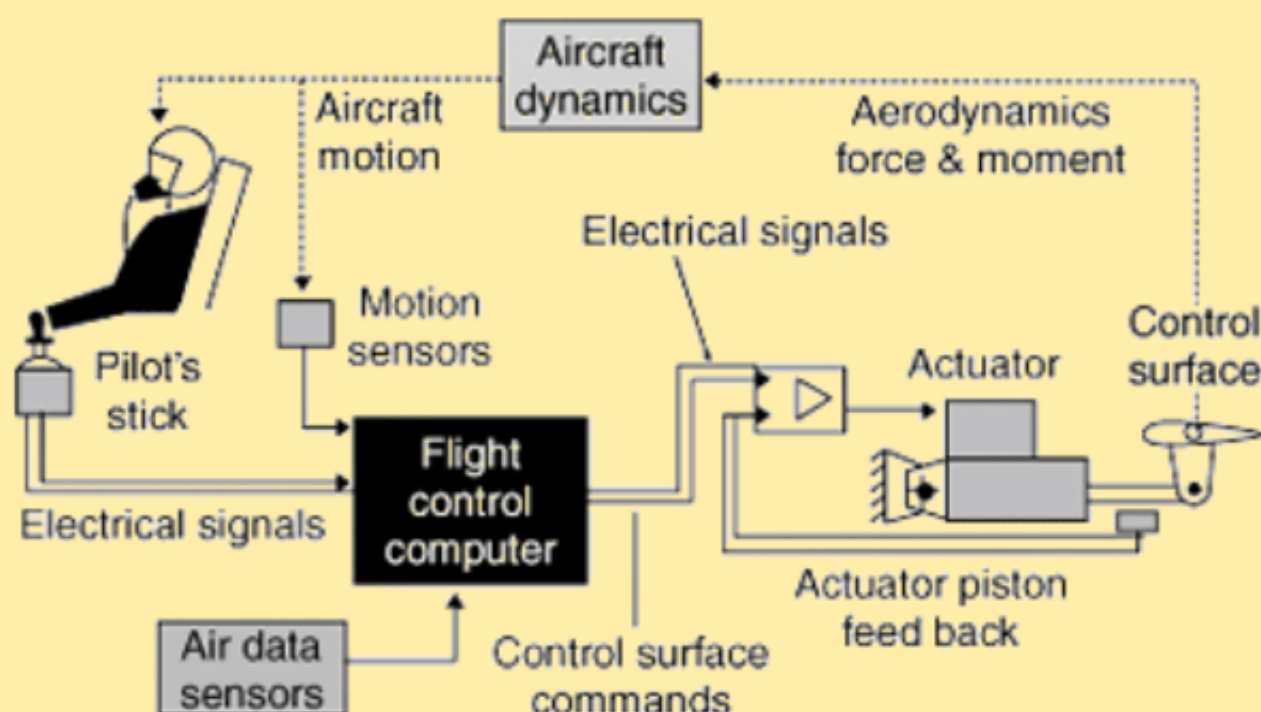


SISTEMAS DE AERONAVES DE TURBINA



Felipe Gato Gutierrez



TOMO I



Editorial

NoBooks

Adaptado al reglamento CE nº 2042/2003 -Parte 66 y a su modificación por el CE 1149/2011

11.01 - TEORÍA DEL VUELO

11.02 - ESTRUCTURA DE CÉLULAS.
CONCEPTOS GENERALES

11.03 - ESTRUCTURA DE LA CÉLULA. AVIONES

SISTEMAS DE AERONAVES DE TURBINA

TOMO I

Felipe Gato Gutiérrez

y

Ángel Mario Gato Gutiérrez

2016

Valencia

Sistemas de aeronaves de turbina

TOMO I

© Felipe Gato Gutiérrez y Ángel Mario Gato Gutiérrez

ISBN obra completa: 978-84-15378-40-2

ISBN: 978-84-15378-41-9 (Tomo I)

e-book v.1.0

ISBN edición en papel: 978-84-15378-51-8 (Tomo I)

Edita: NoBooks Editorial

C/ 218 n.º 44-A-46182 La Cañada (Valencia)

www.nobooksed.com

info@nobooksed.com

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información o sistema de reproducción, sin permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

NOTA:

Las imágenes cedidas por los distintos fabricantes se identifican por un asterisco seguido del propietario legal de la imagen.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
PRÓLOGO.....	3
11.01–TEORÍA DEL VUELO.....	5
11.01–00 – GENERALIDADES.....	7
LÍNEA DE CORRIENTE DE UN FLUIDO.....	9
CORRIENTE LAMINAR Y TURBULENTA.....	9
EJES DEL AVIÓN.....	10
ÁNGULO DE ATAQUE.....	11
ÁNGULO DIEDRO.....	12
FLECHA DEL ALA.....	13
11.01–01 – AERODINÁMICA DEL AVIÓN Y MANDOS DE VUELO.....	14
MANDOS DE ALABEO.....	16
MANDOS DE CABECEO.....	18
MANDOS DE GUIÑADA.....	23
CONTROL MEDIANTE ELEVONES y TIMONES DE PROFUNDIDAD y DIRECCIÓN.....	25
DISPOSITIVOS HIPERSUSTENTADORES.....	26
ELEMENTOS QUE AUMENTAN LA RESISTENCIA.....	34
EFECTOS DE LOS “WING FENCES”, BORDES DE ATAQUE EN DIENTE DE SIERRA.....	35
CONTROL DE LA CAPA LÍMITE, GENERADORES DE TORBELLINOS, CUÑAS DE PÉRDIDA Y DISPOSITIVOS DEL BORDE DE ATAQUE.....	36
FUNCIONAMIENTO y EFECTO DE LAS ALETAS COMPENSADORAS, DE EQUILIBRIO, SERVOALETAS, CENTRADO DE MASA, DESVIACIÓN DE LAS SUPERFICIES DE MANDO, PANELES DE EQUILIBRIO AERODINÁMICO.....	40
11.01–02 – VUELO A ALTA VELOCIDAD.....	51
VELOCIDAD DEL SONIDO, VUELO SUBSÓNICO, VUELO TRANSÓNICO, VUELO SUPERSÓNICO.....	51
NÚMERO DE MACH, N.º MACH CRÍTICO, ONDA DE CHOQUE, CALENTAMIENTO AERODINÁMICO, REGLA DEL ÁREA.....	54
FACTORES QUE AFECTAN AL FLUJO DE AIRE EN LA ADMISIÓN DEL MOTOR EN AERONAVES DE ALTA VELOCIDAD.....	59
PAUTAS Y REQUISITOS DE LAS ENTRADAS DE AIRE A LOS MOTORES A REACCIÓN DE AVIONES SUBSÓNICOS.....	60
EFECTOS DE LA FLECHA EN EL N.º DE MACH CRÍTICO.....	64
11.02 – ESTRUCTURA DE CÉLULAS. CONCEPTOS GENERALES.....	67
11.02–00 – GENERALIDADES.....	69

11.02-01(A) – REQUISITOS DE AERONAVEGABILIDAD PARA RESISTENCIA	
ESTRUCTURAL.....	70
JAR 25.301 CARGAS.....	70
JAR 25.303 FACTOR DE SEGURIDAD.....	70
JAR 25.305 FUERZAS y DEFORMACIÓN.....	70
JAR 25.307 PRUEBA DE LA ESTRUCTURA.....	71
11.02-02 – CARGAS DE VUELO.....	72
JAR 25.321 GENERAL.....	72
11.02-03 – MANIOBRAS EN VUELO Y CONDICIONES DE RÁFAGAS.....	73
JAR 25.331 CONDICIONES DE MANIOBRAS SIMÉTRICAS.....	73
JAR 25.337 FACTORES DE CARGA LÍMITE EN MANIOBRAS.....	74
JAR 25.341 CARGAS POR RÁFAGAS y TURBULENCIAS.....	74
JAR 25.343 DISEÑO DE LAS CARGAS DE COMBUSTIBLE Y ACEITE.....	75
11.02-04 – CONDICIONES SUPLEMENTARIAS.....	76
JAR 25.361 TORQUE DEL MOTOR y DEL APU.....	76
JAR 25.363 CARGAS LATERALES EN LOS MONTANTES DEL MOTOR Y DEL APU.....	76
JAR 25.365 CARGAS EN LOS COMPARTIMENTOS PRESURIZADOS.....	77
11.02-02(A) – CLASIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS, PRIMARIA, SECUNDARIA Y TERCIARIA.....	79
ESTRUCTURA PRIMARIA.....	79
ESTRUCTURA SECUNDARIA.....	80
ESTRUCTURA TERCARIA.....	80
ESTRUCTURAS DE MADERA.....	80
ESTRUCTURAS METÁLICAS.....	82
ESTRUCTURAS DE MATERIALES COMPUESTOS (COMPOSITES).....	86
EL GLARE (GLASS REINFORCED ALUMINIUM LAMINATE).....	87
11.02-03(A) – CONCEPTO DE “A PRUEBA DE FALLOS”, VIDA SEGURA Y TOLERANCIA AL DAÑO.....	89
CONCEPTO DE “A PRUEBA DE FALLOS”	89
VIDA SEGURA.....	89
TOLERANCIA AL DAÑO.....	90
11.02-04(A) – SISTEMAS DE IDENTIFICACIÓN DE ZONAS y SECCIONES	
TRANSVERSALES.....	92
SISTEMA ATA 100.....	92
ESTACIONES DEL FUSELAJE.....	95
ESTACIONES DEL ALA.....	96
ESTACIONES DEL EMPENAJE VERTICAL.....	97
ESTACIONES DEL ESTABILIZADOR HORIZONTAL.....	98
11.02-05(A) – ESFUERZO, DEFORMACIÓN, FLEXIÓN, COMPRESIÓN, ESFUERZO CORTANTE, TORSIÓN, TENSIÓN, ESFUERZO CIRCUNFERENCIAL, FATIGA.....	100
ESFUERZO.....	100

DEFORMACIÓN.....	100
FLEXIÓN.....	101
COMPRESIÓN.....	101
ESFUERZO CORTANTE.....	101
TORSIÓN.....	101
TENSIÓN.....	102
ESFUERZO CIRCUNFERENCIAL.....	102
TRACCIÓN.....	102
FATIGA.....	103
11.02-06(A) – INSTALACIONES DE DESAGÜE Y VENTILACIÓN.....	104
INSTALACIONES DE DESAGÜE, AISLAMIENTO Y VENTILACIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	105
VENTILACIÓN Y DESAGÜE DE LAVABOS Y COCINAS.....	106
VENTILACIÓN DE LOS COMPARTIMIENTOS DE BATERÍAS.....	107
VENTILACIÓN DE PYLONS Y MOTORES.....	108
11.02-07(A) – INSTALACIONES DE SISTEMAS.....	110
11.04 AIRE ACONDICIONADO y PRESURIZACIÓN DE CABINA (ATA 21)	112
11.05 INSTRUMENTACIÓN/AVIÓNICA (ATA 31-22-23 y 34).....	113
11.06 SUMINISTRO ELÉCTRICO (ATA 24).....	129
11.07 EQUIPAMIENTO Y ACCESORIOS (ATA 25).....	133
11.08 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS (ATA 26).....	137
11.09 MANDOS DE VUELO (ATA 27).....	140
11.10 SISTEMAS DE COMBUSTIBLE (ATA 28).....	151
11.11 POTENCIA HIDRÁULICA (ATA 29).....	155
11.12 PROTECCIÓN CONTRA EL HIELO Y LA LLUVIA (ATA 30).....	158
11.13 TREN DE ATERRIZAJE (ATA 32).....	162
11.14 LUCES (ATA 33).....	170
11.15 OXÍGENO (ATA 35).....	173
11.16 SISTEMAS NEUMÁTICOS y DE VACÍO (ATA 36).....	175
11.17 AGUAS RESIDUALES (ATA 38).....	177
11.18 SISTEMAS DE MANTENIMIENTO A BORDO (ATA 45).....	181
11.19 AVIÓNICA MODULAR INTEGRADA (ATA 42).....	186
11.20 SISTEMAS DE CABINA (ATA 44).....	199
11.21 SISTEMAS DE INFORMACIÓN (ATA 46).....	206
11.02-08(A) – INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS.....	209
EL RAYO Y LA AERONAVE.....	209
CLASIFICACIÓN DE ZONAS DE RIESGO.....	210
DAÑOS PRODUCIDOS POR RAYOS.....	211
LA ELECTRICIDAD ESTÁTICA.....	212
PROTECCIÓN FRENTE A LOS DAÑOS DIRECTOS.....	214
PROTECCIÓN FRENTE A DAÑOS INDIRECTOS.....	215
PROTECCIÓN ESPECÍFICA DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE.....	216
INSPECCIONES ESPECIALES POR CAÍDA DE RAYO.....	218

11.02-09(A) – PUESTA A TIERRA DE LA AERONAVE.....	219
PRECAUCIONES QUE TENER EN CUENTA EN EL ENTORNO DE LA AERONAVE.....	219
11.02.B-01 – MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN DE FUSELAJE CON REVESTIMIENTO SOMETIDO A ESFUERZOS; CONFORMADORES; LARGUERILLOS; LARGUEROS; MAMPAROS; CUADERNAS; CHAPAS DE REFUERZO; MONTANTES; ANCLAJES; VIGAS; ESTRUCTURAS DEL PISO REFUERZOS; MÉTODOS DE REVESTIMIENTO; PROTECCIÓN ANTICORROSIÓN, ALAS, EMPENAJE Y ANCLAJE DE MOTORES.....	221
FUSELAJE CON REVESTIMIENTO SOMETIDO A ESFUERZOS.....	221
CONFORMADORES.....	222
LARGUERILLOS Y LARGUEROS.....	223
MAMPAROS.....	223
CUADERNAS.....	224
CHAPAS DE REFUERZO.....	225
MONTANTES.....	226
ANCLAJES.....	226
VIGAS.....	228
ESTRUCTURAS DEL PISO, REFUERZOS.....	228
MÉTODOS DE REVESTIMIENTO.....	228
PROTECCIÓN ANTICORROSIÓN.....	229
ALAS.....	229
EMPENAJE.....	230
ANCLAJE DE MOTORES.....	231
11.02.B-02 – TÉCNICAS DE MONTAJE DE ESTRUCTURAS.....	234
REMACHADO.....	234
EMPERNADO (ATORNILLADO).....	237
UNIÓN CON ADHESIVOS.....	239
SOLDADURA POR FUSIÓN.....	241
SOLDADURA DE LÁSER.....	244
SOLDADURA HÍBRIDA.....	244
11.02.B-03 – MÉTODOS DE PROTECCIÓN SUPERFICIAL.....	245
CROMADO Y NIQUELADO.....	245
ANODIZADO.....	246
PINTURA.....	246
11.02.B-04 – LIMPIEZA DE SUPERFICIES.....	249
11.02.B-05 – SIMETRÍA DE LA CÉLULA: MÉTODOS DE ALINEACIÓN Y COMPROBACIÓN DE LA SIMETRÍA.....	250
11.03 – ESTRUCTURA DE LA CÉLULA. AVIONES.....	253
11.03-00 – GENERALIDADES (FUSELAJE, PUERTAS, VENTANAS Y PARABRISAS)	255
FACTOR DE CARGA.....	255
CARGAS AÉREAS O GENERADAS POR EL AIRE:.....	255

CARGAS DE SUELO.....	256
11.03-01 – FUSELAJE (ATA 53).....	257
FABRICACIÓN Y SELLADO DE LA PRESURIZACIÓN.....	262
ANCLAJES DE ALAS, ESTABILIZADORES, VOLADIZOS Y TREN DE ATERRIZAJE.....	271
INSTALACIÓN DE ASIENTOS y SISTEMAS DE CARGA DE MERCANCÍA	277
PUERTAS (ATA 52).....	290
ESTRUCTURAS Y MECANISMOS DE LAS VENTANAS Y PARABRISAS	318
11.03-02 – ALAS (ATA 57).....	324
ESTRUCTURA.....	327
ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE.....	332
ANCLAJES DE TREN DE ATERRIZAJE, VOLADIZOS, SUPERFICIES DE MANDO Y ELEMENTOS HIPERSUSTENTADORES y DE AUMENTO DE LA RESISTENCIA.....	335
11.03-03 – ESTABILIZADORES (ATA 55).....	337
ESTRUCTURA.....	338
ANCLAJE DE SUPERFICIES DE MANDO.....	342
11.03-04 – SUPERFICIES DE MANDO DE VUELO (ATA 55, 57).....	344
ESTRUCTURA Y ANCLAJES.....	344
EQUILIBRADO: MASA Y AERODINÁMICA.....	346
11.03-05 – GÓNDOLAS/VOLADIZOS (ATA 54).....	348
ESTRUCTURA.....	348
MAMPAROS CORTAFUEGOS.....	350
BANCADAS DE MOTOR.....	352
ÍNDICE DE FIGURAS.....	357
BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA.....	369

INTRODUCCIÓN

Cuando una persona después de muchos años de vida laboral, habiendo tenido la suerte de ejercerla en el medio de su vocación, y pasado por todas las categorías laborales de su profesión, empieza a reflexionar y a darle sentido a muchas cosas, trata de ver su andadura laboral como si estuviese subido en una gran torre, y se hace la gran pregunta:

¿He sembrado algo que pueda ser de utilidad para los continuadores de esta gran profesión? Descubre que todavía le queda mucho que puede hacer, que es necesario transmitir más cosas.

A la vez en el tiempo, en Europa las autoridades de EASA (European Aviation Safety Agency) y la DGAC (Dirección General de Aviación Civil) española están ordenando las normas que regulan el mantenimiento aeronáutico, y la formación del personal que lo ejecute, así que está claro lo que hay que hacer, y se pone uno manos a la obra, en la creencia de que ayudar a tu profesión es servir a la mejor de las causas.

Dentro de la formación de un técnico de mantenimiento de aeronaves es básico el conocimiento de los sistemas de las mismas, en esta obra se han tratado de cubrir todas las necesidades de formación básica que tiene que conocer un futuro técnico de mantenimiento, tratados desde tres puntos de vista y con un objetivo. Primero, que cumpla con lo especificado en la normativa vigente. Segundo, tratarlo desde un aspecto no excesivamente teórico. Tercero, tratarlo desde el punto de vista que me han proporcionado los más de cuarenta años de experiencia a pie de avión en hangares y pistas en gran parte del mundo, dentro de la gran compañía aérea que es IBERIA. Todo esto con el objetivo de situar al técnico que llegará a las empresas con las herramientas intelectuales y prácticas necesarias para que puedan recibir los cursos de tipo de aeronaves con un alto grado de aprovechamiento, y además inculcar en el alumnado formas, normas y costumbres para que sabiendo lo que “no debe hacer” pueda, a partir de las primeras semanas, ir efectuando trabajos de principiantes, pero necesarios y que le ayudarán a sentirse útil mientras va adquiriendo la experiencia imprescindible, que le permita llegar donde él mismo se marque su objetivo.

Creo que el resultado de este trabajo, al estar puntualmente ajustado a las normas vigentes, puede ser de gran ayuda a profesores, que sumándole su experiencia personal puedan conseguir para sus alumnos los mismos objetivos que yo persigo para los míos.

Toda esta documentación está en las manos del lector no solo por mi esfuerzo y trabajo, sino que tengo que agradecer muy de veras a todos los que me han ayudado y animado en los momentos en que me rondaba la idea de abandonar el objetivo.

Una vez tenido claro lo que hay que hacer, observo que el objetivo me desborda; al tener la suerte de tener a mi lado a Ángel Mario Gato Gutiérrez, licenciado en Documentación, oficial del Ejército de Aire en la reserva que ejerció su labor como controlador aéreo de interceptación, conocedor de la normativa y documentación del entorno aeronáutico, con el que mano a mano hemos conseguido que este trabajo tenga sentido, y nos sintamos satisfechos del resultado.

Vaya mi agradecimiento a mi esposa Marisa, a la que he quitado muchas horas de “otras cosas”, y ha corregido, desde el punto de vista gramatical, todas las páginas de esta obra; a Jesús Albear por sus opiniones, orientaciones y apuntes en materia de aviónica y electricidad, y muy especialmente a:

José Luis Quirós, que, desde su puesto de director de producción de una de las grandes compañías europeas, como es Iberia, ha encontrado tiempo para escribir unas líneas a modo de prólogo, que le agradezco de corazón por lo leal amigo que es, ahora que por mi pase a la reserva ya no es “mi director”, su opinión es para mí muy valiosa.

A Cesar Moya Villasante, ingeniero técnico aeronáutico, otro referente en el mantenimiento de aviones en la aviación comercial, que amablemente ha opinado sobre este trabajo en el prólogo del segundo tomo.

Al doctor en Geografía e Historia D. Rafael González Prieto, que desde su puesto de inspector de Enseñanza de la Comunidad Valenciana deja su opinión sobre la obra y que con mucha satisfacción inserto a modo de prólogo del tomo tercero, ya que si bien no es profesional de la aeronáutica, sí lo es de la enseñanza y nadie mejor que él para dejar su opinión desde ese punto de vista.

Al ingeniero técnico aeronáutico Francisco Carrascal Minero, que además de dedicar su vida laboral al mantenimiento de aviones de la compañía Iberia en diversos destinos y cargos, siempre encontró tiempo para dedicárselo a la enseñanza, ya como profesor en la universidad madrileña, o como director técnico de escuelas de formación de técnicos de mantenimiento de aeronaves reconocidas como centros AESA-147, que como conocedor profundo de este medio ha tenido a bien prologar el tomo 0 de esta obra, por lo que le estaré muy agradecido porque es una opinión muy autorizada y valiosa.

Y a todos los compañeros de la enseñanza por sus ánimos y opiniones recibidos, a todos, mi gratitud sin límites porque han sido los animadores de mi labor. Tampoco quiero olvidarme de los alumnos que he tenido en estos años, que me han manifestado esta o aquella preferencia y que yo he tratado de corregir, vaya en estas líneas mi gratitud a todos.

Si con este trabajo se puede ayudar a conseguir dar posibilidades a cuantos sientan un deseo de formarse profesionalmente en el mantenimiento aeronáutico, puedan hacerlo y dedicarse a esta apasionante profesión durante toda su vida, o para que algún “aficionado” al medio aeronáutico pueda solucionar alguna de sus dudas, o para los técnicos actuales para que les pueda ayudar a refrescar sus conocimientos básicos, habré conseguido el sentirme satisfecho y con el “deber cumplido”.

Felipe Gato Gutiérrez

PRÓLOGO

Cuando hace algún tiempo me hizo saber Felipe, el autor, junto con su hijo Ángel Mario, que estaba escribiendo este libro sobre los sistemas de aeronaves de turbina de manera que se adaptase a lo exigido en las escuelas de formación de técnicos de mantenimiento de aeronaves por la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) en el anexo III (parte 66) del reglamento (UE) 2042/2003 (recientemente modificado por el 1149/2011), me comentó que le gustaría que le prologara este tomo 0, que trataría de Teoría del Vuelo y Estructuras del Avión, del total de los cinco tomos que componen el libro.

Difícilmente podría yo negar esto debido a la antigua y excelente amistad con él, pero además había otro motivo que me hacía aceptar el encargo, mi compromiso desde siempre con la enseñanza.

Todo lo que se refiere a la enseñanza aeronáutica ha sido siempre para mí, y yo sé que también para Felipe, de gran importancia, y es por esto por lo que gran parte de mi ya dilatada vida profesional se ha desarrollado en paralelo entre el mantenimiento de aviones en una gran compañía (Iberia), en la que conocí al autor del libro, y la enseñanza, primeramente en la Universidad Politécnica de Madrid (Escuela de Ingenieros Técnicos Aeronáuticos) impartiendo clases de Estructuras de Aeronaves y Arquitectura y Mantenimiento de Aviones, y posteriormente tras mi traslado a Málaga como jefe de mantenimiento de Iberia del Área de Andalucía (año 1990), inicialmente en escuelas de pilotos (no existían escuelas de TMA) y desde octubre de 1998, año en el que se inicia la formación de TMA en Málaga, en la escuela SUR'AVIAN, (actualmente Centro de Formación EASA Parte 147) como profesor de Aerodinámica Básica, Teoría del Vuelo y Estructuras de Avión (materias precisamente de las que trata este Tomo I) y como director de formación de la misma.

Es evidente que escribir un libro conlleva mucho sacrificio, ratos de ocio robados a la familia y mucha perseverancia, método y constancia, cualidades que sin lugar a dudas posee el autor en demasía, además de una voluntad férrea para la consecución de aquello que se propone, como lo ha demostrado desde el momento en que se inicia la formación de técnicos de mantenimiento en la Escuela de Formación de Cheste, participando activamente y siendo un pilar importante en su puesta en marcha, y posteriormente como profesor de la misma, compatibilizándolo todo con su trabajo como jefe de mantenimiento de aviones de Iberia para el área de Levante y que al final dan como fruto este libro que hoy tenemos entre manos.

Sin duda alguna, en el momento de ponerse a escribir el libro el autor ya tenía muy claro lo que quería, pues bien sabemos que para desarrollar complicadas fórmulas matemáticas, primero hay que aprender a sumar, y para hacerlo alguien nos tiene que enseñar, así que como lo principal de la enseñanza no ha de consistir en amueblar copiosamente la memoria de los alumnos, sino en educar su inteligencia de manera que estos entiendan las ideas fundamentales, se familiaricen con ellas y se acostumbren a manejarlas, de ahí que el libro esté escrito en tono fácil, descriptivo y sencillo, que haga su lectura amena, sin por ello faltar a la rigurosidad necesaria para lo que se pretende transmitir.

A juzgar por los comentarios oídos a los alumnos en estos años, parecía claro que se necesitaba un libro sencillo, que proporcionase la información básica sobre sistemas de aeronaves de turbina y a la vez se adaptase a lo exigido en el módulo 11A de la parte 66, sin los adornos de una publicación más técnica. Es de esperar que esta publicación cubra esas expectativas tanto a futuros alumnos de estas escuelas de formación de TMA como a los profesionales que quieran “refrescar sus conocimientos”, porque con el paso de los años se hayan ido oxidando y venga bien

hacerlo.

Podrá encontrar el lector en este libro un trabajo que ha sabido unir una síntesis clara de los fundamentos y razones del funcionamiento de los sistemas del avión y una buena exposición que va desde los principios fundamentales a los más modernos adelantos de la tecnología actual, todo ello tratado con una claridad que hace del texto un libro recomendado fundamentalmente para todo aquel que se inicia en la materia.

Es fundamental hacer comprender a alumnos y futuros profesionales de la aviación la importancia que tiene en el desarrollo de la profesión, y fundamentalmente en un campo tan amplio y complejo como la aviación, el buen conocimiento de la teoría, ya que se expondría a graves errores aquel técnico que se limitara a seguir ciertos métodos y aplicar sin más ciertas reglas aprendidas de memoria. Tampoco podrá realizar labor útil el teórico que desconozca las cuestiones técnicas que permitan aplicar la teoría a la práctica. Esto es, no se puede ser un buen técnico teniendo solamente una formación práctica suficientemente amplia que nos permita desarrollar nuestro trabajo con suficiente holgura y conocimientos sin la formación teórica complementaria. De ahí que siempre fui de la opinión de que para un buen profesional deben ir íntimamente unidas teoría y práctica.

Me permito aquí traer a la memoria, de más de uno que le conocía, la frase que decía frecuentemente el amigo, buen compañero y gran profesional, ingeniero aeronáutico, fallecido hace unos años, Martín Cuesta Álvarez, que dedicó muchos años a la enseñanza de los técnicos de mantenimiento de aviones, aparte de los ingenieros en la ETSIA, iniciándola allá por el año 48 en la Escuela Militar de Especialistas de Aviación de Málaga, que solía decir con gracia y acierto eso de: “NO HAY PRÁCTICA SIN TEORÍA” siempre que salía este tema de conversación.

Un aspecto más que tener en cuenta en el libro, que es de agradecer por los dedicados a la enseñanza de esta materia, y que el autor tuvo en cuenta a la hora de su diseño, es que la numeración de sus apartados sigue la numeración del módulo 11A de la parte 66, al que pretende adaptarse, lo que viene a facilitar su seguimiento por parte de instructores y alumnos.

Por tanto, este tomo I viene a cubrir los apartados 11.1 “Teoría el vuelo”, 11.2 “Estructuras de la célula”. Conceptos generales y 11.3 “Estructuras de la célula. Aviones”, del módulo 11A de la parte 66, siendo quizás el último apartado el que parezca más ameno al alumno en su lectura y estudio, dado que viene a descubrirle, de una forma sencilla y fácilmente comprensible, la estructura del avión en sus partes fundamentales: fuselaje, alas, estabilizadores y góndolas o voladizos.

No quiero terminar estas líneas sin agradecer a los autores la atención que han

tenido conmigo al darme ocasión de prologar este tomo 0 de su obra *Sistemas de aeronaves de turbina*, lo que hago con sumo placer, deseándoles un gran éxito en su empeño.

Málaga, enero de 2012

F. J. Carrascal

Ingeniero Técnico Aeronáutico

11.01–TEORÍA DEL VUELO

11.01–00 – GENERALIDADES.....	7
11.01–01 – AERODINÁMICA DEL AVIÓN Y MANDOS DE VUELO.....	14
11.01–02 – VUELO A ALTA VELOCIDAD.....	51

11.01-00 – GENERALIDADES

Una vez tratados convenientemente en el módulo 8 “Aerodinámica básica” tanto las nomenclaturas y fuerzas que intervienen en el vuelo como las leyes físicas y principios conocidos, que nos han dejado con suficiente claridad el cómo y por qué vuela una aeronave más pesada que el aire, entramos en este capítulo a tratar con un poco más de profundidad el origen y la necesidad de los elementos que se han ido diseñando para el control del vuelo que ya se ha tratado, y cómo se produce. Todo este camino se hace necesario para poder llegar al módulo 11.9 (“Mandos de vuelo”), donde se trata en profundidad cómo funcionan todos esos mandos de control de vuelo, con los conocimientos necesarios para poder desarrollar la comprensión del funcionamiento de todo el conjunto llegando posteriormente al cuarto escalón de la formación de este tipo, que es el de la aplicación de todas estas teorías y posibilidades a una aeronave en concreto dentro de lo que denominamos la formación de tipo, o sea, los cursos específicos de tipo de avión.

Al final de todo este periplo de capítulos que conforman la formación del técnico de mantenimiento de aeronaves, quedan aclaradas preguntas tan básicas como: por qué vuela un avión, cómo es la máquina resultante de la aplicación de esos conocimientos, para qué puede ser utilizada o de qué forma se consigue que la realización de todos esos elementos y conocimientos sirva para cubrir las expectativas con las que la humanidad empezó toda esta carrera, que afortunadamente ha adquirido una velocidad en los cambios, mejoras y prestaciones que hace que una gran cantidad de personas y medios en el mundo se dediquen a esas tareas.

Desde siempre los pobladores de la Tierra han sentido la necesidad de volar, de imitar a las aves, y no han cesado en el empeño aportando conocimientos, experiencias y fracasos, hasta que en los albores del siglo veinte se consigue el primer vuelo, comienza una vertiginosa carrera, basándose en los conocimientos de la física y las matemáticas conseguidos por la humanidad, aplicándolos y desarrollándolos junto con los de otros campos como la química y los materiales, para conseguir que un elemento más pesado que el aire sea capaz de moverse de un punto a otro de la Tierra, proporcionando a la humanidad unos servicios determinados.

Ese vuelo que se ha conseguido efectuar se controla utilizando otras varias ramas de la industria como la hidráulica, para mover mandos de vuelo o tren de aterrizaje, la neumática, para crear y mantener el hábitat confortable para el ser humano dentro del fuselaje de la aeronave, los conocimientos de la navegación que nos permiten navegar por el camino más adecuado, también son aplicados todos los progresos en el campo de las comunicaciones o la electricidad y la electrónica, que posibilitan cada vez más el control y manejo de las órdenes que emite el piloto.

Estas órdenes, que en las aeronaves de generaciones anteriores eran de la magnitud que el piloto tenía por conveniente, en la actualidad en los aviones de la generación última son los computadores los que una vez recibida la orden del piloto, la analiza y después de analizar el resto de las situaciones en las que se encuentra la aeronave, emiten la orden correspondiente a las unidades actuadoras siempre en el sentido que demandó el piloto, pero con la magnitud más idónea según las circunstancias.

A lo largo de este capítulo se exponen unos comentarios elementales sobre aerodinámica necesarios para la comprensión de los fenómenos físicos que intervienen en el vuelo de un avión, como son la sustentación producida por las alas, la estabilidad del avión y el control del mismo mediante las superficies de mando.

No es este capítulo un profundo estudio de los principios de la mecánica de fluidos, que no son necesarios para la formación de un técnico de mantenimiento, porque entre sus funciones no

está la del diseño, no obstante, sí es necesario tener conocimientos de estos fenómenos para comprender las funciones de cada elemento de la aeronave relacionados con la mecánica del vuelo, teniendo en cuenta que de una forma básica y profunda, estos temas se tratan en la asignatura de Aerodinámica en el módulo 8.

Dentro de lo que se denomina aerodinámica se encuentran todos los conocimientos sobre las tres áreas relacionadas con el diseño y fabricación de una aeronave, el área de la dinámica de fluidos, el área de la mecánica del vuelo y el área de la aeronáutica.

DINÁMICA DE FLUIDOS: Es la parte de la física teórica que estudia el movimiento de los fluidos, ya sean líquidos, gaseosos o casi sólidos, como pueden ser los diferentes tipos de grasas, gelatinas, etc., tomando para los estudios sobre el avión la parte correspondiente al aire en movimiento.

MECÁNICA DEL VUELO: Es el área en la que se trata gran parte de la teoría aerodinámica relacionada con el movimiento y estabilidad de los aeroplanos en función de las fuerzas aerodinámicas.

AERONÁUTICA : En esta área se considera la unidad completa, ya que comprende desde la parte aerodinámica y el mecanismo de control de vuelo a la estructura de los aeroplanos, los sistemas de propulsión y toda la ingeniería de los vehículos destinados al vuelo mecánico.

Como referencia histórica, los conocimientos en la aerodinámica logrados hasta ahora implican una serie de exhaustivos cálculos, satisfactorios unos, o erradas teorías otros, que van proporcionando a la humanidad avances muy intermitentes, hasta llegar a la primera década del siglo XX, en la que comienza un proceso de avance con la ampliación de conocimientos, desarrollo de las nuevas técnicas y la aplicación a la aeronáutica de los avances en otras ramas del conocimiento y la industria.

Sin remontarnos a la historia del ansia de volar que tiene el hombre desde muy antiguos tiempos, ni a los artilugios o fábulas que desde Ícaro a Leonardo da Vinci aparecen en los anales de la historia, es Newton el que da un impulso a los conocimientos, cuando plasma las teorías en las que más tarde se basará la fórmula cuantitativa para calcular el esfuerzo ascensional o de sustentación de una placa inclinada en movimiento en el aire, allá por el año 1726.

Unos años más tarde (en 1738) es Daniel Bernoulli, en su libro *Hidrodinámica*, el que da otro avance más a estos conocimientos con lo que se conoce como el principio o el teorema de Bernoulli.

Muchos años más tarde, Rayleigh, en 1876, presenta otra teoría sobre la distribución, de una influencia similar a la creada por una tabla plana al deslizarse sobre el agua. Estas teorías eran insuficientes para la creación de los aeroplanos, ya que en muchos puntos son bastante discrepantes.

Sobre el año 1907 es Joukowski el que estudia y advierte la importancia que tiene la plancha ascensional en movimiento a través de un gran volumen de aire, dando con sus cálculos y teorías un gran impulso a estos conocimientos, que permitirán en ya poco tiempo que se comenzase a construir prototipos de máquinas más pesadas que el aire con la idea de que fuesen capaces de volar, cosa que consiguen los hermanos Wright poco tiempo más tarde, dando así la salida a una imparable y vertiginosa carrera de avances y progresos, que nos lleva al desarrollo no solo de la aeronáutica con los aviones y helicópteros actuales, sino también al de la astronáutica con los vuelos tripulados al espacio.

En la figura siguiente se muestra un cuadro con las comparaciones sobre las teorías más significativas estudiadas antes del siglo XX.

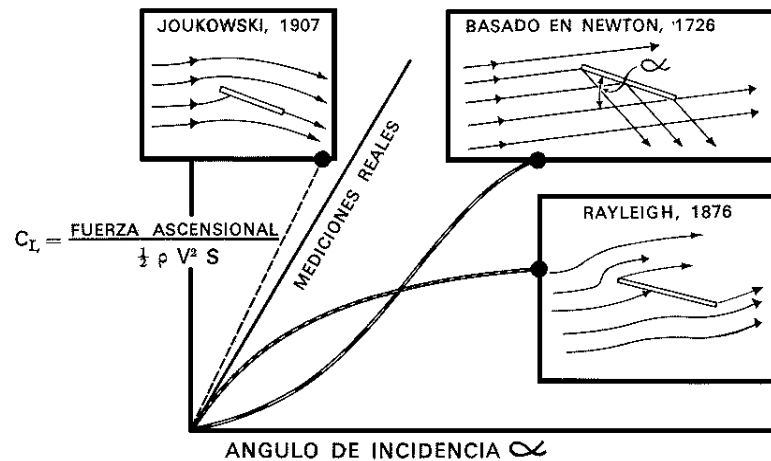


Figura – Comparación entre teorías.

A continuación se exponen unas definiciones básicas de los términos generalmente más utilizados en el tratamiento de los fenómenos que se desarrollan alrededor de las teorías del vuelo de una aeronave, así se define como:

LÍNEA DE CORRIENTE DE UN FLUIDO

La línea que es tangente en cada punto a la velocidad de la corriente en dicho punto. Un conjunto de varias líneas forma un espectro aerodinámico.

CORRIENTE LAMINAR Y TURBULENTA

La corriente laminar de un fluido es aquella en la que todas las líneas de corriente son paralelas a una misma dirección, sin interponerles ningún obstáculo, o sea, que el espectro aerodinámico de una corriente libre laminar es un conjunto de líneas de corriente paralelas. Desde un punto de vista teórico si un grupo de líneas de una corriente laminar atraviesa paralelamente un tubo, con una pared de espesor despreciable, si el fluido carece de viscosidad, la corriente laminar no se verá perturbada. Por otra parte, si la sección del tubo no es excesivamente variable, ni la velocidad del fluido sobrepasa ciertos límites, la corriente seguirá siendo laminar.

Si se aumenta la velocidad del fluido con respecto de ese mismo cuerpo interpuesto, se desprenden las líneas de corriente formando detrás de él torbellinos. Los límites de la velocidad a los que empieza a formarse este movimiento turbulento están directamente relacionados con la forma del cuerpo interpuesto y con las características del fluido, de aquí se deduce la importancia básica que tiene la elección del perfil del ala por parte de los equipos de diseño de los aviones.

En la figura siguiente se presenta una corriente laminar que, al aumentar la velocidad del aire, se vuelve turbulenta:

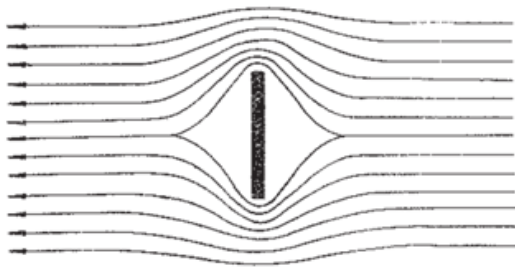


Figura – Corriente laminar.

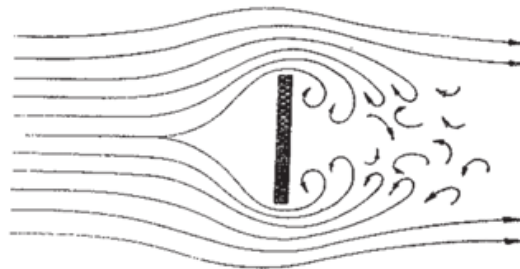


Figura – Corriente turbulenta.

Para que un objeto más pesado que el aire sea capaz de mantenerse en el mismo y circular por él, es necesario que se produzca una fuerza ascensional, que en los aviones la producen las alas, que deberá ser igual al peso del avión en vuelo horizontal, pero deberá superar al mismo para modificar su posición controlada, para ascender, maniobrar y aterrizar. Para obtener un vuelo estable se tienen que dar, entre otras, dos condiciones básicas, que exista un equilibrio entre fuerzas y momentos y que si al avión se le modifica el equilibrio por cualquier causa (atmosférica o de modificación de su carga), los momentos y las fuerzas tiendan a devolverlo a su posición original. En cuanto al control del avión en el aire este es ejercido por el piloto, con la ayuda de unas superficies móviles, que alteran el flujo del aire y por lo tanto las fuerzas y momentos, todo ello para conseguir que el avión se desplace a voluntad del piloto, lo que le permite desplazarse de un lugar a otro, por la ruta más conveniente en cada momento, colocando el avión con el ángulo correcto frente al flujo de aire que se aproxima.

EJES DEL AVIÓN

Se trata de rectas imaginarias e ideales trazadas sobre el avión. Su denominación y los movimientos que se realizan alrededor de ellos son los siguientes:

Eje longitudinal. Es el eje que va desde el morro hasta la cola del avión. El movimiento alrededor de este eje (levantar un ala bajando la otra) se denomina alabeo (*roll*). También se le denomina eje de alabeo, nombre que parece más lógico, pues cuando se hace referencia a la estabilidad sobre este eje, es menos confuso hablar de estabilidad de alabeo que de estabilidad “transversal”, pero se utilizan los dos términos.

Eje transversal o lateral. Eje que va desde el extremo de un ala al extremo de la otra. El movimiento alrededor de este eje (morro arriba o morro abajo) se denomina cabeceo (*pitch*). También denominado eje de cabeceo, por las mismas razones que en el caso anterior.

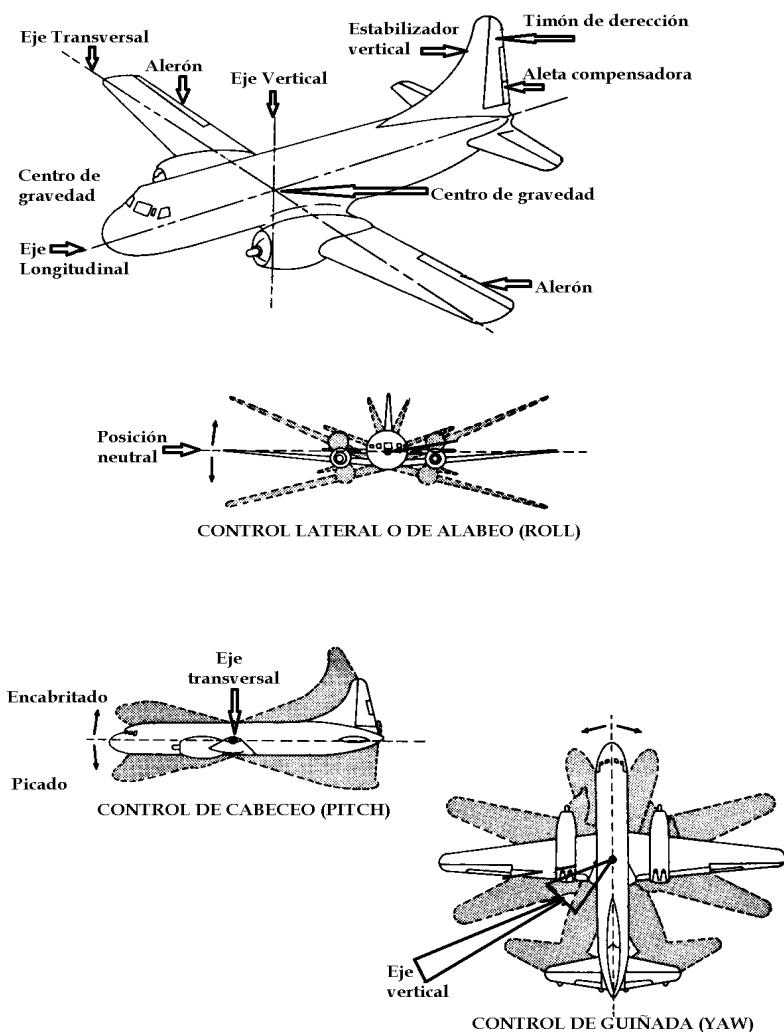


Figura – Ejes del avión y sus movimientos.

Eje vertical. Es el eje que atraviesa el centro del avión. El movimiento en torno a este eje (morro virando a la izquierda o la derecha) se llama guiñada (*yaw*). Denominado igualmente eje de guiñada.

ÁNGULO DE ATAQUE

Se denomina así al ángulo que forma la dirección del fluido en movimiento, o corriente relativa, con la cuerda del perfil del ala. Ángulo de ataque inducido, al formado por la dirección del viento relativo con la corriente libre del aire, y ángulo de ataque geométrico, al formado por la cuerda del perfil con la corriente libre del aire. En la figura siguiente se muestra un dibujo con varios de los ángulos formados con un perfil aerodinámico.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura –Comparación entre teorías.....	9
Figura – Corriente laminar.....	10
Figura – Corriente turbulenta.....	10
Figura – Ejes del avión y sus movimientos.....	11
Figura – Ángulo de ataque.....	12
Figura – Influencia del diedro.....	12
Figura – Flecha de ala.....	13
Figura – Fuerzas que actúan en vuelo.....	14
Figura – Posiciones del centro de gravedad.....	14
Figura – Resistencia.....	15
Figura – Sistema de alabeo.....	16
Figura – Alerones de alta y baja velocidad.....	17
Figura – Estructura de un alerón.....	17
Figura – Control del movimiento.....	18
Figura – Esquema de un timón de profundidad.....	19
Figura – Efectos del timón de profundidad.....	19
Figura – Sistema de estabilizador horizontal.....	20
Figura – Estabilizador horizontal con depósito de combustible.....	21
Figura – Avión canard primitivo.....	22
Figura – Avión canard.....	22
Figura – Aleta estabilizadora (canard) en un MD-83.....	23
Figura – Elementos de control de la guiñada.....	24
Figura – Tipos de empenajes de cola.....	24
Figura – Esquema de un timón de dirección.....	25
Figura – Elevones.....	26
Figura – Efectos del slat.....	27
Figura – Slats.....	28
Figura – Distribución de la sustentación.....	29
Figura – Flaps de borde de ataque.....	29
Figura – Tipos de flaps.....	30
Figura – Flaps de borde de salida.....	31
Figura – Posiciones de un flap de Fowler y slat.....	33

Figura – Situación de los spoilers.....	34
Figura – Efectos aerodinámicos en las alas.....	36
Figura – Generadores de torbellinos.....	37
Figura – Vortilones.....	37
Figura – Winglet.....	38
Figura – Tipos de winglet.....	38
Figura – Bordes de ataque.....	39
Figura – Generadores de torbellinos y separadores de capa límite.....	40
Figura – Tipos de aletas en un empenaje de cola.....	41
Figura – Sistema de compensación de alerones.....	42
Figura – Sistema de profundidad mediante mando sobre las aletas de control.....	43
Figura – Aleta de equilibrio fija.....	43
Figura –Esquema de servoaleta simple.....	44
Figura –Esquema de servoaleta con resortes.....	44
Figura – Sistema de servoaleta de alabeo.....	46
Figura – Centro de gravedad.....	47
Figura – Equilibrado de una superficie de control.....	47
Figura – Centro de gravedad adelantado.....	48
Figura – Centro de gravedad retrasado.....	48
Figura – Centro de gravedad desplazado a la izquierda.....	49
Figura – Paneles de equilibrado de un timón de profundidad.....	50
Figura – Perfil a velocidad subsónica.....	52
Figura – Tipos de perfil supersónicos.....	52
Figura – Diagrama de resistencias.....	53
Figura – Ondas de choque.....	53
Figura – Ondas de choque.....	56
Figura – Ondas de choque.....	56
Figura – Ondas de expansión.....	57
Figura – Cortes simulados para la regla del área.....	58
Figura – Conductos de entrada de aire al motor.....	60
Figura – Entradas de aire al motor típicas de aviones subsónicos.....	61
Figura – Tipos de conductos subsónicos.....	61
Figura – Distintos tipos de difusores de compresión exterior para aviones supersónicos.....	63
Figura –Difusores supersónicos.....	63

Figura – Difusor de entrada de área variable.....	64
Figura – Tipos de alas en flecha.....	66
Figura – Tipos de estructura.....	79
Figura – Tipos de estructura de un avión.....	80
Figura – Fuselaje de madera.....	81
Figura – Ala de madera.....	82
Figura – Fuselaje reticular.....	83
Figura – Fuselaje monocasco.....	83
Figura – Estructuras semimonocasco.....	84
Figura – Fuselaje metálico semimonocasco.....	85
Figura – Panel de materiales compuestos.....	86
Figura – Sándwich.....	87
Figura – Estructura del GLARE.....	88
Figura – Características y tipos de GLARE.....	88
Figura – Diagramas de tolerancia al daño.....	91
Figura – Sistema ATA 100.....	93
Figura – Ejes y planos de simetría.....	95
Figura – Secciones y estaciones del fuselaje.....	96
Figura – Estaciones del fuselaje.....	96
Figura – Estaciones del ala.....	97
Figura – Estaciones del estabilizador vertical.....	98
Figura – Estaciones del estabilizador horizontal.....	99
Figura – Tipos de esfuerzos.....	101
Figura – Aislantes en el interior del fuselaje.....	106
Figura – Ventilación y desagüe de la cocina.....	107
Figura – Ventilación de alojamiento de baterías.....	108
Figura – Ventilación del pylon de un motor.....	108
Figura – Ventilación del motor.....	109
Figura – Cabina de los años 40 del siglo XX.....	110
Figura – Cabina del Concorde.....	111
Figura – Cabina de un AIRBUS.....	111
Figura – Panel de cabina de AIRBUS.....	112
Figura – Sistema de aire acondicionado.....	112
Figura – Panel frontal derecho de instrumentos.....	115

Figura – Equipo grabador de datos de vuelo. (Caja negra).....	115
Figura – Brújula magnética.....	116
Figura – Instrumentos de emergencia.....	117
Figura – Diagrama bloque de un piloto automático (3 canales).....	119
Figura – Sistema automático de control de gases.....	120
Figura – Sistema de comunicaciones.....	121
Figura – Comunicaciones en alta frecuencia (HF).....	122
Figura – Comunicaciones de muy alta frecuencia (VHF).....	123
Figura – Sistema de llamada selectiva (SELCAL).....	124
Figura – Impresora de a bordo.....	125
Figura – Altímetro mixto (eléctrico y neumático).....	125
Figura – Sistema de navegación.....	126
Figura – Instrumentos de navegación standby.....	127
Figura – Dos modos de presentación en la pantalla de ND.....	128
Figura – Interconexiones de los sistemas de radionavegación.....	129
Figura – Esquema general de un sistema eléctrico.....	130
Figura – Generadores principales de corriente eléctrica.....	131
Figura – Generación de potencia de emergencia.....	132
Figura – Paneles de control del sistema eléctrico.....	133
Figura – Asientos de pilotos y pasajeros.....	134
Figura – Armarios de cocina y electrodomésticos.....	135
Figura – Unidades de bloqueo y arrastre de contenedores.....	136
Figura – Distribución del equipo de emergencia.....	137
Figura – Sistema detector de incendios.....	138
Figura – Sistema extintor de fuego a los motores.....	139
Figura – Sistema extintor de bodegas.....	140
Figura – Mandos de control de vuelo.....	140
Figura – Mandos de control en cabina.....	141
Figura – Sistema de alabeo.....	142
Figura – Sistema de profundidad.....	142
Figura – Timón de dirección.....	143
Figura – Comparación de un sistema de mandos de vuelo convencional con un del tipo <i>fly by wire</i>	144
Figura – Mandos de vuelo secundarios.....	145

Figura – Pedestal central de cabina.....	146
Figura – Flaps de borde de ataque.....	147
Figura – Slats de borde de ataque.....	147
Figura – Elementos de ala.....	147
Figura – Compensación mediante estabilizador horizontal.....	148
Figura – Sistema de spoilers.....	149
Figura – Indicaciones analógicas de mandos de vuelo.....	150
Figura – Sistema de spoilers.....	151
Figura – Diagrama de un sistema de combustible.....	152
Figura – Depósitos de combustible.....	153
Figura – Sistema de repostado y alimentación de combustible.....	154
Figura – Pantalla indicadora del sistema de combustible.....	154
Figura – Panel de repostado de combustible.....	154
Figura – Panel de control de un sistema de combustible.....	155
Figura – Cuadro sinóptico de un sistema hidráulico.....	156
Figura – Esquema de un sistema hidráulico.....	157
Figura – Indicación y control de un sistema hidráulico.....	158
Figura – Sistema antihielo neumático.....	159
Figura – Protección contra el hielo por aire a presión.....	160
Figura – Elementos con protección antihielo eléctrico.....	161
Figura – Controles del sistema antihielo.....	162
Figura – Tren de aterrizaje clásico.....	163
Figura – Tren de aterrizaje tipo triciclo.....	163
Figura – Pata de tren principal.....	164
Figura – Control y accionamiento del tren de aterrizaje.....	165
Figura – Conjunto de frenos de disco.....	166
Figura – Sistema de control de frenos.....	166
Figura – Sistemas de frenos.....	167
Figura – Sistema de dirección de ruedas de morro.....	168
Figura – Esquema de indicación de posición del tren.....	169
Figura – Luces exteriores.....	170
Figura – Luces de cabina de pilotos.....	171
Figura – Paneles de control de luces de cabina de pasajeros.....	172
Figura – Luces de emergencia.....	173

Figura – Sistema de oxígeno.....	174
Figura – Unidad generadora de oxígeno químico.....	175
Figura – Botella y máscaras de oxígeno portátil.....	175
Figura – Compresor de alta presión.....	176
Figura – Sistema neumático.....	177
Figura – Sistema de agua potable.....	178
Figura – Drenaje de aguas residuales.....	179
Figura – Depósito de residuos por gravedad.....	180
Figura – Sistema de recogida de residuos por vacío.....	181
Figura – Ordenadores centrales de los sistemas de mantenimiento a bordo.....	183
Figura – Tipos de computadores.....	184
Figura – Interconexiones de los controladores de zona y grupos de aire acondicionado.....	187
Figura – Elementos del control de sangrado de aire.....	188
Figura – Esquema de un sistema de presurización.....	189
Figura – Sistema de control de la ventilación.....	190
Figura – Páginas de temperaturas en el ECAM.....	191
Figura – Comunicaciones en ambas direcciones.....	192
Figura – Unidades de gestión del sistema de comunicaciones.....	192
Figura – Sistema de generación principal de energía eléctrica.....	193
Figura – Sistema de gestión de los contactores eléctricos.....	194
Figura – Sistema de supervisión y control de los disyuntores.....	194
Figura – Sistema de gestión automática del combustible.....	195
Figura – Unidades de gestión y actuación de maniobras de tren.....	197
Figura – Señales de entrada a la unidad de control de frenos y dirección de ruedas de morro.....	198
Figura – Señales de salida de la unidad de control de frenos y dirección de las ruedas de morro...	199
Figura – Interconexiones de los equipos con el sistema ACARS.....	200
Figura – Sistema de comunicaciones MCS–SATCOM.....	201
Figura – Arquitectura de un sistema central de cabina (CIDS).....	203
Figura – Sistema de entretenimiento de pasajeros.....	204
Figura – Sistema de comunicaciones HF.....	204
Figura – Sistemas de comunicación VHF.....	205
Figura – Tipos de rayos.....	209
Figura – Descargas de rayos a un avión.....	210
Figura – Zonas de riesgo de impacto y salida de rayos.....	211

Figura – Descargadores.....	213
Figura – Elementos y uniones con cable conductor.....	213
Figura – Tipos de uniones eléctricas.....	214
Figura – Cable blindado.....	215
Figura – Estación de repostado de combustible.....	216
Figura – Uniones en el interior de un depósito de combustible.....	217
Figura – Salida de ventilación de un depósito de combustible.....	217
Figura – Equipos de asistencia al avión en tierra.....	220
Figura – Conformador de bordes de ataque de madera.....	222
Figura – Conformador de una sección de fuselaje.....	222
Figura – Conformador de un revestimiento de ala conformadores.....	222
Figura – Tipos de perfiles de largueros.....	223
Figura – Largueros en la estructura de un ala.....	223
Figura – Mamparo de presión posterior.....	224
Figura – Cuadernas.....	225
Figura – Refuerzos en el fuselaje.....	225
Figura – Montantes de ala.....	226
Figura – Cajón del encastré de las alas.....	227
Figura – Herrajes y refuerzos para anclajes.....	228
Figura – Estructura de un ala.....	230
Figura – Empenajes.....	231
Figura – Bancada de fijación del motor.....	232
Figura – Pylon de anclaje de motor a un ala.....	233
Figura – Tabla de diferentes tipos de remaches de aluminio.....	235
Figura – Remaches y formas de colocación de remaches de aceros.....	235
Figura – Remaches ciegos.....	236
Figura – Remaches especiales.....	236
Figura – Varias clases de tornillos.....	237
Figura – Identificación de tornillos desde AN173 a AN186.....	238
Figura – Varios tipos de tuercas.....	238
Figura – Formas de uniones con adhesivos.....	239
Figura – Soldadura por puntos.....	242
Figura – Soldadura por resaltes.....	242
Figura – Soldadura por costura.....	243

Figura – Soldadura a tope.....	243
Figura – Soldadura por fricción.....	244
Figura – Puntos de apoyo de los niveles para comprobación de las medidas y alineaciones.....	251
Figura – Tipos de fuselajes.....	257
Figura – Fuselajes semimonocasco.....	258
Figura – Partes del fuselaje.....	259
Figura – Secciones de fuselajes.....	259
Figura – Unión de un estabilizador horizontal con un estabilizador vertical.....	260
Figura – Cono de cola lanzable.....	261
Figura – Cono de cola con APU.....	261
Figura – Fuselaje monocasco ligero.....	262
Figura – Secciones de fuselajes semimonocasco.....	263
Figura – Fuselaje semimonocasco de cubierta flotante.....	264
Figura – Vigas, largueros y refuerzos de fuselaje.....	265
Figura – Zona presurizada de una aeronave.....	266
Figura – Mamparo de presión posterior (huecos y refuerzos).....	266
Figura – Materiales utilizados.....	267
Figura – Sellado de placas antes del montaje.....	268
Figura – Sellado de inyección y relleno.....	269
Figura – Sellado de acuerdo.....	269
Figura – Sellados de ocultamiento.....	270
Figura – Sellados de ocultamiento.....	270
Figura – Sellados por juntas elásticas.....	271
Figura – Zona de unión ala–fuselaje.....	272
Figura – Zona de unión alas y fuselaje de un B-747.....	273
Figura – Sección central de unión del fuselaje y alas del A-380.....	273
Figura – Anclaje de un estabilizador vertical al fuselaje.....	274
Figura – Estabilizador horizontal móvil.....	275
Figura – Estructura de las góndolas de motor en una de un B-747.....	276
Figura – Unión a la estructura del ala de un soporte de pata de tren.....	276
Figura – Unión a la estructura de una pata de tren principal de un B-747.....	277
Figura – Asientos para pilotos ayer y hoy.....	278
Figura – Anclajes de asientos de pilotos.....	279
Figura – Asientos de aviones <i>fly by wire</i>	280

Figura – Anclajes de asientos de observadores.....	281
Figura – Unión de carriles al fuselaje.....	282
Figura – Anclajes de butacas de pasajeros.....	283
Figura – Operaciones de carga.....	284
Figura – Interior de una bodega de un carguero.....	284
Figura – Herrajes para la fijación en bodegas de carga a granel.....	285
Figura – Contenedores y pallets para mercancías y equipajes.....	286
Figura – Panel de un umbral para deslizamiento sobre bolas de los contenedores.....	286
Figura – Guía de umbral para deslizamiento de contenedores de carga.....	287
Figura – Unidades de bloqueo de contenedores.....	287
Figura – Unidades de bloqueo de contenedores en el umbral de la puerta de las bodegas.....	288
Figura – Unidades de arrastre de contenedores.....	289
Figura – Despiece de un panel de control del sistema de carga de bodegas de un A-320.....	290
Figura – Secuencia de apertura de una puerta.....	291
Figura – Puerta interior.....	292
Figura – Puerta con escalera monovolumen.....	293
Figura – Despiece estructural de una puerta.....	294
Figura – Compuerta de zona no presurizada.....	295
Figura – Soportes de mecanismos de puerta.....	296
Figura – Mecanismos de apertura y cierre de la puerta de entrada de un A-340.....	297
Figura – Herrajes guía de cierre de puerta de A-340.....	298
Figura – Mecanismos de apertura y cierre de puerta de entrada a cabina Fokker-50.....	299
Figura – Mecanismos de variación de forma de un MD-87.....	300
Figura – Bisagra de puerta.....	301
Figura – Bisagra articulada.....	301
Figura – Puerta de un Airbus.....	302
Figura – Puerta de bodega de contenedores.....	303
Figura – Puerta de comportamiento de accesorios.....	303
Figura – Herrajes de ajuste de una puerta de entrada de pasajeros.....	304
Figura – Sistema de indicación de posición de puertas de un MD-87.....	305
Figura – Micro de proximidad.....	306
Figura – Puertas de bodega de un Airbus A-340.....	306
Figura – Microinterruptores mecánicos.....	307
Figura – Puerta de bodega de carga.....	308

Figura – Puerta de actuación eléctrica.....	309
Figura – Puerta de operación hidráulica.....	309
Figura – Ventana de emergencia de actuación hidráulica.....	310
Figura – Operación de puerta desde el interior.....	311
Figura – Mecanismos de apertura desde el exterior.....	312
Figura – Mecanismo de bloqueo en abierto.....	313
Figura – Mecanismos de bloqueo de puerta abierta.....	314
Figura – Blocajes hidráulico–mecánicos en abierto.....	315
Figura – Sistema de ayuda a la apertura en emergencia de un A–340.....	316
Figura – Sistema de ayuda de apertura en emergencia de B–757.....	316
Figura – Cierres de seguridad en cabina de mandos.....	318
Figura – Ventanillas de cabina de pilotos.....	319
Figura – Ventanillas de parabrisas.....	320
Figura – Ventanilla de parabrisas.....	321
Figura – Ventanilla corredera de aumento de visibilidad.....	322
Figura – Ventanilla lateral de cabina de pilotos.....	322
Figura – Ventanilla de cabina de pasajeros.....	323
Figura – Perfiles alares.....	325
Figura – Tipos de alas.....	326
Figura – Biplano con alas arriostradas.....	326
Figura – Monoplano de ala alta arriostrada.....	326
Figura – Avión de ala media cantilever.....	327
Figura – Tipos de ala: perfiles y largueros.....	328
Figura – Tipos de largueros.....	328
Figura – Estructuras de alas de aviones ligeros.....	329
Figura – Formas de bordes marginales de alas.....	330
Figura – Ala con estructura de madera.....	331
Figura – Cosidos en recubrimiento de tela.....	332
Figura – Uniones de costillas y largueros en la estructura de un depósito de combustible.....	333
Figura – Puertas de acceso al interior de un depósito de combustible de ala.....	334
Figura – Instalación en el interior de un depósito de combustible.....	335
Figura – Unión a la estructura del ala de un soporte de pata de tren.....	335
Figura – Herrajes de fijación de un alerón.....	336
Figura – Estabilizadores en V.....	337

Figura – Cola de tres derivas.....	337
Figura – Tipos de empenajes de cola.....	338
Figura – Unión del estabilizador vertical con el fuselaje de un CRJ-200.....	339
Figura – Unión de un estabilizador vertical con el horizontal móvil de cola alta.....	339
Figura – Estructura de la parte superior de un estabilizador vertical.....	340
Figura – Estabilizador horizontal ligero.....	341
Figura – Estabilizador horizontal móvil.....	341
Figura – Fijación de los timones.....	342
Figura – Anclaje del timón de dirección.....	343
Figura – Estructura metálica de un timón de dirección y estabilizador vertical.....	345
Figura – Construcción en fibra de un mando de vuelo.....	345
Figura – Contrapesos de equilibrado en un timón de profundidad.....	346
Figura – Equilibrado con placas abisagradas.....	347
Figura – Góndola de un motor turbohélice.....	349
Figura – Voladizo (PYLON) de anclaje al fuselaje posterior de un motor turboreactor.....	349
Figura – Estructuras de un voladizo con los montantes de fijación del motor al ala.....	350
Figura – Tipos de mamparos cortafuegos.....	351
Figura – Cortafuegos de un motor turboreactor montado en el ala.....	351
Figura – Bancada de un motor turbohélice.....	352
Figura – Bancadas de un motor turboreactor.....	353
Figura – Montante delantero de un motor reactor montado en ala.....	354
Figura – Montante posterior en ala.....	355

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

- AIRBUS INDUSTRIES, Documentación para estudio de los modelos A-300, A-319, A-320, A-321, A-340, A-380
- ALLEN, JOHN E., *Aerodinámica*, Barcelona, 1969
- ANDERSON, JOHN D., *Introduction to Flight*, Boston: McGraw-Hill International, 2005
- ASCACIBAR, IÑAKI, *Descubrir las aeronaves*, Madrid: AENA, 2003
- ASHKOUTI, J.A., *Manual del mecánico de aviación*, Barcelona: Reverté, 1955
- AYMAT, JOSÉ MARÍA, *Navegación aérea*, Barcelona, etc.: Labor, 1951
- BAKER, ALAN A., *Composite materials for aircraft structures*, Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004
- BALCELLS SERRA, FERRAN, *Luces aeronáuticas de superficie para el rodaje*, Madrid: AENA, 2006
- BARRY, W.S., *The language of aviation*, Londres: Chatto & Windus, 1962
- BOEING, Documentación para estudio de los modelos B-727, B-737, B-747 Y B-757.
- BOMBARDIER CANADAIR, Documentación para estudio de de los modelos CRJ
- BRAMWELL, A.R.S., *Bramwell's helicopter dynamics*, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001
- BRUHN, E.F., *Analysis and design of flight vehicle structures*, Carmel: Jacobs, 1973
- CALVO, J.A., *Fundamentos de navegación aérea*, Madrid: Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid, 2001
- CASAMASSA, JACK V., *Jet Aircraft Power Systems*, New York: McGraw-Hill, 1965
- CUESTA ALVAREZ, MARTÍN, *Motores de reacción*, Madrid, 1976
- CUTLER, JOHN, *Understanding aircraft structures*, Malden, MA: Blackwell, 2005
- ENCICLOPEDIA BRITÁNICA, INC., *The new enciclopedia británica*, Chicago: 1986
- ESTEBAN OÑATE, ANTONIO, *Conocimientos del Avión*, Madrid, 1999
- FAA (Federal Aviation Administration), *Airframe and power plant mechanics*, Washington D.C., 1972
- FOKKER-VFW, Documentación para estudio de de los modelos F-27 y F-50

- GARRIGA Ed., Enciclopedia de aviación y astronáutica. *Barcelona, 1972*
- GNSS: navegación aérea por satélite: programa de divulgación aeronáutica PDA/1–2000, Madrid: Ministerio de Fomento, D.L. 2000
- GONZALES BERNALDO DE QUIROS, JULIO, *Radar y ayudas a la navegación aérea*, Madrid: Bellisco, 1999
- ISIDRO CARMONA, A., *Aerodinámica y actuaciones del Avión*, Madrid, 1980
- KENDAL, BRIAN, *Manual de aviónica*, Madrid, 1982
- LAN, CHUAN, *Airplane aerodynamics and performance*, Lawrence, Kansas: DAR corporation, 2003
- LANGTON, ROY, *Aircraft fuel systems Chichester*, United Kingdom: John Wiley & Sons, 2009
- MALLA, F de la, *Tecnología Aeronáutica*, Madrid, 1963
- MAPELLI, ENRIQUE, *Transportes Aéreos Especiales*, Madrid, 1982
- MATEO GARCIA, M. L., *Descubrir la navegación por satélite*, Madrid: AENA, 2004
- Mc DONELL DOUGLAS Corp., Documentación para estudio de los modelos DC–9, DC–10, MD–83, MD–87, MD–88
- MOIR, IAN, *Aircraft systems: mechanical, electrical, and avionics subsystems integration*, London and Bury St. Edmunds: Professional Engineering Publishing, cop. 2001
- NORRIS, GUY, *Airbus A380: superjumbo of the 21st century*, St. Paul, MN: Zenith Press, 2005
- NORTHOP AERONAUTICAL INSTITUTE, *Entretenimiento y Reparación de Aviones*, Barcelona, 1958
- PALLETT, E. *Automatic flight control*, Oxford: Blackwell Science, 1994
- RAYMNER, D. P., *Aircraft approach: a conceptual design*, Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2006
- ROSARIO SAAVEDRA, ALEJANDRO, *Sistemas de Aeronaves Reactores*, Madrid, 1983
- ROSKAM, J., *Airplane flight dynamics and automatic flight controls*, Lawrence, Kansas: DAR corporation, 2003
- ROSKAM, J., *Airplane flight dynamics and automatic flight controls*, Lawrence, Kansas: DAR corporation, 2003
- ROSKAM, J., *Airplane Design*, Lawrence, Kansas: DAR corporation, 2005

- SAEZ NIETO, F. J. *Descubrir la navegación aérea*, Madrid: AENA, 2003
- SAEZ NIETO, F.J., *La navegación aérea y el aeropuerto*, Madrid: Fundación AENA, 2002
- SHEVELL, RICHARD S., *Fundamentals of flight*, Upper Saddle River: Prentice Hall, 1989
- SUN, C. T., *Mechanics of aircraft structures*, New York: John Wiley & Sons, 2006
- TAYLOR, S.E.T., *Navegación aérea*, Madrid: Paraninfo, 1982
- TAYLOR, S.E.T., *Radio-ayudas para la navegación aérea*, Madrid: Paraninfo, 1982,
- TOOLEY, MICHAEL, *Aircraft communications and navigation systems: principles, operation and maintenance*, Oxford: Butterworth-Heinemann, cop. 2007
- VAN SICKLE, NEIL D., WELCH, JOHN F., *Aeronáutica Moderna*, Madrid, 1985



Nacido en el año 1945, llega a la aviación civil procedente del área de la industria civil y de la formación en escuelas militares y desarrolla toda su labor profesional dentro de la compañía IBERIA Líneas Aéreas de España. Además de su formación en campos como el Derecho laboral o los Recursos Humanos, supera ampliamente las 2.000 horas de formación específica en diferentes tipos de aviones.

Posee Licencia Europea y de la FAA (Federal Aviation Administration) americana. Ha realizado funciones de Técnico certificador en aviones Douglas, Boeing, Airbus y Fokker, en aeropuertos de Europa, Africa y America. Después de ejercer como Jefe de Mantenimiento en varios aeropuertos nacionales, pasando a ocupar la jefatura del área de Levante hasta el año 2007.

Ha pertenecido al cuadro de profesores del Centro de Instrucción de Mantenimiento de Iberia y desde 1998 colabora en la formación de los Técnicos de Mantenimiento de Aeronaves en el centro que la Generalitat Valenciana tiene en el Complejo Educativo de Chestre, impartiendo la asignatura de Sistemas de Aeronaves. Además ha impartido varias ponencias sobre el Mantenimiento Aeronáutico en la Universidad Politécnica de Valencia.

Dentro de la formación de un Técnico de Mantenimiento de Aeronaves es básico el conocimiento de los sistemas de las mismas. En esta obra se ha tratado de cubrir todas las necesidades de formación básica que tiene que conocer un futuro Técnico de Mantenimiento, tratados desde **tres puntos de vista** y con un objetivo común. **Primero**, que cumpla con lo especificado en la normativa vigente. **Segundo**, tratarlo desde un aspecto no excesivamente teórico. **Tercero**, tratarlo desde el punto de vista que me han proporcionado los largos años de experiencia a pie de avión en hangares y pistas en gran parte del mundo.

Todo esto con el objetivo de dotar al técnico de la herramientas intelectuales y prácticas necesarias para que puedan recibir los cursos de tipo de aeronave con un alto grado de aprovechamiento y además inculcar en el alumnado formas y costumbres para que, sabiendo lo que "no debe hacer", pueda ir efectuando trabajos que le ayudarán a sentirse útil mientras va adquiriendo la experiencia imprescindible que le permita llegar donde él mismo marque su objetivo.



La formación tiene una parte de convencimiento propio de que aprovechó lo enseñado en las aulas o en el trabajo, para eso están las autocomprobaciones y los exámenes. A estos siempre se enfrenta uno con cierto miedo, y en definitiva en muchos casos los resultados no están a la altura de los conocimientos. Espero que los diferentes volúmenes que componen esta obra, tanto los tomos sobre los sistemas como el de preguntas de autocomprobación, sirva para cubrir los conocimientos necesarios de los técnicos en formación y la curiosidad de cualquier persona a la que le guste el mundo de la aviación.

El Autor