

# Investigación de accidentes en aeronaves militares: aspectos técnicos

FRANCISCO JAVIER ILLANA SALAMANCA,  
*Teniente Coronel Ingeniero Aeronáutico*

**P**OR su naturaleza el vuelo es peligroso y es forzoso reconocer que el único modo de evitar todos los accidentes es prohibir los vuelos, solución que sería similar a la de prohibir la utilización de automóviles para evitar los accidentes de circulación. El accidente aéreo tiene repercusiones en el personal y material que suponen un serio desgaste en una Fuerza Aérea y, en síntesis, afecta directamente a la eficacia con que ésta debe hacer frente a los objetivos marcados. Esta triple repercusión, personal, material y eficacia, hace que la seguridad en vuelo sea una obsesión permanente en el Ejército del Aire donde (según establece la IG-10-9) el número de accidentes permitido es CERO.

En la aviación militar hay ciertos tipos de operaciones (estafetas, transporte de personal, etc.) que podrían ser semejantes a los vuelos de las líneas aéreas, en ellas el concepto seguridad tiene, asimismo, un significado similar; otras, por el contrario, son de tal naturaleza (misiones de entrenamiento propias de la aviación de combate) que introducen factores de riesgo inaceptables para la aviación civil. Este hecho no significa que pueda ser justificación de accidente (todo accidente es evitable) o para asumir riesgos innecesarios.

Estas peculiaridades propias de operación de la aviación militar obliga a tratar la seguridad de funcionamiento de forma diferente desde la fase de diseño de la aeronave. Los requisitos de cumplimiento de misión constituyen un parámetro esencial que dirigirá el diseño de la aeronave militar, los requisitos logísticos y de seguridad entran al mismo nivel pero sin condicionar al primero. Esta situación es mundialmente reconocida de forma que se admite que las aeronaves militares no sigan los mismos criterios (normas FAR, etc.) que las civiles para obtener el certificado de aeronavegabilidad, disponiendo cada fuerza aérea de sus propios centros de homologación.

Si partimos de la hipótesis de que todo accidente es previsible y, en consecuencia, evitable, es indudable que no es posible prevenir accidentes si no se conocen las causas de éstos y éstas sólo pueden conocerse mediante una investigación. El objetivo de ésta debe ser, en primer lugar esclarecer todos los factores (humanos, de material, etc.) que han contribuido al accidente y en segundo lugar, aunque sea quizás lo más importante, el descubrir cuáles han sido las razones básicas de por qué ha ocurrido el error humano o fallo de material para evitar que se vuelva a producir y contribuir así al aumento del nivel de seguridad bajo el cual está operando la aviación militar.

Los accidentes aéreos son motivados por diferentes causas, destacando dos en particular: Error humano y fallo de material. En el Ejército del Aire las primeras contabilizan aproximadamente un 55% y las segundas un 30%.

El fallo de material es un concepto muy amplio, que puede abarcar multitud de situaciones: Defectos en el diseño, roturas por fatiga, averías, fuegos, etc. La investigación debe ir encaminada, como ya hemos dicho, a descubrir cuál es el factor que ha contribuido al accidente (p.e. una rotura estructural) y a revelar cuál es la causa de este hecho (p.e. el piloto sometió a la aeronave a una maniobra fuera del margen permitido, o hubo una operación de mantenimiento defectuosa o el material presentaba defectos de diseño), situación que es consecuencia del hecho de que cualquier accidente de aviación es normalmente producto de un conjunto de factores encadenados. Desentrañar cada uno de los eslabones de esta cadena es objetivo de la investigación.

Entendemos por investigación técnica, aquella que trata de esclarecer el comportamiento de la aeronave y sus equipos antes y durante el accidente. Tanto la aviación comercial como la

militar ha ido, en base a la experiencia acumulada, desarrollando metodologías para hacer frente a la, cada vez más compleja, investigación técnica de accidentes. Estas metodologías tienen, evidentemente, muchos puntos comunes, pero la aplicación de las mismas será diferente según el caso que se trate. Vamos a dar un repaso a la metodología general utilizada (que queda plasmada en la mencionada IG-10-9) para tratar después de exponer, a juicio del autor, los elementos diferenciadores del caso particular de la aviación militar.

## METODOLOGIA GENERAL

**E**n toda investigación técnica se sigue un procedimiento general que puede dividirse en tres áreas:

- a) Análisis de los restos e investigación preliminar.
- b) Recuperación y preservación de los restos.
- c) Investigación en detalle.

La investigación preliminar, basada en el análisis de los restos, tiene por objeto efectuar un primer estudio del accidente y determinar el alcance de la investigación que debe efectuarse. Posteriormente se recuperarán y preservarán los restos en un área controlada para proceder a la investigación en detalle.

## ANALISIS Y RECUPERACION DE LOS RESTOS

**E**l escenario de un accidente es terriblemente deprimente y hay tendencia (acentuada si ocurre en cercanías de áreas urbanas) a retirar cuanto antes los restos. Sin embargo el examen de éstos es una pieza esencial para determinar la causa del accidente y cualquier manipulación no controlada de los mismos puede perjudicar seriamente la investigación. Los restos no deben moverse hasta que cada pieza haya sido identificada y marcada su situación para poder reconstruir, posteriormente, la escena completa del accidente.

El examen de la situación de los restos y del escenario donde ha ocurrido el accidente permitirá, normalmente, definir cómo el avión ha impactado en el suelo o en cualquier objeto (árboles, edificios, etc.). Cada tipo de accidente deja un rastro o senda diferente:

Una desintegración estructural en vuelo será distinta a un impacto directo o una barrena o un vuelo a baja cota o una pérdida de control. Con este examen se puede fijar el alcance que debe tener la investigación, pero sin caer en la tentación de efectuar conclusiones prematuras.

Como ayudas en esta fase el investigador debe contar con abundantes fotografías, si son aéreas mejor, que permitan tener una vista general de los restos con los principales elementos de la aeronave identificados. Al finalizar esta fase, un investigador experto, puede hacerse una idea de:

1. Dirección, ángulo y velocidad de descenso.
2. Si el descenso fue controlado o incontrolado.
3. Si los motores desarrollaban o no potencia en el momento del impacto.
4. Si la aeronave mantenía su integridad estructural en el momento del primer choque.

De este examen se deben seleccionar aquellas partes o piezas que se puedan considerar de interés, sobre las que se pueda tener sospecha de que han fallado. Estos elementos deben ser conservados (mediante un envoltorio apropiado) para evitar daños posteriores que puedan perturbar la investigación y etiquetados con su posición exacta en el accidente. Ejemplos típicos



*La posición de las palas de una hélice es indicio importante. Sin embargo cualquier conclusión debe estar basada en el análisis de los mecanismos interiores.*

de estos son: Tren de aterrizaje, herrajes estructurales, cables y líneas hidráulicas del sistema de control de vuelo, instrumentos, actuadores hidráulicos, motores, hélices, accesorios, etc.

En una aeronave hay sustancias inflamables, principalmente combustible y líquido hidráulico, por lo que un accidente irá normalmente acompañado de fuego. Aspecto importante durante esta primera fase es tratar de averiguar el origen de éste, para determinar si fue anterior o posterior al impacto. Las huellas que deja un incendio con el avión en movimiento, son totalmente distintas a las ocasionadas por fuego al impacto, en el que el combustible u otras sustancias inflamables son lanzadas fuera del punto principal del choque. Nunca se debe presuponer que las causas de un accidente no pueden determinarse porque el fuego ha destruido los indicios, por ejemplo, un motor puede estar dañado por el exterior pero no presentar ningún daño en su interior. Por último indicaremos que la temperatura a la que ha estado sometido un metal puede ser estimada, por un experto, en base a la coloración que presenta y en el laboratorio, mediante análisis metalográficos.

## INVESTIGACION EN DETALLE

**S**E tratará, en líneas generales, cómo se efectúa una investigación de este tipo. Una vez que ha concluido la primera fase, disponemos de los restos de la aeronave en un hangar o cualquier otro lugar apropiado. Este lugar debe sólo ser accesible a personal que intervenga directamente en la investigación, evitando cualquier manipulación por personal no experto que pueda ocasionar daños adicionales a los restos o perturben el desarrollo de la misma.

El objetivo en mente de todo investigador, es averiguar qué falló primero y cuál ha sido la secuencia posterior de sucesos, partiendo del examen preliminar efectuado durante la primera fase. En general se centrará en uno o varios de los siguientes aspectos:

- A) Fallo estructural.
- B) Fallo en la planta de potencia.
- C) Fallo en sistemas de a bordo: hidráulico, combustible, eléctrico, etc.
- D) Fallo en los sistemas de control de vuelo.
- E) Comportamiento de los sistemas de emergencia.

## FALLO ESTRUCTURAL

**E**N este caso el fallo de la estructura puede haber desprendido elementos que serán encontrados lejos de la zona principal de acumulación de restos, éstos serán objetos preferente hacia los que dirigir la investigación. En otras ocasiones el fallo estructural ha sido sólo la causa inicial del accidente, este es el caso de que, por ejemplo, ocurran deformaciones estructurales que interfieran con el sistema de control de vuelo, y entonces no será tarea sencilla la del investigador.

En estos casos puede ser necesario reconstruir la estructura completa de la aeronave, para poder determinar la secuencia de las roturas. Por reconstrucción se entiende la colocación de los diversos elementos en su posición anterior al fallo. Será como resolver un gigantesco rompecabezas de tres dimensiones, donde el ingenio y experiencia del investigador, jugarán un papel importante. Esta técnica se utiliza raras veces para la estructura completa y lo normal es reconstruir sólo aquellos elementos sobre los que, por otras razones, se dirige la investigación, ejemplos típicos son: planos, empenajes, superficies de control, etc.

El proceso a seguir precisa, primero, de tener perfectamente identificada cada pieza, para colocarla en su posición relativa para, a continuación, evaluar el daño que ha sufrido y compararla con las piezas adyacentes. Evidentemente si la rotura ha producido pocos trozos, la tarea puede concluir en unos días, pero, en caso contrario, puede llevar semanas.

La reconstrucción debe efectuarse en áreas controladas, que faciliten al investigador estudiar con detalle y tranquilidad los restos, lo cual le permitirá observar detalles que pueden pasar desapercibidos en la inspección preliminar, y donde pueda estar la clave de la investigación.

## FALLO EN LA PLANTA PROPULSORA

**E**L examen detallado de la condición en que se encontraba la planta propulsora de la aeronave, es una de las tareas principales del equipo investigador. En la mayoría de los casos, será necesario trasladar los restos a una instalación apropiada, donde se pueda

proceder, por personal experto, a despiezar el motor (o los motores). Una investigación de un accidente debe siempre pronunciarse (positiva o negativamente) sobre la contribución de la planta propulsora al mismo.

Los fallos internos de un motor son fácilmente reconocibles por personal experto, y cualquier accidente deja siempre el interior del motor en buenas condiciones, aunque el exterior esté muy deteriorado. Es habitual que sea el segundo o tercer escalón de mantenimiento el que efectúe esta operación.

En general hay dos tipos de motores utilizados en la aviación: turbinas y alternativos. Los primeros, a su vez, pueden pertenecer a varios tipos: reactores, turboejes y turbohélices. En el caso de que la aeronave vaya propulsada por hélice (mediante motor alternativo o turbina), este elemento se considera, a efectos de la investigación, como parte constituyente del grupo motopropulsor. Cada tipo de motor tiene sus modos típicos de fallo y, en consecuencia, procedimientos particulares de investigación. Normalmente se asigna a un equipo específico la investigación de este área.

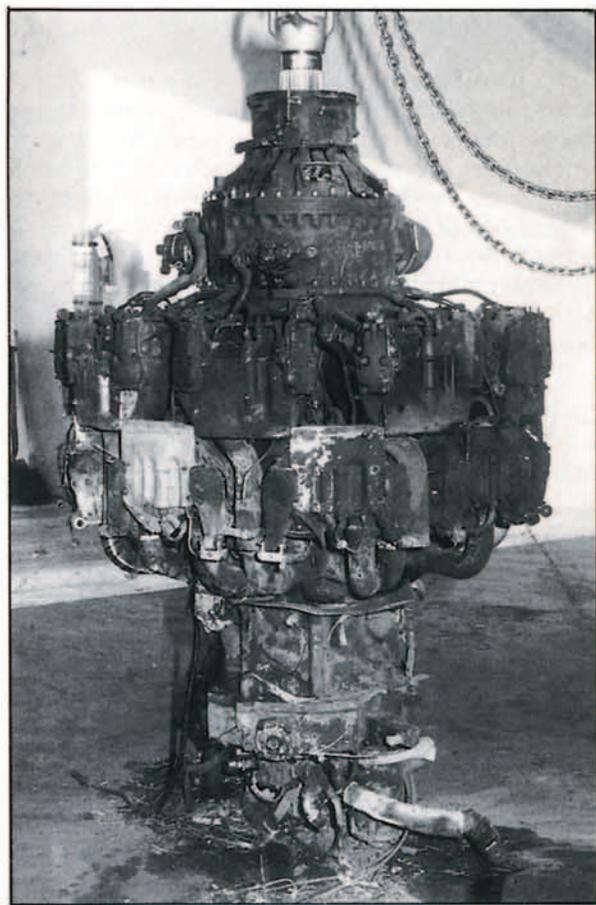
## FALLO EN LOS SISTEMAS

**L**A complejidad de los sistemas en una moderna aeronave y su relación entre ellos (cada vez el grado de integración es más elevado) complican la tarea del investigador, que debe incluir un examen detallado de cada uno de ellos como parte de su trabajo.

En general el sistema de combustible se estudiará en relación con tres puntos importantes: Determinación de la cantidad de combustible a bordo en el momento del impacto, funcionamiento del subsistema de alimentación al motor y posibilidad de contaminación.

El sistema hidráulico es el que proporciona energía para gobernar la aeronave. Las tuberías, bombas hidráulicas, filtros y depósitos, serán cuidadosamente examinados, tomando muestras, si es posible, de líquido hidráulico para buscar contaminación.

Con las actuales técnicas de control de vuelo tipo "fly-by-wire", el sistema eléctrico se ha convertido en uno de los vitales de la aeronave, por lo que los componentes de este sistema (conmutadores, fusibles, cables, etc.) deben ser examinados, tanto para buscar fallos en el funcionamiento de los mismos, como inducidos (p.e. en servoactuadores movidos hidráulicamente y controlados eléctricamente).



*Aunque superficialmente lo parezca, el fuego afecta poco al interior de un motor si su origen es exterior. Nunca debe presuponerse que el fuego impedirá llegar a esclarecer el accidente.*

## FALLO EN EL SISTEMA DE CONTROL DE VUELO

**E**N las aeronaves actuales, dotadas de un sistema de control de vuelo tipo "fly-by-wire", en los que hay una fuerte relación del hardware (servoactuadores, posición de superficies de control, etc.) con el software de los computadores del sistema, la tarea del investigador es extremadamente compleja. Si se sospecha que el accidente es debido a este sistema, es preciso determinar si el causante es el software (leyes de pilotaje programadas) o el hardware. En estos casos se precisará la utilización de simuladores que permitan duplicar, bajo las mismas condiciones, la secuencia del accidente.

## COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE EMERGENCIA

**A**UNQUE los sistemas de emergencia (principalmente de lanzamiento de asiento y cúpula en aviones de combate) no hayan intervenido en el accidente, es obligatorio la comprobación de su correcto comportamiento, para que si se detecta algún fallo, poder efectuar recomendaciones que aumenten la seguridad de funcionamiento de estos sistemas tan importantes para salvar vidas.

## ASPECTOS PARTICULARES DE LA INVESTIGACION TECNICA EN AERONAVES MILITARES

**C**OMO hemos indicado anteriormente, el hecho diferenciador parte de un principio básico: el diseño y operación de una aeronave militar parte de parámetros distintos a la de una que se va a utilizar comercialmente en el ámbito civil. De hecho un avión militar (de transporte, p.e.), tiene que ser adecuadamente certificado si quiere utilizarse por operadores no militares.

Los requisitos de misión son parámetros esenciales para diseñar un avión militar, que unido a lo que se ha llamado "lograr la sorpresa tecnológica sobre el enemigo", ha impulsado a los proyectistas a utilizar los últimos avances tecnológicos que, sin estar todavía maduros, se encuentran disponibles. Ejemplos de este hecho son la utilización de los materiales compuestos (fibras de carbono embebidas en resinas epóxicas), que vienen utilizándose en elementos estructurales desde principios de los 70 en la aviación militar, mientras que la civil no los ha empezado a emplear en condiciones semejantes hasta diez años más tarde. Otro tanto puede decirse de las técnicas de control de vuelo, conocidos por mandos eléctricos o fly-by-wire, en la terminología de lengua inglesa, utilizados desde hace 15 años por la aviación militar y que hoy comienza a utilizarse en la civil.

La utilización de los últimos adelantos tecnológicos, es una dificultad añadida a las habituales de una investigación técnica y personal sin experiencia en este campo, tendrá serias dificultades para llevar a cabo su tarea. Naturalmente, los técnicos más cualificados son los que estén familiarizados con el material y, éstos, son los que habitualmente lo operan y mantienen.

Otra circunstancia adicional a tener en consideración, es la ausencia de registrador de parámetros de vuelo (vulgarmente conocida por caja negra) en la mayoría de aviones militares. Este registrador permite reconstruir los instantes anteriores al accidente y es un auxiliar valiosísimo para la investigación. Este hecho acentúa aún más la necesidad de personal familiarizado y experimentado en el material. Los diseños actuales empeoran esta situación, así, por ejemplo, se utilizan de forma general pantallas de tubos catódicos (MDF, Multi Function Display) que sustituyen a los instrumentos clásicos de cabina, al cortarse la corriente a bordo, los MDF se borran totalmente y es imposible recuperar la información que contenían en el momento del accidente. Igual podemos decir del caso del "fly-by-wire" en los sistemas de control de vuelo, que deja poca evidencia de tipo mecánico (palancas, bielas, cables, etc.) en el lugar del accidente. Ante esta situación se está empezando a especificar como requisito de diseño, la incorporación de un registrador de datos para la próxima generación de aviones de combate (EFA, AX, etc.), pero continuará en los que actualmente están en servicio y no disponen de éste, ya que es difícil la incorporación de un sistema de este tipo, si no se ha previsto en el proyecto del mismo.

Otro aspecto a considerar es la utilización de elementos peligrosos como parte habitual de los sistemas y estructuras de aeronaves militares, con independencia de que lleve o no armamento. Nos referimos, por ejemplo, a los sistemas pirotécnicos de lanzamiento de cúpula y asiento, o a los depósitos de hidracina usados en los sistemas de emergencia de algunos aviones de combate, etc. Los restos de cualquier accidente de aeronave militar pueden, potencialmente, contener estas sustancias, y su manipulación debe dejarse sólo a personal técnico experto en la aeronave que se trate. Sin olvidar, por otro lado, la importancia que tiene el examen de la posición inicial de los restos y que cualquier manipulación de éstos debe siempre realizarse bajo esta perspectiva.

También es necesario mencionar la presencia de equipos o material confidencial, potencialmente a bordo de cualquier aeronave militar. La presencia de personal debidamente cualificado, desde el punto de vista técnico y de seguridad, es esencial desde el principio de la investigación. En ocasiones, el elemento confidencial es un tipo de arma que lleva el avión (p.e. un misil), añadiéndose la peligrosidad de su manipulación.

## CONCLUSION

**S** I en la investigación técnica de cualquier accidente, se necesita contar con un personal experto, en el caso de la aviación militar, es condición indispensable para poder realizarse, dados los condicionantes bajo los que se mueve. La experiencia debe estar basada en dos pilares: el conocimiento del material y de las técnicas generales de investigación de accidentes. Lo primero se adquiere, evidentemente, en la operación y mantenimiento de la aeronave y, el segundo, debe adquirirse mediante los cursos de capacitación correspondientes.

### C U A D R O

#### CUALIDADES DE UN BUEN INVESTIGADOR

**A** DEMAS de su experiencia y capacitación mediante cursos apropiados, cada miembro de un equipo de investigación de accidentes, debe poseer o desarrollar, una serie de cualidades para poder desarrollar con éxito su tarea. La Marina de los EE.UU. (referencia 3) recomienda lo siguiente:

1. **DISCRECION.** La capacidad para abstenerse de tomar cualquier decisión y emitir opiniones hasta que todos los datos han sido obtenidos, analizados y evaluados es, quizás, la virtud más importante que debe tener un investigador.
2. **CAPACIDAD DE TRABAJO EN CONDICIONES DESFAVORABLES.** La investigación de un accidente se realiza bajo unas condiciones, tanto físicas (lugares poco accesibles, restos desperdigados, etc.), como mentales (presiones ambientales), muy desfavorables.
3. **SENTIDO COMUN.** Todos los miembros de un equipo de investigación deben, además de unidad doctrinal y conocimiento de lo que hay que hacer, tener desarrollado un gran sentido común para encarrillar adecuadamente la investigación.
4. **INTEGRIDAD.** El investigador debe estar por encima de cualquier influencia e informar sólo los hechos que resulten de la investigación.
5. **FE.** El investigador debe estar convencido de que se podrá averiguar la causa del accidente.
6. **CURIOSIDAD.** Una buena dosis de curiosidad debe estar en posesión del investigador, que le espolee a descubrir todos los hechos dentro de un accidente.
7. **PERSEVERANCIA.** El investigador debe tener la habilidad de estudiar cada indicio, por muchos y variados, hasta descubrir la causa del accidente.
8. **CONOCIMIENTOS BASICOS.** El investigador debe poseer un conocimiento detallado del material involucrado en el accidente y de las técnicas de investigación de accidentes.
9. **TACTO.** El trato directo con gran variedad de personas involucradas en una investigación que, en ocasiones, son reacias a proporcionar información, exige un gran tacto por parte del investigador. ■

Así, el personal técnico del Ejército del Aire que está en contacto diario con el material y con los cursos específicos en técnicas de investigación, serán los adecuados para poder llevar a cabo una investigación técnica de un accidente. Tradicionalmente ha sido el personal de vuelo (pilotos) los que asisten a los cursos de seguridad en vuelo, tanto en España como en el extranjero, convocados. Creemos que el abanico de personal debe ampliarse al personal que realizará la investigación técnica (ingenieros), no sólo para lograr la unidad de doctrina que debe existir en cualquier investigación, sino, también, la adecuada capacitación técnica en este área.

Si, como se ha indicado al principio, el fin último de la investigación de un accidente es averiguar las causas primarias del mismo para evitar su repetición y, en consecuencia, las implicaciones en el personal, material y eficacia del Ejército del Aire; será necesario dedicar a la investigación el personal idóneo para su realización. Por las especiales características de este tipo de accidente, ese personal deberá ser el que opere y mantenga las aeronaves militares con la debida capacitación técnica en el área de investigación técnica. ■

#### BIBLIOGRAFIA ADICIONAL

Procedimientos detallados de investigación de accidentes se pueden encontrar en:

- |  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. INSTRUCCION GENERAL DEL EJERCITO DEL AIRE IG-10-9 "ORGANIZACION Y FUNCIONES DE LA SEGURIDAD EN VUELO EN EL EJERCITO DEL AIRE".</li> <li>2. MANUAL USAF AFM-62-5 "AIRCRAF ACCIDENT: PREVENTION- INVESTIGATION- REPORTING".</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>3. MANUAL US NAVY NAVAIR 00-80T-67 "AIRCRAFT ACCIDENT INVESTIGATION".</li> <li>4. MANUAL OACI. DOC 6920-AN/855/A "MANUAL DE INVESTIGACION DE ACCIDENTES DE AVIACION".</li> <li>5. MANUAL US NAVY NAVAIR 00-80T-67-1 "AIRCRAFT SAFETY ENGINEERING ACCIDENT INVESTIGATION GUIDE".</li> </ol> |
|--|---|