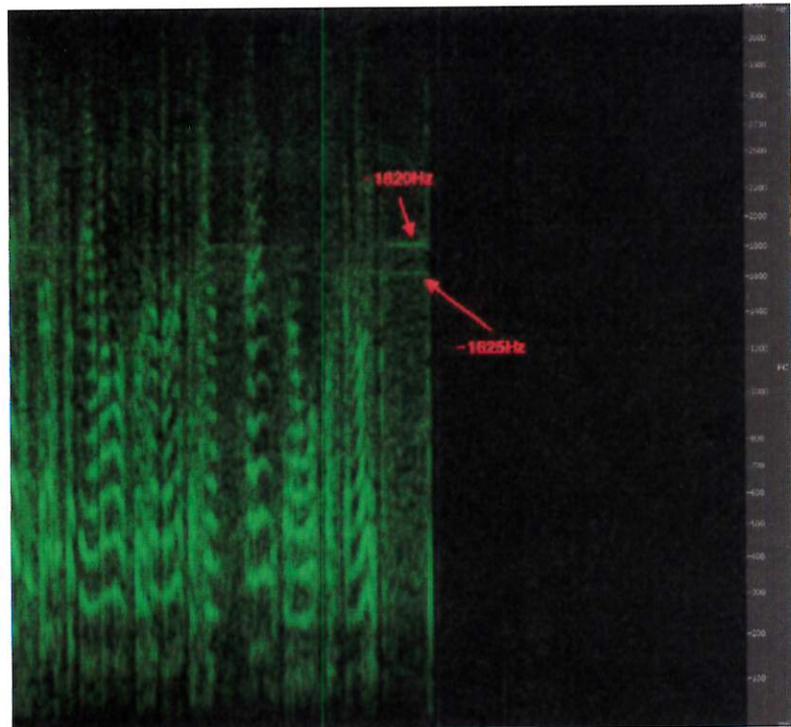
2. Resultados de la inspección al audio de las comunicaciones.

En la reunión celebrada del 01 al 12 de abril de 2019 en las instalaciones de Leonardo Helicopters, ubicadas en Cascina Costa, Milán, Italia, el Investigador a cargo compartió con el grupo de expertos el audio de las comunicaciones establecidas entre la aeronave XA-BON y la Torre de Control Puebla, por lo que solicitó al Fabricante que realizará un análisis de espectro del audio disponible para identificar en las frecuencias, sonidos relevantes para ayuda de la investigación.

El investigador a cargo entregó un archivo de audio que incluye todas las comunicaciones establecidas por la tripulación del XA-BON con la Torre de Control Puebla, así como otras comunicaciones de radio de otras aeronaves. El archivo tiene una duración de 00:14:58.368 minutos, el cual fue proporcionado por SENEAM a través de la Torre de Control Puebla. De acuerdo con el reporte del fabricante la calidad del contenido del archivo de audio es muy deficiente, sin embargo, lograron identificar con la ayuda de un software en la frecuencia del archivo de audio del XA-BON la frecuencia de rotación cercana a 1'820 Hz del acoplamiento entre el piñón Gleason y el engranaje dentro de la carcasa del Main Gear Box y posiblemente una segunda armónica que es compatible con la del engrane planetario (Planet Gear) 1'625 Hz, ambas con referencia a la velocidad de rotación al 100%. Debido a la baja calidad del audio no lograron identificar otras frecuencias en el archivo de audio del XA-BON.



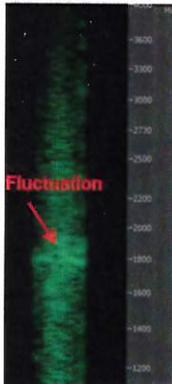
2.a. Audio de muestra



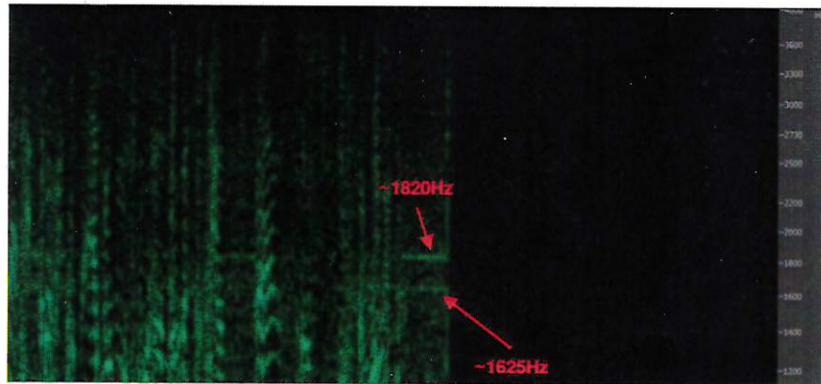
2.b. Espectro del audio se aprecian las dos frecuencias



El área de especialistas de Leonardo Helicopters también realizó el análisis a la última transmisión desde el helicóptero, en el minuto 00:14:486, en la cual no hay voz o evidencia de identificación de helicóptero, esta transmisión dura aproximadamente 200 msec esta comunicación se vio afectada principalmente por un ruido en toda la transmisión, sin embargo, el software que realiza el análisis de espectro fue capaz de identificar una frecuencia de alrededor de 1'820 Hz que parecía fluctuar ligeramente en el rango entre 1'820 Hz y 1'775 Hz. Esta frecuencia de 1'775 Hz es compatible con una velocidad de rotación de aproximadamente el 98%, siendo esta la última transmisión que se tiene en el archivo de audio.



2.c. Audio del 00:14:486 min



2.d. Fluctuación en la velocidad de rotación del rotor principal

2.1. Conclusiones del audio de las comunicaciones.

Teniendo en cuenta las evidencias del audio de las comunicaciones establecidas entre el XA-BON y Torre de Control Puebla, es posible determinar que el XA-BON no mostró ningún comportamiento de frecuencia inusual durante las comunicaciones establecidas con los Servicios de Tránsito Aéreo.

La última parte de audio ubicada a los 00:14:486 min de duración del archivo de audio, se destaca una posible frecuencia fluctuante en torno a los 1'820Hz, sin embargo, por las evidencias disponibles no se puede determinar en qué momento del vuelo se produce esta fluctuación y ésta correlacionarla con el momento de la pérdida de control del helicóptero.

También esta fluctuación se pudo deber a un cambio de actitud del helicóptero o de la dirección del viento.

3. Inspección a las luces del panel de advertencia (Master Warning, MW) y de precaución (Master Caution, MC).

Los investigadores en el sitio del accidente localizaron entre los restos del helicóptero un indicador del panel de instrumentos denominado Master Warning¹ (P/N 109-0729-43-3) y uno de Master Caution (P/N 109-0729-43-1), por lo que en la reunión celebrada del 01 al 12 de abril de 2019 en las instalaciones de Leonardo Helicopters, el Investigador a cargo solicitó a los expertos de Leonardo Helicopters que realizara una prueba destructiva a los bulbos instalados en cada indicador y determinar si estos bulbos estaban encendidos al momento del accidente, por lo que los expertos del fabricante determinaron lo siguiente:

¹ Cada indicador de MW y MC se encuentran instalados uno del lado izquierdo y uno en el lado derecho del panel de instrumentos. Cada indicador incluye un botón de interruptor (push-button switch) para relevar el indicador y por razones de seguridad, cada indicador contiene cuatro bulbos independientes por cada indicador.

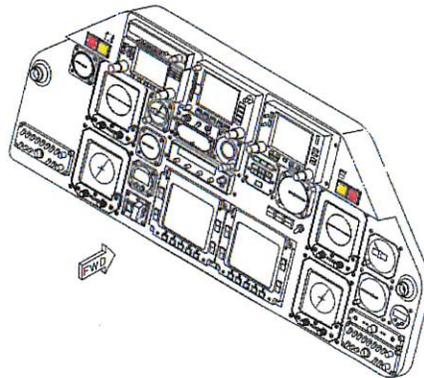


3.a. Master Caution con sus bulbos en su interior



3.b. Master Warning con sus bulbos en su interior

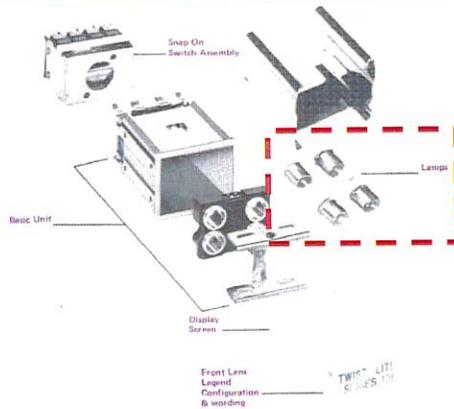
La Unidad de Adquisición de Datos (Data Acquisition Unit - DAU) procesa todas las señales recibidas por los sensores instalados en el helicóptero y activa los indicadores de MW y/o MC. Cuando una señal de advertencia (warning) es mostrada, los dos indicadores de MW parpadean a una velocidad de flash de 4 ± 1 Hz, y deshabilitan su funcionamiento cuando la señal de relevo a discreción de la advertencia (warning reset discrete) es emitida a través de la activación del Interruptor de MW. Si existiera una falla en el circuito de destello, entonces existirá una condición de "steady-on" (las luces permanecerían encendidas) para los MW. Este mismo proceso se produce para las señales de precaución en el MC. El relevo de los MW y/o MC se puede hacer a través del botón de relevo maestro (master reset push-button) ubicado en la palanca del bastón de control de colectivo del piloto o en el botón que se encuentra en el panel de control del helicóptero, al mismo tiempo, en caso de mal funcionamiento del equipo/sistema, este es mostrado a través del indicador de mensajes de advertencia en rojo (red warning messages) o mensajes de precaución en amarillo (yellow caution messages).



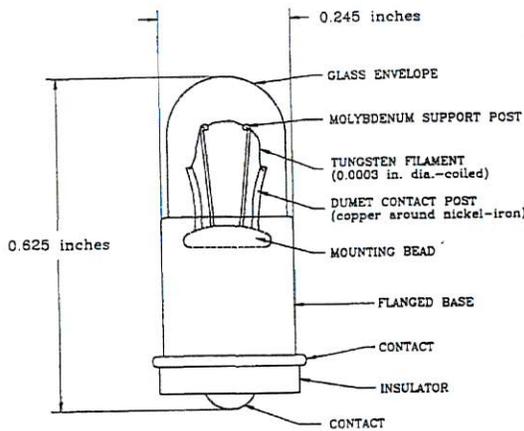
3.c. Ubicación de las Luces de Máster Caution & Warning Lights en el panel de instrumentos

Bulbo.

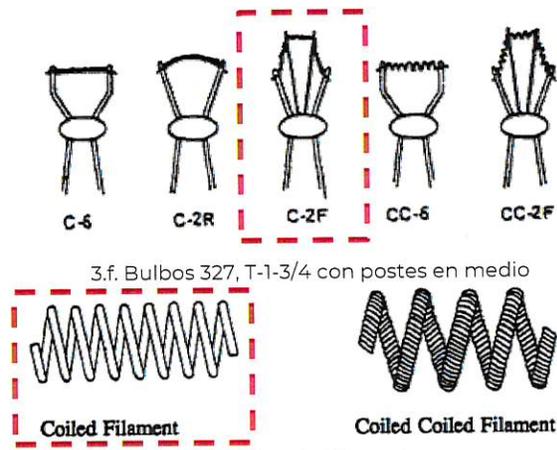
Es un pequeño foco incandescente de vidrio con un gas inerte en su interior para evitar la oxidación del filamento, la estructura del filamento es de tungsteno y una base. En la Figura 3.a., se muestra una lámpara típica, del tipo 327. Dependiendo del foco, el filamento puede tener varias geometrías y puede estar apoyado sólo en sus extremos por postes de contacto o tener soportes adicionales en puntos intermedios desde los postes de soporte (ver figura 3.g.). En las unidades en cuestión, se utilizan bulbos incandescentes de 28 volts, tipo 327 T-1-3/4 con postes en medio, este tipo usa la configuración C-2F, donde la designación "C" indica que se utiliza un filamento enrollado, mientras que "2F" es la designación para la estructura de soporte.



3.d. Ubicación de los bulbos dentro de las luces de MC y MW



3.e. Características de un bulbo tipo 327



3.f. Bulbos 327, T-1-3/4 con postes en medio

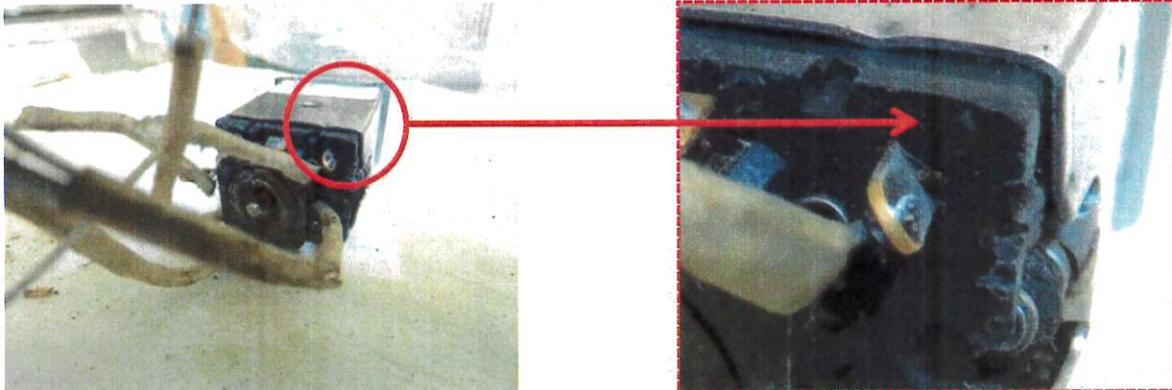
3.g. Tipo de filamento

Observación inicial.

Una inspección visual inicial destacó daños mecánicos significativos en los indicadores del MC y MW sin embargo no hubo daños por incendio. Las carcasas de ambos paneles maestros de Luces (Máster Lights) estaban intactas, ligeramente aplastadas debido al impacto. La parte frontal del MC light no está dañada estaba en su lugar y el vidrio no está roto. La parte frontal de las luces del MW estaba dañada y no se encontraba en su lugar, aunque cabe destacar que el vidrio no está roto.

Desensamble.

La carcasa del MC se retiró sin mayor problema mientras que la del MW fue necesario cortarla para extraer la unidad interna sin riesgo de daño, se logró extraer todos los bulbos, estos no mostraron daños. Para cada indicador de MW y MW, los 4 bulbos se identificaron con las letras "A", "B", "C" y "D" siguiendo las inscripciones del lado posterior de la unidad básica del que fueron extraídos.



3.h. Ubicación de los identificadores de posición de los bulbos del MW y MC

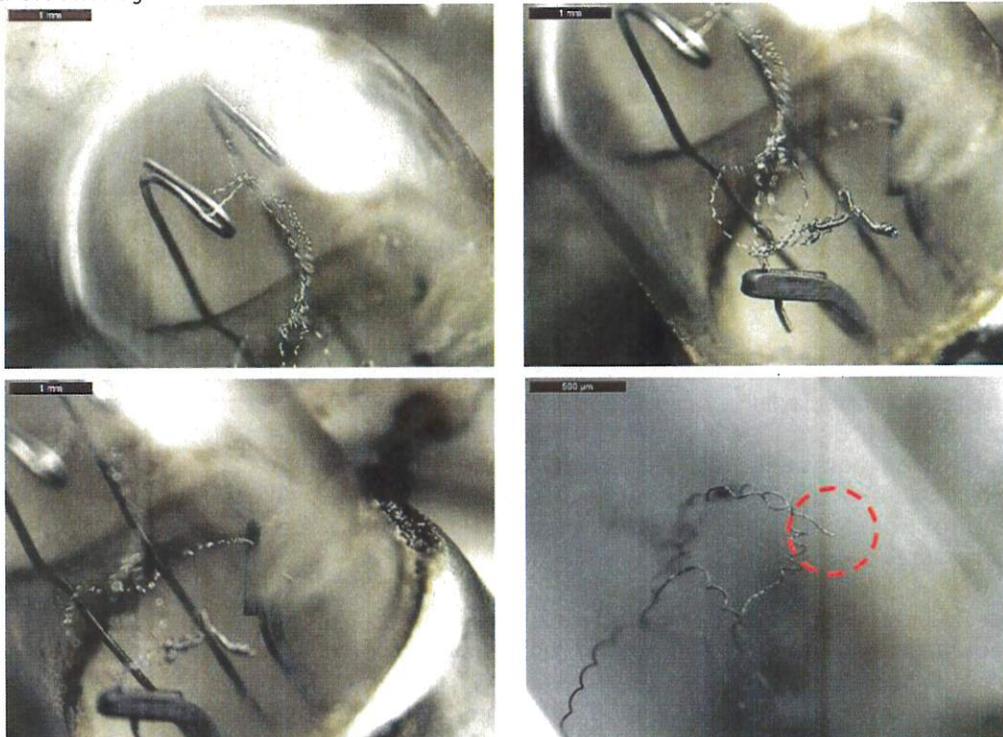
Prueba de conductividad eléctrica.

Se realizó una prueba de continuidad eléctrica a los ocho bulbos, los resultados se presentan en la siguiente tabla.

	A	B	C	D
Máster caution bulb	Positive	Negativo	Positive	Positive
Máster warning bulb	Positive	Positive	Positive	Positive

Inspección interna.

Las imágenes tomadas stero-microscope muestran la deformación de los filamentos de los bulbos. Todos los bulbos no se encontraron dañados. Solamente el bulbo B del MC que no pasó la prueba de continuidad eléctrica y muestra un filamento fracturado.



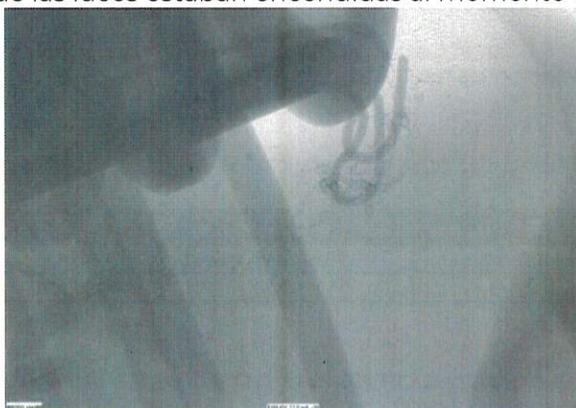
3.i. Bulbo B del MC, la cubierta de vidrio intacta, el filamento fracturado (círculo rojo) con alta deformación.



Inspección no destructiva a los indicadores de MW y MC, en la NTSB.

Posterior a la reunión celebrada del 01 al 12 de abril de 2019 en las instalaciones de Leonardo Helicopters, el Investigador a cargo (IAC) acudió el 15 de abril de 2019 junto con el representante del Fabricante del helicóptero en México, al hangar donde se tienen resguardados los restos del helicóptero, logrando recuperar de entre los restos los dos indicadores de Master Warning y Master Caution restantes, por lo que el IAC determinó en conjunto con el representante de la NTSB él envió de estos componentes y de la bomba hidráulica derecha para las pruebas destructivas correspondientes.

El 26 de julio de 2019 se llevó a cabo la inspección no destructiva que realizaron los expertos de la NTSB a los indicadores de MW y MC, concluyendo lo mismo que los expertos de Leonardo Helicopters que las luces estaban encendidas al momento del accidente.



3.j. Bulbo B del MW, la cubierta de vidrio está intacta, así como el filamento elongado



3.k. Bulbo B del MC, la cubierta de vidrio está intacta, así como el filamento elongado

3.1. Conclusiones de los bulbos del MC y MW.

La investigación realizada indica que las luces estaban ENCENDIDAS al momento del impacto. Todos los bulbos, observados en el microscopio estereoscópico, muestran a los filamentos con una alta deformación consistente en serpentear, enredados y estirados, típico de un filamento dúctil caliente después de un impacto severo (altas gravedades y de poca duración). En particular, el enredamiento del filamento es una fuerte indicación de que los bulbos estaban en PUESTO (ON), este tipo de deformación nunca se ha observado en filamentos fríos (luz apagada) sometidos a una aceleración de 2,500 g.

Todos los filamentos están intactos, excepto el bulbo B del MC, que muestra una fractura. La superficie de la fractura observadas en el microscopio de electrones (Scanning Electron Microscopy - SEM) muestra un aspecto liso y redondeado, indicativo que el filamento estaba caliente al momento del impacto. A pesar de que la investigación realizada a los bulbos de los indicadores de MC y MW indica que las 8 lámparas estaban ENCENDIDAS al momento del impacto, es importante considerar la posibilidad que el impacto inicial haya causado daños eléctricos que cambiaron el estado de los bulbos, mostrando una falsa indicación de precaución (caution)/advertencia (warning) que no existía antes del impacto.

Finalmente, las luces de indicación de advertencia (Master Warning) y precaución (Master Caution) también pudieron haberse activado por condiciones tales como Altas revoluciones del Rotor (ROTOR HIGH), bajas revoluciones del Rotor (ROTOR LOW), presión de aceite de la transmisión (XMSN OIL PRES), etc., debido a posibles actitudes extremas del helicóptero en los momentos previos al impacto.