

EL presente trabajo trata de la influencia que tienen las pérdidas de aviones en tiempo de paz (accidentes) en la dimensión de una Fuerza Aérea desde dos puntos de vista fundamentales: Factor económico y Factor eficacia. Cuando se trata de planear la dimensión de una fuerza aérea para enfrentarse a la amenaza asignada se debe tener en consideración un hecho inevitable: se perderán un cierto número de aviones en misiones de entrenamiento en tiempos de paz que no podrán utilizarse contra el enemigo. Porque, aunque todo accidente es evitable, será inevitable que ocurran accidentes.

Un accidente es, siempre, consecuencia de una cadena de sucesos que por sí mismos no tienen porque ocasionar la pérdida de la aeronave pero el sinérgico del conjunto es fatal para la continuidad del vuelo.

Esta situación es consecuencia de la propia naturaleza del arma. El vuelo de una aeronave más pesada que el aire se conoce con el nombre de vuelo dinámico. El profesor Von Karman definió este tipo de vuelo como aquel en el que la sustentación es fuerza producida en el aire mediante el movimiento de sólidos; en contraposición a las aeronaves más ligeras que el aire, cuyo fundamento de sustentación es el empuje aerostático conocido desde la formulación por Arquímedes de su famoso principio. Una aeronave de estas características, bien sea de ala fija (avión) o de ala giratoria (helicóptero, autogiro), necesita de dos elementos para sostenerse en un medio que le es extraño: una superficie capaz de generar sustentación y una planta propulsora para mantener el movimiento.

Cuando se planifica la dimensión y el coste de sostenimiento de una Fuerza Aérea es obligatorio tener en consideración estas características propias de este arma. Un problema en la planta propulsora en un carro de combate o en un buque en raras ocasiones producirá la pérdida del arma, en un avión de combate la situación será muy distinta.

La seguridad de operación de una aeronave es una característica cuyo nivel se establecerá en el diseño de la misma. La forma de operar y mantener ésta debe asegurar que los niveles inherentes de seguridad alcanzados durante el

Pérdida de aviones por accidentes: factor a considerar en el planeamiento de la Fuerza Aérea

FRANCISCO J. ILLANA SALAMANCA,
Teniente Coronel
Ingeniero Aeronáutico

FRANCISCO JAVIER ILLANA SALAMANCA



INGENIERO Aeronáutico por la Universidad Politécnica de Madrid; Curso Investigación Operativa en la Universidad Complutense de Madrid. Introducción Informática Militar (Escuela Informática). Curso Técnicas

Estadísticas (EMACON). Curso Técnicas Ensayos No Destructivos (INTA). Curso Materiales Compuestos (INTA).

DESTINOS

Jefe Control Técnico ALAIZ. Miembro Equipo Evaluación Programa FACA. Adjunto para Ingeniería en la Dirección Programa EF-18. Adjunto para Ingeniería del Jefe Programa A-X. Jefe Grupo Mantenimiento Maestría Aérea de Madrid.

CONDECORACIONES

2 Cruces Mérito Aeronáutico 2ª Clase. 1 Cruz Mérito Aeronáutico 1ª Clase.

diseño no se vean degradados a lo largo del ciclo de vida de la misma.

¿Es posible cuantificar ese nivel de seguridad de una aeronave para poder planificar adecuadamente la dimensión de la fuerza? ¿Qué influencia tienen los accidentes en el coste de ciclo de vida y en la eficacia de un sistema de armas? Son preguntas que trataremos de contestar a lo largo de este trabajo.

EL COSTE DE CICLO DE VIDA DE UN AVION DE COMBATE

Para un sistema de armas este coste comprende los siguientes factores:

— Costes de investigación y desarrollo, que incluyen todos los estudios previos de mercado, estudios de viabilidad, desarrollo y construcción de prototipos, preseries, etc.

— Costes de operación y mantenimiento que incluyen los de personal, repuesto, combustibles y reparaciones a nivel industrial.

— Costes de adquisición que incluyen el coste de la aeronave en sí, más el soporte logístico (equipo de apoyo, documentación, entrenamiento de personal, etc.) necesario para que pueda operar.

— Costes de reposición de aviones perdidos en accidentes.

El concepto de coste de ciclo de vida de un sistema de armas ha ido ganando terreno como herramienta imprescindible en el desarrollo o selección de un nuevo sistema. Es indudable que el coste de adquisición de un sistema ha ido aumentando progresivamente a lo largo de las últimas décadas, sin embargo este factor supone solo alrededor de un 40% del coste total del ciclo de vida individualizado (sin contar reposición) de un sistema. Las técnicas actuales de Diseño a coste (Desing to Cost) y Diseño a coste de ciclo de vida (Desing-to-LCC) introducen este concepto desde las primeras fases de desarrollo para lograr un producto en el que todos los factores de coste estén equilibrados y cuyo resultante sea minimizar el coste total de ciclo de vida para unos requisitos de misión dados.

Han sido desarrolladas técnicas que permiten fijar y controlar el coste de adquisición (costes productivos), de operación (principal-

**CUADRO N.º 1
DEFINICIONES DE PARA MEDIR INDICES DE ACCIDENTES**

EL índice de accidentabilidad ("attrition rate" en la literatura inglesa) es el número total de accidentes por cada 10.000 horas de vuelo (100.000 horas de vuelo en USA) en un punto considerado del ciclo de vida de la flota. Los valores más elevados de este índice se experimentan durante los primeros años de servicio del sistema, la madurez y el aprendizaje de una flota son sinónimos. Un sistema se considera madurado cuando alcanza las 200.000 horas de vuelo (para un motor se considera típico pasar la marca del millón de horas de vuelo). Históricamente los índices acumulados de accidentabilidad siguen una curva de la forma:

$$Y = Ax^b$$

donde Y: es el índice acumulado. El exponente *b* es función del aprendizaje, en aviones de combate es representativo un aprendizaje del 85% (al doblar el número de horas el índice se multiplica por 0.85). A es una constante que suele expresarse como múltiplo del valor que toma el índice a las 200.000 horas de vuelo. La variable *x* representa el número de horas de vuelo acumuladas.

Otra curva también interesante es el índice instantáneo de accidentes, es decir los que en un momento dado del ciclo se están produciendo en la flota, se calcula derivando la expresión que representa las partidas acumuladas con respecto a la variable *y*.

$$\text{Pérdidas totales acumuladas} = Ax^{b-1}$$

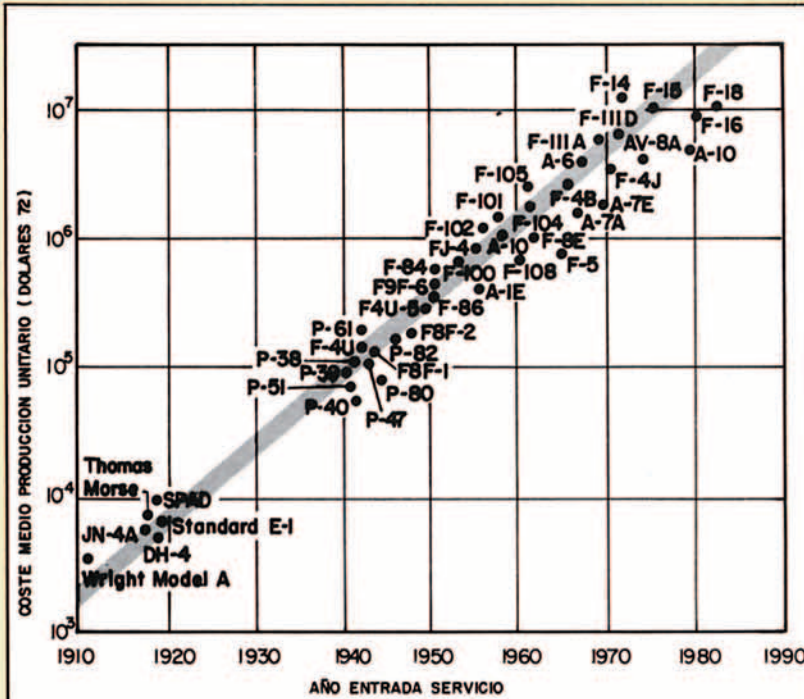
$$Y' = A(b-1)x^{b-2}$$

Integrando esta expresión puede extraerse el número medio de pérdidas dentro de un intervalo del ciclo de vida útil del sistema

$$y_i = \frac{Ax^{b-1} \Big|_c^d}{d-c}$$

(*d* y *c* son los límites superior e inferior, horas de vuelo, del intervalo considerado)

FIGURA 1



En este gráfico realizado por el Tte. Col. Tarantola de la Aeronáutica Militar Italiana (Referencia 1) puede comprobarse la evolución del coste de adquisición unitario de un avión de combate. Si en los años 30 se consideraba la aviación como el arma ideal de las naciones económicamente débiles, hoy no puede asegurarse lo mismo. El gráfico representa un coste medio del vehículo aéreo en sí, sin contar con los elementos de apoyo que le permiten operar y actuar como arma de guerra y que constituyen lo que se denomina más ampliamente sistema de armas.

mente mediante las características de fiabilidad y mantenibilidad del sistema) y de reposición, estas últimas se consideran a continuación con más detalle.

ESTIMACION DE PERDIDAS POR ACCIDENTE PARA UN AVION DE COMBATE

Para fijar el coste de reposición por accidentes de una flota de aviones de combate es necesario estimar previamente cuántas aeronaves se perderán por esta causa a lo largo del ciclo de vida útil del sistema. Esta estimación tiene, básicamente, dos aplicaciones; si se ha fijado el número de aeronaves (o eficacia de la flota) para hacer frente a la amenaza, servirá para prever los recursos necesarios para mantener el nivel de eficacia. Si se trata de comparar dos sistemas de armas, el número estimado de pérdidas será un factor muy importante para valorar el mérito de cada uno de los sistemas.

Para afrontar este problema se emplean, básicamente, dos enfoques:

a) Métodos deductivos. Mediante una serie de leyes o reglas generales puede llegarse a conclusiones particulares. El único método que sigue este enfoque es el denominado de "análisis de árboles de fallo" (FTA, Fault tree Analysis).

b) Métodos inductivos, mediante los que se alcanzan reglas generales en base a hechos concretos. Se trata de acumular una masa de datos sobre índices de accidentabilidad, seleccionar los que se considere convenientes y deducir reglas generales de aplicación a nuestro caso en concreto.

ESTIMACION DE PERDIDAS EN BASE AL ANALISIS DEL ARBOL DE FALLO

El análisis del árbol de fallo utiliza un procedimiento deductivo, "a posteriori", que va desde el efecto a la causa. Su objetivo es identificar todas las posibles combinaciones de fallo de material y errores humanos que pueden ocasionar un accidente, efectuar un cálculo numérico de la frecuencia con que ocurren y estimar el número de accidentes por hora de vuelo.

Primero se examinan todos los medios de fallo del material pero considerando exclusivamente situaciones aisladas (sin combinaciones). Estos sucesos no son difíciles de evaluar, sin embargo la mayoría de los accidentes son a menudo una combinación de errores humanos y fallos de material y, con frecuencia una cadena de varios sucesos. En consecuencia el paso siguiente consiste en identificar cualquier combinación de esos sucesos que pueden ocurrir y cuantificar su frecuencia.

El diagrama lógico tiene una forma de árbol con el suceso final (pérdida de la aeronave) en la copa del árbol y los sucesos básicos (fallos o errores) colgados de ésta (ver figura B). A causa de la complejidad de un moderno avión de combate el tratamiento de los árboles de fallo sólo se puede efectuar mediante la utilización de ordenadores, por ejemplo el modelo desarrollado por General Dynamics para el F-16 consta de 48 ramas principales, 60 sucesos críticos y unos 1.200 nudos de unión entre los distintos sucesos.

Estas técnicas están empezando a ser ampliamente utilizadas como parte de la fase de desarrollo de nuevos sistemas de armas a fin de cuantificar el nivel de regularidad que se alcanzará en el diseño. Como todo estudio teórico tiene sus limitaciones, la introducción de nuevas tecnologías en la aviación de combate conlleva situaciones que son difíciles de cuantificar numéricamente por lo que los resultados de estos análisis deben ser corregidos por factores que reflejen la experiencia acumulada.

ESTIMACION DE PERDIDAS MEDIANTE METODOS INDUCTIVOS

Este enfoque consisten en analizar una masa de datos estadísticos sobre pérdidas por accidentes de aviones, seleccionar aquellos que se consideren pertinentes y deducir conclusiones. Para poder utilizar adecuadamente este método son necesarias dos condiciones previas: primero disponer de datos relativos a número suficiente de horas de vuelo y, segundo, los criterios de selección de datos deben asegurar la composición homogénea de los

CUADRO N.º 2
UN MOTOR VERSUS DOS MOTORES

UNA de las mayores polémicas en la comunidad aeronáutica es la comparación de la bondad del diseño, respecto a seguridad de la configuración con uno o dos motores en aviones de caza y ataque. Hay que partir del principio que el número de motores no se selecciona por criterios de seguridad, son las actuaciones demandadas al sistema de armas lo que va a determinar las características de la planta propulsora. Para determinar la bondad de una configuración hay que considerar dos situaciones distintas: Supervivencia en combate y desgaste en tiempos de paz.

En un conocido artículo del Tte. Cnel. (USAF) Dilguer (Ref. 4) se examina el desgaste en combate en dos operaciones aéreas de Vietnam y Yom Kippur llegando a la conclusión de que la supervivencia depende de las características generales del avión (subsistemas, estructuras, controles, etc.) y es independiente de la configuración de la planta propulsora. En este caso las potenciales ventajas de un bimotor quedan anuladas por otras desventajas, principalmente en el mayor tamaño de éste y en la cercanía de los dos motores (cuando uno es "tocado" por un misil seguramente los daños se pasarán al otro).

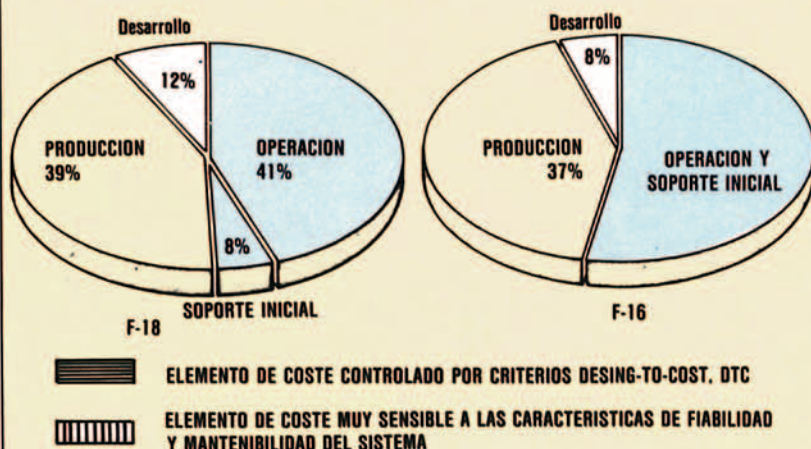
En tiempos de paz la situación cambia espectacularmente, prácticamente todos (con la única excepción de los fabricantes de monomotores) están de acuerdo en las ventajas de los bimotors sobre los monomotores. Las estadísticas de la USAF (acumuladas durante millones de horas de vuelo) muestran una ventaja de más de 2 a 1 del bimotor sobre el monomotor. El estado actual de la tecnología ha contribuido considerablemente a la mejora de la seguridad de diseño de los monomotores y las distancias se están disminuyendo pero todavía persisten. Los siguientes datos comparativos F-16/F-18 avalan esta afirmación.

USUARIO	HORAS DE VUELO ACUMULADAS	PERDIDAS TOTALES	INDICE ACUMULADO (POR 100.000 MDV)
F-18 USN/USML	467.630 (1)	22	4,7 (2)
F-18 OTROS	130.891 (1)	8	6,1
F-16 USAF	467.630	43	9,2
F-16 USAF	1.495.001 (1)	88	5,9
F-16 OTROS	397.419	41	10,3

NOTAS

- (1) Datos estimados a fecha 1 de junio de 1988
- (2) Con 451.746 horas de vuelo se habían (mayo 1988) perdido los mismos 22 aviones F-18 en la USN/USMC con lo que el índice de atrición era de 4,87
- (3) Fuente: Mc Donnell Douglas
- (4) El F/A-18 es, en estos momentos, el avión más seguro de los de caza y ataque en inventario de la Armada de los EE.UU.

FIGURA 2
DISTRIBUCION DEL COSTE DE CICLO DE VIDA PARA LOS SISTEMAS F-18 y F-16



Los sistemas de armas de nueva generación se diseñan según criterios de diseño a coste (Desing-to-cost). Según este criterio el coste de ciclo de vida se considera de importancia similar a otros parámetros basados en las actuaciones del sistema. Los sistemas F-16 y F-18 ya han sido diseñados según estos criterios con una distribución de los diferentes conceptos de coste que puede considerarse típica. En este caso no aparecen los costes de reposición de aviones por accidentes.

mismos. En general deben seguirse las siguientes reglas:

— Tipo de misión. Este factor tiene una influencia considerable en la accidentabilidad. Para comparar estadísticas de accidentes entre dos tipos de aviones es necesario asegurarse que se están empleando en el mismo tipo de misión.

— Madurez del sistema de armas. El índice de accidentes es muy sensible a las horas de vuelo acumuladas en una flota aérea. Está comprobado que existe un aprendizaje de forma que los mayores índices de accidentes se producen cuando se introduce un sistema en inventario, siguiendo después una disminución exponencial con las horas de vuelo, habitualmente se consideran las 200.000 H.D.V. como la marca que señala la madurez de un sistema. Resulta imprescindible que cualquier comparación se efectúe con índices extraídos a partir de esa experiencia. Esta situación añade una dificultad adicional al problema: si las flotas de aviones

son reducidas puede no llegar a alcanzarse este nivel en toda su vida útil.

— Nivel tecnológico del diseño. Es evidente que cada diseño tiene unas peculiaridades que definen su nivel de seguridad. Un análisis de las características técnicas de los diseños sobre los que se dispone de datos es un paso previo para cualquier comparación.

El procedimiento general consiste en corregir las estimaciones de pérdidas basadas en métodos deductivos (análisis del árbol de fallo) de acuerdo con el tipo de misión que va a realizar el sistema, las horas de vuelo que acumula y su nivel tecnológico según unos índices extraídos de los datos estadísticos.

ACCIDENTES Y COSTE DE CICLO DE VIDA Y EFICACIA

Al determinar la dimensión de una flota frente a la amenaza pueden seguirse distintas políticas de

adquisición a la hora de tratar los costes asociados con la reposición de aeronaves. Una de estas consiste en adquirir inicialmente un número adicional para cubrir las pérdidas estimadas por accidente, otra política puede ser el ir reponiendo pérdidas según se van produciendo y, por último, se puede optar por no reponer ninguna pérdida.

La primera política tiene varias ventajas sobre las otras. En primer lugar se pueden conseguir fácilmente configuraciones homogéneas, es práctica habitual cambiar éstas según lotes de fabricación que pueden estar en cadena de producción durante unos pocos años (en USA únicamente un año fiscal); según los lotes de fabricación se van separando en el tiempo estas diferencias son más acusadas. Si la reposición de aviones se efectúa, por ejemplo, a la mitad del ciclo de vida útil (unos 10-15 años) la configuración disponible en producción será distinta (es incluso posible que no esté disponible ya el modelo considerado) a la que se



El F/A 18 es, en estos momentos, el avión más seguro de los de caza y ataque en inventario de la Armada de los EE.UU.



dispone en inventario; apareciendo unos típicos problemas de apoyo logístico (distinto equipo de apoyo, documentación, repuesto, etc.) aso-

ciados al convivir configuraciones diferentes. Otra ventaja adicional consiste en que, al tratar con un número más elevado de aviones,

pueden conseguirse mejores precios, condiciones de venta, etc. Sin embargo la ventaja más importante que tiene este enfoque viene desde

CO 84

Salvamento sin fronteras.

Desde el corazón de Tokio hasta las playas de Ipanema en Río, pasando por el Mar de China, nuestros agentes del salvamento están siempre presentes.

Le sorprenderá sin duda saber que nuestros helicópteros Ecureuil, Dauphin y Super Puma realizan cada año más de 4.000 operaciones de rescate en el mundo entero.

Una misión que nada tiene de excepcional, considerando que Aerospatiale es el primer exportador

mundial de helicópteros.

Construidos o montados en Francia y en numerosos países, los helicópteros Aerospatiale son mucho más que un símbolo de seguridad.

Así como Airbus y Ariane, constituyen el ejemplo patente de nuestra voluntad de cooperación internacional. Una voluntad en acción en todos los continentes, y en más de 100 países.

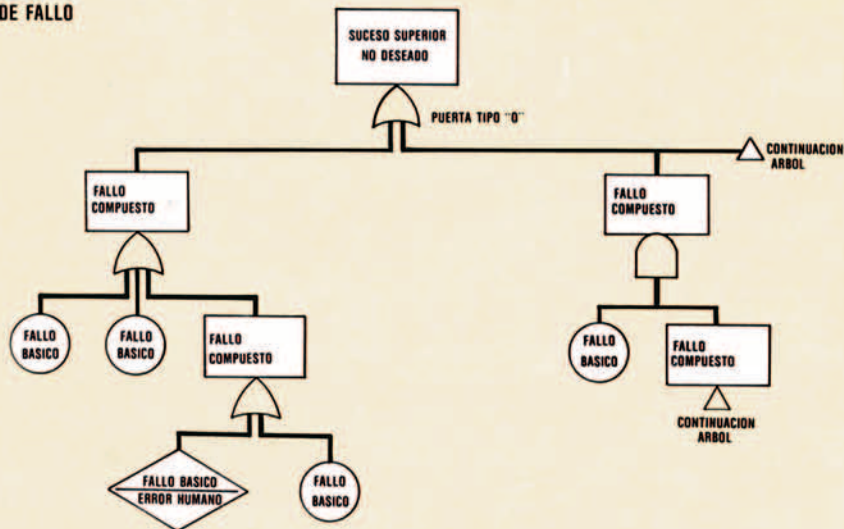


aerospatiale

37, bd de Montmorency - 75781 Paris Cedex 16 - France

PEMA 2B

FIGURA 3
ANÁLISIS DEL ÁRBOL DE FALLO



El análisis del árbol de fallo utiliza un proceso deductivo, "a posteriori" que va desde el efecto a la causa a fin de identificar todas las posibles combinaciones de fallo de material y errores humanos que pueden causar un accidente, calcular la frecuencia de estos y estimar el número de accidentes por hora de vuelo.

FIGURA 4
COSTE DE CICLO DE VIDA PARA UNA FLOTA DE 96 AVIONES TIPO F-18
(Millones de dólares)

	SIN COSTES REPOSICION		CON REPOSICION	
FLOTA INICIAL	96		96	
PERDIDAS POR ACCIDENTE	17		17	
FLOTA INICIAL	79		96	
ADQUISICION	2208	50%	2208	46%
OPERACION	1854	42%	1854	39%
SOPORTE INICIAL	354	8%	354	7%
REPOSICION	—		391	8%
TOTAL	4416		4717	

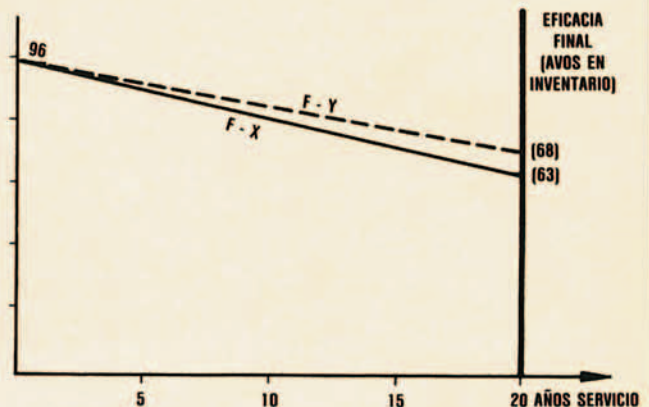
el punto de vista de la eficacia: Al prever desde el principio los aviones que se van a perder por accidente se asegura que al final de su vida útil la eficacia de la flota será, al menos, igual a como se consideraba al principio de la misma sin accidentes.

En esta situación, ¿cuál es el impacto que una política de este tipo puede tener en el coste de adquisición y ciclo de vida de un sistema de armas? Se va a considerar un ejemplo didáctico: un sistema de armas tipo F-18 tiene un coste de adquisición unitario de, aproximadamente, 23 millones de dólares (año 88), los costes de ciclo de vida de 96 de estos aviones

FIGURA 5
EFFECTOS DE PERDIDAS POR ACCIDENTE EN LA EFICACIA DE UNA FLOTA DE AVIONES DE COMBATE

Sistema	Eficacia Inicial	Eficacia Final	Inventario Inicial	Inventario Final	Pérdidas
F - X	0.6	0.4	96	63	33
F - Y	0.6	0.5	84	68	16

La estimación del número de pérdidas por accidente es un factor importante cuando se trata de comparar efectividad de dos sistemas de armas. La diferente seguridad de diseño entre los dos sistemas tendrá como consecuencia un desgaste distinto de ambas flotas, así aunque inicialmente se parte de una misma eficacia (alcanzadas con diferentes números de aviones) inmediatamente hay una divergencia entre ambas flotas. La eficacia mínima admisible será factor determinante para valorar la bondad de un sistema sobre otro.



serán (figura 4) de unos 4.416 millones de dólares.

El estudio del número de accidentes previstos nos da la cifra de 17 aviones a lo largo del ciclo de vida que supone un incremento de 391 millones de dólares en el coste de adquisición (18% aproximadamente), llegando este concepto de coste a ser un 8% del coste de ciclo de vida del sistema de armas.

El coste de adquisición y de ciclo de vida de un sistema se ve así fuertemente incrementado si queremos contemplar inicialmente la reposición de aviones perdidos por accidente pero será necesario si se desea mantener en eficacia de la flota, porque el binomio coste/eficacia no puede separarse y si la fuerza va sufriendo un desgaste como consecuencia de accidentes su eficacia irá disminuyendo. La figura 4 muestra un ejemplo de este hecho, dos flotas que inicialmente empiezan con un índice de eficacia similar (con diferentes números de aviones) pero, debido al diferente desgaste, pronto se separan y al final de su vida útil hay

marcadas diferencias entre ambos. Este ejemplo ilustra la importancia que este tipo de estudios tiene en los procesos de selección de un sistema de armas entre varios candidatos; una decisión basada exclusivamente en eficacia y coste inicial puede no ser la más adecuada.

CONCLUSION

El avión como parte esencial de los sistemas de armas aéreos tiene unas características de operación peculiares que ocasionarán un desgaste de la flota como consecuencia de accidentes. Es responsabilidad de los usuarios el mantener y operar las aeronaves de forma que no se degraden las características inherentes de seguridad alcanzadas en el diseño. Sin embargo habrá un número de accidentes que serán inevitables (aunque cada accidente en particular sea evitable) cuya repercusión en la eficacia de la flota no puede ignorarse. La técnica y el conocimiento actual permite estimar, e incluso especificar, el

nivel de seguridad de un diseño y, en consecuencia, estimar las pérdidas por accidente bajo unas condiciones de operación dadas.

Si se desea mantener la eficacia a lo largo del ciclo de vida será necesario reponer las pérdidas. El coste asociado con esta reposición aparece así como constituyente del coste de ciclo de vida del sistema y factor de planeamiento de la fuerza. ■

REFERENCIAS

1. IL COSTO DEL CICLO DI VITA. Tte. Cnel. Massimo Tarantola. Rivista Aeronautica, núm. 6/1987.
2. The Hornet Program: A Desing to Life Cycle Cost Case Study. Robert D. Dighton.
3. Dossier "Seguridad en Vuelo". Revista Aeronáutica y Astronáutica, junio 1987.
4. "ONE HOLE OR TWO" LCol. Robert G. Dilger, USAF FIGHTER WEAPONS REVIEW, spring 1975.
5. Single Engine Versus Twin Engine Fighter/Attak Aircraft, Loss Rates Norton Safety Center. USAF.
6. Cost CONSIDERATIONS EN SYSTEMS ANALISIS, Gene H. Fisher. Raud 1975.

DIVISION DEFENSA

Desarrolla la más avanzada tecnología en ELECTRONICA MILITAR E INFORMATICA al servicio de las FUERZAS ARMADAS

SAINCO
S.A DE INSTALACIONES DE CONTROL



- Sistemas de mando control, comunicaciones e inteligencia (C³ I)
- Simuladores y adiestradores
- Electrónica militar ARENA
- Acústica submarina
- Guerra electrónica
- Sistemas de seguridad

SAINCO
DEFENSA
ARAVACA, 24
28040-MADRID
TELEFONO (91) 410 64 17
TELEX 47755 SNC-E
TELEFAX 234 45 29