Índice

11 **Agradecimientos**

17 **El motivo de “Desde el T-33 al Eurofighter. Los aviones de combate a reacción en el Ejército del Aire”**

39 **Prólogo: los reactores de combate en España**

49 **1. Descubriendo una tecnología: la propulsión a reacción**

52 1.1. Las primeras investigaciones estadounidenses en la NACA. El sistema híbrido

55 1.2. El fin del sistema híbrido

59 **2. La aerodinámica hacia 1940**

59 2.1. Principios básicos: la sustentación y la ecuación de Bernoulli

60 2.2. La capa límite

61 2.3. La resistencia y la sustentación. Los torbellinos o anillos turbillonarios generados en un ala

64 2.4. La estabilidad en una aeronave

65 2.4.1. Estabilidad longitudinal

67 2.4.2. Estabilidad lateral

67 2.4.3. Estabilidad direccional

68 2.5. Conclusiones prácticas: La forma del ala y su importancia en vuelo

77 **3. El motor a reacción de compresor centrífugo**

77 3.1. El desarrollo de las turbomáquinas para aviación y su base histórica

83 3.2. El motor a reacción centrífugo

84 3.2.1. Consideraciones generales. El ciclo Bryton

87 3.2.2. El difusor de admisión (tobera de admisión)

87 3.2.3. El compresor centrífugo
88 3.2.4. La cámara de combustión
90 3.2.5. La turbina
91 3.2.6. La tobera de escape
93 3.2.7. Unidades de control de combustible
93 3.2.7.1. El mando de gases
94 3.2.7.2. La unidad de control del combustible
97 3.2.8. Sistemas auxiliares del motor
97 3.2.8.1. El motor de arranque
97 3.2.8.2. Sistemas de encendido
99 3.2.8.3. La APU
100 3.2.8.4. El sistema de lubricación del motor
102 3.2.8.5. La formación de hielo
103 3.2.8.6. Refrigeración del turborreactor
103 3.2.8.7. Sistema contraincendios
104 3.2.9. Resumen visual del capítulo: partes de un De Havilland Goblin seccionado

107 **4. El T-33 (E.15)**
107 4.1. El nacimiento del P-80
112 4.2. El P-80 Shooting Star
112 4.2.1. El desarrollo del P-80
116 4.2.2. El P-80 y la guerra de Corea
117 4.3. El T-33
118 4.3.1. El T-33 en el Ejército del Aire
120 4.4. Los Aspectos claves del T-33
120 4.4.1. El ala de flujo laminar y la disposición de los tanques de combustible en los *tips*
121 4.4.2. El motor centrífugo Allison J33-A-35. Particularidades y sistema de combustible
127 4.4.2.1. La inyección de agua en el Allison J33-A-35 (desactivada en el T-33)
128 4.5. EL T-33 en vuelo
134 4.6. Especificaciones técnicas del T-33

137 **5. Acercándose al límite: el problema transónico**

142 5.1. La necesidad de investigar la envolvente de vuelo del régimen transónico

142 5.1.1. Retomando ideas: el avión de ensayos de alta velocidad

144 5.1.2. El diseño del XS-1

146 5.2. La barrera del sonido

153 **6. La aerodinámica desde 1940. El fenómeno de la compresibilidad y las alas en flecha**

153 6.1. Los efectos de la compresibilidad en una aeronave: la generación de ondas de choque desde el vuelo subsónico hasta el transónico. El Mach crítico. Los efectos de la compresibilidad

158 6.2. Las alas en flecha. Efecto de la flecha en la estabilidad del avión

158 6.2.1. El ala en flecha y los fenómenos de la compresibilidad

160 6.2.2. Efecto de la flecha en la estabilidad del avión

162 6.3. El bataneo *(buffet)* y el *coffin corner* ó rincón del féretro

164 6.4. El techo del avión

169 **7. La generación de las ondas de choque durante el vuelo**

169 7.1. Ondas de choque. Línea y ángulo de Mach

171 7.2. Onda de choque oblicua sobre un cuerpo en forma de cuña

171 7.3. Ondas de choque normales

177 **8. El motor a reacción de compresor axial**

178 8.1. El Jumo 004

181 8.2. El BMW 003

182 8.3. El HeS 011

183 8.4. El compresor axial en un motor a reacción

184 8.5. La entrada en pérdida del compresor o *compressor stall*

186 8.6. Difusor postcompresor

186 8.7. Las zonas críticas de funcionamiento de los álabes de un motor a reacción (compresor y turbina)

188 8.8. Refrigeración de álabes en la turbina

189 8.9. Uniones de los álabes al rotor y al carter (rotor y estator) en un compresor y en una turbina axiales

193 **9. El F-86 Sabre (C.5)**
194 9.1. Antecedentes
195 9.2. El desarrollo del North American F-86 Sabre
198 9.3. ¿Quién superó antes la barrera del sonido?
200 9.4. Continúan las pruebas. El F-86 A
200 9.4.1. Se anuncia el XP-86
200 9.4.2. El F-86A
204 9.5. La guerra de Corea. El *MiG Alley* (Callejón del MiG)
209 9.6. Los F-86E y F
212 9.6.1. El F-86E
213 9.6.2. El F-86F
215 9.7. Un combate aéreo en Corea entre F-86 y MiG-15. La última etapa de la guerra
215 9.7.1. El combate entre Bruce Hinton y «Casey Jones» en 1951
217 9.7.2. La última etapa de la guerra de Corea. La proporción final de bajas en ambos bandos
219 9.8. La comparación entre el F-86 y el MiG-15
219 9.8.1. Las placas separadoras verticales del extradós del MiG-15
220 9.8.2. Actuaciones
223 9.8.3. Yeager y el MiG-15
224 9.9. Después de Corea
224 9.10. El F-86 Sabre en el Ejército del Aire
224 9.10.1. El servicio
227 9.10.2. La patrulla Ascua
230 9.11. Los aspectos clave del F-86F-25 Sabre
230 9.11.1. El exterior del avión
231 9.11.2. El control de superficies aerodinámicas. El sistema hidráulico
236 9.11.3. La electrónica del Sabre. El visor A-4 y el radar AN/APG-30
241 9.11.4. El Motor J47-GE-27
243 9.12. El F-86 Sabre en vuelo

246 9.13. El armonizador de armas del F-86 expuesto en el Museo de Aeronáutica y Astronáutica

247 9.14. Especificaciones técnicas del F-86

251 **10. Las caracterísiticas del vuelo supersónico**

251 10.1. La necesidad del diseño de aparatos supersónicos de altas prestaciones

252 10.2. Las regiones del vuelo

253 10.3. Los tipos de perfiles del ala empleados en el vuelo supersónico

254 10.4. La forma del ala en el vuelo supersónico. El perfil simétrico

256 10.5. El control de la aeronave durante el vulo supersónico. Superficies de control y ala en flecha. Influencia del alargamiento

258 10.6. El estampido supersónico o *sonic boom*

260 10.7. La regla del área de Whitcomb

264 10.8. La forma y configuración del avión supersónico a nivel de diseño

269 **11. El turborreactor empleado en el vuelo supersónico. El postquemador**

269 11.1. El turborreactor con postquemador

271 11.2. La tobera de admisión supersónica

271 11.3. Los álabes de incidencia variable en el estator del compresor

272 11.4. La tobera de escape de sección variable

274 11.5. La postcombustión

274 11.5.1. El ciclo Bryton en un turborreactor con postquemador

277 11.5.2. El funcionamiento del sistema de postcombustión en un avión de combate

283 **12. El radar**

283 12.1. Breve historia del radar

287 12.2. Principios de funcionamiento del radar

290 12.3. Factores que influyen en el funcionamiento

290 12.3.1. Senda o trayectoria del haz y alcance (rango). PRF

292 12.3.2. Ruido *(clutter)*

294 12.3.3. Interferencias

294 12.3.4. *Jamming* (pertubadores o interferecias)

294 12.4. Componentes de un radar
295 12.4.1. Oscilador
297 12.4.2. Modulador
297 12.4.3. Receptor
298 12.4.4. Interfaz de usuario
299 12.5. El procesamiento de la señal de radar
299 12.5.1. Tiempo de tránsito. La medida de la distancia al blanco
300 12.5.2. La modulación de la frecuencia como medida de la distancia
300 12.5.3. La medida de la velocidad
300 12.6. El radar en un avión de combate. Las primeras antenas (tipo parabólico)
301 12.7. Resumen. Los radares convencionales

305 **13. La navegación por inercial. El ins *(inertial navigation system)***
305 13.1. El concepto de navegación inercial. Las diferentes configuraciones del sistema
308 13.2. Componentes del sistema inercial: tipos de giróscopos en aeronáutica
310 13.3. Componentes del sistema inercial: acelerómetros

315 **14. El F-104 Starfighter (C.8)**
315 14.1. Los orígenes del Starfighter
317 14.2. Los prototipos del Starfighter y los vuelos de pruebas
320 14.3. El Starfighter en servicio
322 14.4. El Starfighter en el Ejército del Aire
322 14.4.1. La adquisición del avión. La formación del Escuadrón 104
325 14.4.2. Los primeros vuelos del F-104 en España
326 14.4.3. Los vuelos a Mach 2,0 y los lanzamientos de Sidewinder
327 14.4.4. El cine español y el Escuadrón 104: «No le busques tres pies…». Sobre los cielos de España. La «pasada salvaje»
328 14.4.5. La etapa final
329 14.4.6. Los incidentes que quedaron como una anécdota

330 14.5. Los aspectos clave del F-104 G Starfighter
330 14.5.1. Estructura, fuselaje y alas del avión
339 14.5.2. El motor J79. La tobera de admisión cónica de geometría fija
345 14.5.3. La electrónica del Starfighter: el SACS *(Stability Augmentation Control System)*. El control automático de cabeceo *(shaker-kicker)*
347 14.5.4. La electrónica del Starfighter: el sistema de navegación inercial Litton LN-3
349 14.5.5. La electrónica del Starfighter: el radar NASARR del F-104
354 14.5.6. La electrónica del Starfighter: el piloto automático electrónico MH-97G
354 14.5.7. La electrónica del Starfighter: el TACAN y el sistema IFF/SIF
358 14.5.8. El Starfighter en vuelo
365 14.6. Especificaciones técnicas F-104G Starfighter

369 **15. El primer reactor español: el Hispano Aviación Saeta (E.14)**
369 15.1. La concepción del Saeta
372 15.2. La construcción del Saeta y del Supersaeta
372 15.2.1. El Saeta
375 15.2.2. Los primeros vuelos del Saeta
377 15.2.3. El Supersaeta (C.10C)
377 15.3. El Saeta en combate
378 15.4. Aspectos clave del Saeta
382 15.5. Especificaciones técnicas HA-200 Saeta / HA-220 Supersaeta

385 **16. La llegada de material francés: el Mirage III EE (C.11)**
385 16.1. La aviación militar francesa en los años 1950. El MD 550 Mystère Delta
390 16.2. El prototipo del Mirage III. Desde el Mirage III 001 Balzac hasta la versión C
391 16.3. El Mirage III E
392 16.4. La prueba de fuego del Mirage III. La Fuerza Aérea Israelí y la guerra de los Seis Días. Operación *Focus*
392 16.4.1. La situación de Oriente Medio en 1967

393 16.4.2. La guerra de los Seis Días. La operación *Focus*
396 16.5. El Mirage III en el Ejército del Aire
399 16.6. Aspectos clave del Mirage III
402 16.6.1. El ala del Mirage III. El ala en delta
405 16.6.2. El avión. El fuselaje y el motor cohete SEPR 844
406 16.6.3. La electrónica del Mirage III. El radar Cyrano II, el alertador de radar y el sistema de navegación. Sistemas auxiliares de navegación
410 16.7. El Mirage III en vuelo
412 16.8. El Programa de modernización planteado del Mirage III
414 16.8.1. Modificaciones estructurales
415 16.8.2. Modificaciones de sistemas de la aeronave (aviónica)
419 16.8.3. Modificaciones de sistemas complementarios
420 16.8.4. La sustitución del SNECMA ATAR 9C por el SNECMA ATAR 9K50
420 16.8.5. La sustitución del asiento eyectable
421 16.8.6. La cancelación del programa de modernización del Mirage III
422 16.9. Especificaciones técnicas Mirage III EE

425 **17. Los excedentes de la USAF: el F-4C Phantom II (C.12 y CR.12)**
426 17.1. La génesis del Phantom
430 17.2. El desarrollo del Phantom
434 17.3. El vuelo inaugural y el rival directo: el Vought XF8U-3 Crusader III
437 17.4. La entrada en servicio con la US Navy. La USAF y el F-4C
442 17.5. La guerra de Vietnam y el F-4 Phantom II. Los ases americanos
443 17.5.1. La operación Bolo durante *Rolling Thunder* (1967). El coronel Robin Olds
447 17.5.2. Steve Ritchie. *Linebacker I* (1972)
449 17.5.3. La US Navy durante *Linebacker I*. Randy «Duke» Cunningham
453 17.6. El Phantom a través del tiempo: desde las versiones iniciales hasta su retirada en servicio con la USAF
454 17.6.1. Variantes de la USNavy y del USMC

455 17.6.2. Variantes de la USAF
457 17.6.3. Variantes internacionales
457 17.6.4. Variantes de reconocimiento: RF-4B y RF-4C
457 17.7. Aspectos clave del F-4 Phantom II. Versiones F-4C y RF-4C
458 17.7.1. Estructura externa y reactor: la tobera de admisión y la placa separadora
464 17.7.2. Superficies de control. Sistema hidráulico y neumático
467 17.7.3. Sistema de ángulo de ataque (AoA)
470 17.7.4. Ordenador de datos de aire/aéreos *(Air Data Computer –ADC–)*
471 17.7.5. Sistema de control de vuelo automático (AFCS, *Automatic Flight Control System)*
475 17.7.6. Sistemas de control ambiental y soporte de vida
476 17.7.7. Equipo de comunicación-navegación-identificación (CNI)
479 17.7.8. El radar. El AN/APQ-100 (F-4C)
482 17.7.9. El RF-4C (CR.12)
487 17.7.10. El Phantom en el Ejército del Aire. El F-4 Phantom en vuelo
492 17.7.11. Especificaciones F-4C Phantom
493 17.8. La época moderna de la aviación de combate en el Ejército del Aire

497 **18. La llegada de la electrónica digital: el *Fly-By-Wire***
498 18.1. El nacimiento y necesidad del *Fly–By-Wire*
502 18.2. El concepto del *Fly–By-Wire*
503 18.2.1. Un paso más cerca del *Fly–By-Wire*. El sistema de control analógico CAS del F-15
509 18.3. Funcionamiento general de un *Fly–By-Wire*
514 18.4. Las ventajas del *Fly–By-Wire* en aviones militares

519 **19. El turbofan (turborreactor de doble flujo)**
519 19.1. Características generales de un turbofan
521 19.2. Empuje, actuaciones y rendimientos para los turborreactores de doble flujo. Importancia del índice de derivación en los turbofan

522 19.3. El concepto de turborreactor de ciclo variable y su importancia en el desarrollo e implementación de turbofans en la actualidad

524 19.4. El turborreactor frente al turbofan

529 **20. El radar Doppler**

532 20.1. El principio de funcionamiento del radar Doppler

533 20.1.1. Beneficios

535 20.1.2. Desventajas

535 20.2. Procesamiento de señal. La importancia de la resolución en un radar Doppler

537 20.3. Parámetros funcionales del radar Doppler

539 20.4. El empleo del radar Doppler en un avión de combate

540 20.4.1. El seguimiento de un helicóptero en un radar Doppler

541 20.5. El rendimiento de un radar Doppler

545 **21. Evitar el impacto del misil: la invisibilidad y el sistema de guerra electrónica en una aeronave**

545 21.1. El nacimiento del concepto de indetectabilidad. El avión *stealth* o invisible

547 21.1.1. La RCS *(Radar Cross Section)* y la detección de una aeronave por el radar

549 21.1.2. La disminución de las emisiones infrarrojas en una aeronave

550 21.2. El funcionamiento de un sistema de autoprotección o sistema de contramedidas de una aeronave militar

551 21.3. Contramedidas pasivas

553 21.4. Contramedidas activas *(Electronic CounterMeasures –ECM–)*

553 21.4.1. Los *jammers* o perturbadores. Sistemas tradicionales

555 21.4.2. Los *jammers* o perturbadores. Sistemas de última generación

556 21.4.3. Los *decoys* (señuelos activos)

559 **22. La revolución en el Ejército del Aire: el F-18 Hornet. (C.15)**

560 22.1. Desde el programa LWF hasta el F-18

561 22.1.1. La teoría de la energía-maniobrabilidad como consecuencia de las experiencias en el combate real

563 22.1.2. El Programa de Caza de Combate Aéreo
564 22.1.3. El F-18
566 22.2. El programa FACA (Futuro Avión de Combate Aéreo)
571 22.3. El F-18 en el Ejército del Aire
571 21.3.1. Los primeros años del F-18 en el Ejército del Aire
573 22.3.2. El ejercicio *Red Flag*
575 22.3.3. Los Balcanes. El Destacamento Ícaro
578 22.3.4. Desde el Destacamento Ícaro hasta la actualidad
579 22.4. Aspectos clave del F-18
580 22.4.1. Estructura externa y reactor
584 22.4.2. La cabina del EF-18M. Zona frontal
591 22.4.3. La cabina del EF-18M. El HOTAS en la palanca de control y el mando de gases
593 22.4.4. La cabina del EF-18M. Paneles del lado izquierdo
594 22.4.5. La cabina del EF-18M. Paneles del lado derecho
595 22.4.6. Las diferencias: la cabina del EF-18M y la cabina del EF-18A+
596 22.4.7. El sistema de control de vuelo del F-18 (FCS, *Flight Control System*)
600 22.4.8. Limitaciones
601 22.4.9. Maniobras prohibidas
601 22.4.10. El subsistema de aviónica: las computadoras de misión (MC) y el nuevo TPAC
604 22.4.11. El radar del EF-18M. El AN/APG-65. El modo HARM
612 22.4.12. El sistema de guerra electrónica del EF-18M
614 22.5. El F-18 en vuelo
620 22.6. Especificaciones EF-18M

625 **23. El Mirage F1 (C.14)**
626 23.1. Los orígenes del Mirage F1
627 23.2. El Mirage F1 en el Ejército del Aire
630 23.3. Aspectos clave del Mirage F1. El Mirage F1 antes de la modernización
630 23.3.1. Estructura externa

633 23.3.2. El motor SNECMA ATAR 09K-50
634 23.3.3. El radar Cyano IVM
636 23.3.4. Equipos de guerra electrónica
638 23.3.5. Cabina original
638 23.4 Aspectos clave del Mirage F1. El Mirage F1M
639 23.4.1. Alcance de las mejoras y empresas implicadas
640 23.4.2. El Mirage F1M. Sistemas
642 23.4.3. El Mirage F1M. Modos de navegación
644 23.4.4. El Mirage F1M. Los modos aire-suelo
644 23.5. El Mirage F1 en vuelo
647 23.6. Especificaciones Mirage F1M

651 **24. El *State of the Art*: el Eurofighter (C.16)**
652 24.1. Los orígenes del Eurofighter
656 24.2. Aspectos clave del Eurofighter
656 24.2.1 Estructura externa. Los materiales compuestos. Materiales RAM
660 24.2.2. El motor a reacción. El EJ200
663 24.2.3. El concepto de fusión de sensores. La integración de los sistemas de aviónica
665 24.2.4. El AIS (subsistema de identificación y detección, *Attack and Identification Subsystem*)
666 24.2.4.1. El radar del Eurofighter. Del ECR-90 al CAPTOR-M
670 24.2.4.2. El radar del Eurofighter. El CAPTOR-E AESA
672 24.2.4.3. El sistema de búsqueda por infrarrojos: El IRST PIRATE
674 24.2.4.4. El sistema de puntería basado en el casco: el HMSS
676 24.2.4.5. El Datalink-16 y el MIDS
678 24.2.5. El ACS (*Armament Control System*, Sistema de Control de Armamento)
678 24.2.6. El subsistema de ayudas defensivo (DASS)
685 24.2.7. El sistema de control de vuelo del Eurofighter

689 24.2.8. Sistema de navegación

690 24.2.9. La cabina del Eurofighter

695 24.3. El Eurofighter en servicio

699 24.4. El futuro del Eurofighter

700 24.4.1. La puesta al día del Eurofighter y la implementación de mejoras operativas en la actualidad. Los *Phase Enhancements* 1 y 2 (P1E y P2E)

702 24.4.2. El futuro: los *Phase Enhancement* 3 (P3E) a y b, y la adopción del radar AESA CAPTOR-E SCAN. Actualizaciones del DASS

705 24.5. Especificaciones técnicas

709 **25. La necesidad de un entrenador básico a reacción: El CASA C-101 Aviojet (E.25)**

710 25.1. El diseño del C-101 Aviojet

714 25.2. Aspectos clave del C-101 Aviojet

714 25.2.1. Estructura externa

717 25.2.2. Sistemas del avión. Mandos de vuelo, sistema hidráulico y combustible

718 25.3. Las cabinas del C-101 Aviojet

719 25.4. La patrulla Águila

720 25.5. Especificaciones C-101 EB

725 **26. El entrenador avanzado del Ejército del Aire. El F-5B M (C.9, CR.9 y CE.9)**

726 26.1. Los orígenes del F-5

728 26.2. El F-5 en España

728 26.2.1. El Freedom Fighter como avión de combate. El Ala 21 y el 462 de Gando

730 26.2.2. El Freedom Fighter como entrenador. El Ala 23 de Talavera

733 26.3. Aspectos clave del F-5

733 26.3.1. Estructura externa

735 26.3.2. El reactor del F-5. El General Electric J85-GE-13

738 26.3.3. El sistema de control de vuelo del F-5. Superficies de control

739 26.3.4. La cabina original del F-5

740 26.3.5. El morro de las variantes de F-5. Las diferencias entre el F-5A, RF-5A y F-5B

741 26.3.5.1. El RF-5A

743 26.4. Las primeras modernizaciones del F-5

744 26.5. El F-5M

746 26.6. Especificaciones técnicas F-5M

749 **Epílogo: el futuro según el pasado**

761 **Anexo: glosario de términos utilizados**

771 **Referencias**

777 Nota final aclaratoria sobre imágenes y diagramas