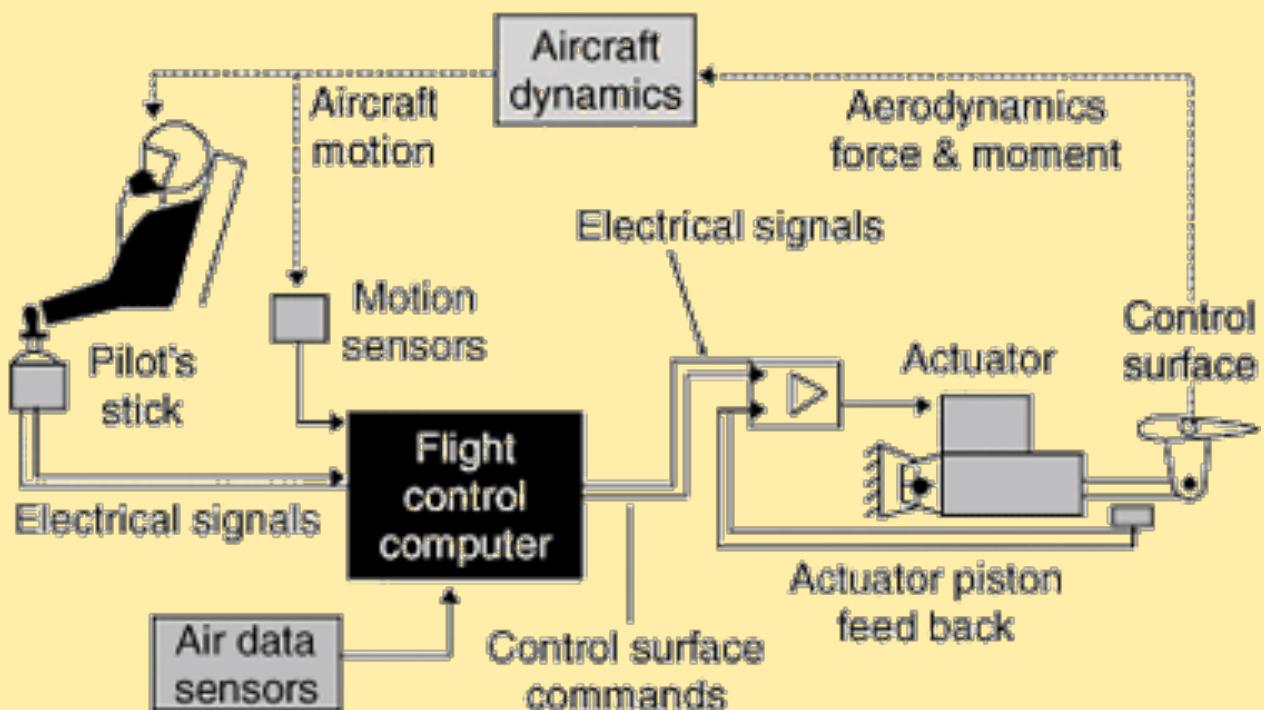


# SISTEMAS DE AERONAVES DE TURBINA



# Felipe Gato Gutierrez



# TOMO IV



## Editorial

# NoBooks

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

- 11.10 - SISTEMAS DE COMBUSTIBLE (ATA 28)
  - 11.11 - POTENCIA HIDRÁULICA (ATA 29)
  - 11.12 - PROTECCIÓN CONTRA HIELO Y LLUVIA (ATA 30)
  - 11.13 - TREN DE ATERRIZAJE (ATA 32)

# SISTEMAS DE AERONAVES DE TURBINA

## TOMO IV

Felipe Gato Gutiérrez

y

Ángel Mario Gato Gutiérrez

2016

Valencia

Sistemas de aeronaves de turbina

TOMO IV

© Felipe Gato Gutiérrez y Ángel Mario Gato Gutiérrez

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

ISBN: 978-84-15378-44-0 (Tomo IV)

e-book v.1.0

ISBN edición en papel: 978-84-15378-54-9 (Tomo IV)

Edita: NoBooks Editorial  
C/ 218 n.º 44-A-46182 La Cañada (Valencia)

[www.nobooksed.com](http://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

PRÓLOGO.....	1
11.10 – COMBUSTIBLE.....	3
11.10–0 – GENERALIDADES SOBRE EL SISTEMA Y LOS COMBUSTIBLES.....	5
PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES.....	7
TIPOS, ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS.....	9
LA CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA DE LOS COMBUSTIBLES.....	11
11.10–1 – DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	13
SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN POR GRAVEDAD.....	14
SISTEMAS DE COMBUSTIBLE DE ALIMENTACIÓN A PRESIÓN.....	15
MEDIOS DE CONTROL DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE.....	17
11.10–2 – DEPÓSITOS DE COMBUSTIBLE.....	19
DEPÓSITOS DESMONTABLES RÍGIDOS.....	19
DEPÓSITOS DE COMBUSTIBLE FLEXIBLES.....	19
DEPÓSITOS DE COMBUSTIBLE INTEGRALES.....	20
SELLADO DE LOS DEPÓSITOS.....	22
EQUILIBRADO DE PRESIONES EN LOS DEPÓSITOS.....	25
VENTILACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE COMBUSTIBLE.....	26
VÁLVULAS DE DRENAJE DE CONDUCTOS Y DE VENTILACIÓN EN SUBIDA.....	28
TUBOS DE VENTILACIÓN.....	30
SISTEMA DE BARRIDO CONTINUO.....	30
11.10–3 – SISTEMAS DE SUMINISTRO (ALIMENTACIÓN).....	34
TIPOS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE A LOS MOTORES.....	34
AVIONES CON MOTORES DE ÉMBOLO.....	35
AVIONES CON MOTORES A REACCIÓN.....	36
BOMBAS IMPULSORAS.....	37
ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE AL APU.....	41
VÁLVULA DE CORTE DE COMBUSTIBLE AL MOTOR.....	43
ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE AL MOTOR POR SUCCIÓN.....	44
FILTROS DE REJILLA.....	45
VÁLVULAS DE DESCARGA DE AIRE.....	46
11.10–4 – VACIADO, PURGA Y DRENAJE.....	47
VACIADO.....	47
PURGA Y DRENAJE.....	48
11.10–5 – ALIMENTACIÓN CRUZADA Y TRANSFERENCIA.....	51
ALIMENTACIÓN CRUZADA.....	51
TRANSFERENCIA ENTRE DEPÓSITOS.....	51
11.10–6 – REABASTECIMIENTO Y VACIADO RÁPIDO.....	53
REABASTECIMIENTO POR GRAVEDAD.....	54
REABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE POR PRESIÓN.....	55
ESTACIÓN DE CARGA.....	56
ADAPTADOR DE MANGUERA Y SU VÁLVULA DE CARGA.....	57
PANEL DE CONTROL DE VÁLVULAS Y DE SELECCIÓN DE CARGA.....	59

VÁLVULAS DE CORTE DE COMBUSTIBLE AL DEPÓSITO.....	60
COMPUTADORES DE CONTROL.....	62
CORTE VOLUMÉTRICO.....	62
OPERACIÓN DE CARGA.....	63
VACIADO RÁPIDO DEL COMBUSTIBLE.....	64
11.10-7 – EQUILIBRIO LONGITUDINAL DE LA AERONAVE MEDIANTE TRANSVASE DE COMBUSTIBLE.....	66
FUNCIONAMIENTO DE LA OPERACIÓN.....	66
11.10-8 – DRENAJE DE LA ENVUELTA.....	68
PROCEDIMIENTO DE CONTROL.....	68
11.10-9 – SISTEMA DE INDICACIÓN.....	70
INDICACIÓN DE CANTIDAD.....	70
INDICACIÓN DE BAJA PRESIÓN DE COMBUSTIBLE.....	78
INDICACIÓN DE TEMPERATURA DEL COMBUSTIBLE.....	79
SOBRANTE DE LA RECIRCULACIÓN DE LA IDG.....	79
11.10-10 – PRÁCTICAS DE MANTENIMIENTO.....	81
11.11 – POTENCIA HIDRÁULICA.....	83
11.11-0 – GENERALIDADES.....	85
HIDROSTÁTICA, HIDRODINÁMICA E HIDROMECÁNICA.....	86
LA PRESIÓN Y SUS DEFINICIONES.....	86
UNIDADES DE MEDIDA.....	87
TRANSMISIÓN DE LA PRESIÓN HIDRÁULICA.....	88
SISTEMAS HIDRÁULICOS ABIERTOS Y CERRADOS.....	89
SISTEMAS HIDRÁULICOS DE CONTROL MANUAL Y AUTOMÁTICO.....	91
COMPOSICIÓN DE UN SISTEMA HIDRÁULICO.....	91
11.11-1 – DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	93
SÍMBOLOS DE UTILIZACIÓN GENERAL.....	94
11.11-2 – FLUIDOS HIDRÁULICOS.....	98
LA VISCOSIDAD.....	98
PUNTO DE INFLAMACIÓN Y ENCENDIDO.....	99
ESTABILIDAD QUÍMICA.....	99
PRECAUCIONES EN LA OPERACIÓN CON LOS LÍQUIDOS HIDRÁULICOS.....	100
11.11-3 – GRUPO DE ALMACENAJE DE FLUIDOS.....	101
DEPÓSITOS.....	101
SISTEMAS DE RECARGA DE FLUIDOS.....	104
SISTEMAS DE PRESURIZACIÓN DEL DEPÓSITO.....	106
ACUMULADORES DE PRESIÓN.....	107
ACUMULADORES DE DIAFRAGMA.....	108
ACUMULADOR DE BOLSA.....	109
ACUMULADOR CILÍNDRICO.....	109
INSTALACIÓN Y DESMONTAJE DE LOS ACUMULADORES.....	110
REVISIÓN Y ENTRETENIMIENTO.....	111
VÁLVULAS AISLADORAS (CORTAFUEGOS).....	112
11.11-4 – GENERACIÓN DE LA PRESIÓN.....	114

BOMBAS DE ENGRANAJES.....	114
BOMBA DE TIPO ROTOR.....	115
BOMBA DE TIPO DE PALETAS.....	116
BOMBAS DEL TIPO DE ÉMBOLO.....	116
BOMBAS PRINCIPALES.....	119
CONDICIÓN DE BAJA PRESIÓN.....	120
CONDICIÓN DE ALTA PRESIÓN.....	121
CONDICIÓN DE CORTE DE PRESIÓN.....	122
BOMBAS AUXILIARES.....	123
BOMBAS DE ACCIONAMIENTO MANUAL.....	124
GENERACIÓN DE PRESIÓN DE EMERGENCIA.....	124
CONJUNTOS SOPORTE DE LA RAT.....	125
ACTUADOR DE LA RAT.....	126
LÓGICAS DE EXTENSIÓN/RETRACCIÓN.....	127
BOMBAS DE TRANSFERENCIA.....	127
COLECTORES DE PRESIÓN.....	129
 11.11-5 – GRUPO DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRESIÓN.....	132
CIRCUITOS DE PRESIÓN.....	132
CIRCUITOS DE RETORNO.....	132
VÁLVULAS DE PRIORIDAD.....	134
VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN.....	135
VÁLVULAS SELECTORAS Y DE CORTE.....	136
VÁLVULAS UNIDIRECCIONALES.....	137
VÁLVULAS DE LANZADERA.....	137
VÁLVULAS DE DERIVACIÓN.....	138
VÁLVULAS DE REGULACIÓN Y CONTROL VARIAS.....	139
FILTROS DE PRESIÓN DE LÁMINAS.....	140
FILTROS DE PRESIÓN MICRÓNICOS.....	141
FILTROS DE RETORNO.....	143
ENFRIADORES DEL FLUIDO HIDRÁULICO.....	144
 11.11-6 – GRUPO DE INDICACIÓN.....	146
INDICACIÓN DE CANTIDAD DE FLUIDO.....	146
INDICACIÓN DE PRESIÓN.....	148
INDICACIÓN DE ALTA TEMPERATURA.....	149
INDICACIÓN DE BAJA PRESIÓN.....	151
INDICACIÓN DE PRESIÓN DEL DEPÓSITO.....	152
INDICACIONES DE HIDRÁULICO EN EL SISTEMA ECAM.....	152
 11.11-7 – INTERCONEXIÓN CON OTROS SISTEMAS.....	155
 11.12 – PROTECCIÓN CONTRA HIELO Y LLUVIA.....	157
11.12-0 – GENERALIDADES.....	159
11.12-1 – FORMACIÓN DE HIELO, CLASIFICACIÓN, REGÍMENES DE ENGELAMIENTO Y DETECCIÓN.....	161
FORMACIÓN DEL HIELO.....	161
CLASIFICACIÓN DEL HIELO.....	161
REGÍMENES DE ENGELAMIENTO.....	162
DETECCIÓN DEL HIELO.....	163

SISTEMAS ANTIHIELO.....	164
11.12-2 – SISTEMAS ANTIHIELO TÉRMICO DE AIRE CALIENTE.....	165
CONTROL DE LA PRESIÓN.....	166
CONTROL DE LA TEMPERATURA.....	170
DISTRIBUCIÓN Y CONTROL DEL FLUJO.....	171
SISTEMA DE INDICACIÓN.....	174
ANTIHIELO NEUMÁTICO PARA LOS CRISTALES DE LA CABINA.....	176
11.12-3 – SISTEMAS ANTIHIELO TÉRMICO ELÉCTRICO.....	177
ANTIHIELO EN LOS SENSORES DE DATOS DE AIRE.....	177
ANTIHIELO EN LAS VENTANILLAS DE LA CABINA DE MANDOS.....	181
ANTIHIELO EN LAS ESTACIONES DE SERVICIO DE AGUA Y RESIDUOS .....	183
CALENTADORES EN LÍNEA PARA TUBOS DE AGUA.....	183
CALENTADORES INTEGRALES.....	184
CALENTADORES DE MANTAS ELÉCTRICAS (TIPO RIBBON).....	185
11.12-4 – SISTEMAS DE DESHIELO.....	186
DESHIELO POR ZAPATAS NEUMÁTICAS.....	186
REGULACIÓN DE LA PRESIÓN.....	187
REGULADOR DE TIEMPO.....	187
DISTRIBUCIÓN DEL AIRE.....	188
FORMAS DE FUNCIONAMIENTO.....	189
SISTEMAS DE DESHIELO POR IMPULSOS.....	190
DESHIELO DE LA AERONAVE EN TIERRA.....	190
MÉTODOS DE APLICACIÓN.....	191
LA ELIMINACIÓN DEL HIELO VÍTREO EN TIERRA.....	192
TIPOS DE LÍQUIDOS PARA DESHIELO O ANTIHIELO.....	192
EFECTOS AERODINÁMICOS DE LOS FLUIDOS DE DESHIELO/ANTIHIELO.....	194
11.12-5 – PROTECCIÓN CONTRA LA LLUVIA.....	195
SISTEMAS DE LIMPIAPARABRISAS.....	195
REPELENTES DE LLUVIA.....	197
UTILIZACIÓN DE CRISTALES HIDRÓFOBOS.....	198
11.13 – TREN DE ATERRIZAJE.....	199
11.13-0 – GENERALIDADES.....	201
REQUISITOS Y NORMAS PARA EL TREN DE ATERRIZAJE.....	209
EL TREN DE ATERRIZAJE EN AERONAVES LIGERAS.....	210
11.13-1 – CONSTRUCCIÓN Y AMORTIGUACIÓN.....	212
ESTRUCTURA Y ANCLAJE AL AVIÓN.....	212
AMORTIGUADORES.....	214
AMORTIGUADORES OLEONEUMÁTICOS.....	216
TIRANTES DE FIJACIÓN.....	220
ARTICULACIONES DE TORSIÓN.....	222
DEFLECTOR DE AGUA.....	223
11.13-2 – EXTENSIÓN Y RETRACCIÓN.....	225
INTRODUCCIÓN.....	225
CONTROL DE LA OPERACIÓN ELÉCTRICO O ELECTRÓNICO.....	225

CONTROL DE LA OPERACIÓN MECÁNICO ACCIONAMIENTO	
HIDRÁULICO.....	228
AISLAMIENTO HIDRÁULICO DEL TREN DE ATERRIZAJE.....	230
UNIDADES DE CONTROL.....	231
UNIDADES DE ACTUACIÓN.....	234
VÁLVULAS DE CONTROL.....	235
CILINDROS ACTUADORES DE TREN.....	237
CILINDROS ACTUADORES DE COMPUERTAS Y DE BLOCAJE.....	238
UNIDADES DE BLOCAJE MECÁNICAS.....	239
EXTENSIÓN DEL TREN EN EMERGENCIA.....	241
SISTEMA DE OPERACIÓN MECÁNICA.....	242
SISTEMA DE OPERACIÓN ELECTROMECÁNICO.....	243
SISTEMA DE OPERACIÓN HIDRÁULICO-MECÁNICO.....	245
COMPUERTAS DEL TREN DE ATERRIZAJE.....	246
ESTRUCTURA Y FIJACIÓN DE LAS COMPUERTAS FIJAS.....	246
ESTRUCTURA Y FIJACIÓN DE LAS COMPUERTAS MÓVILES.....	248
BLOCAJE DE LAS COMPUERTAS.....	251
APERTURA DE COMPUERTAS EN TIERRA PARA MANTENIMIENTO....	252
AJUSTES MECÁNICOS DE LOS ELEMENTOS MÓVILES.....	254
AJUSTES MECÁNICOS DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL.....	255
AJUSTES MECÁNICOS DE LOS ELEMENTOS ACTUADORES.....	256
11.13-3 – INDICACIONES Y AVISOS.....	258
INDICACIÓN DE POSICIÓN.....	259
AVISOS Y MENSAJES DE FALLO.....	264
INTERCONEXIÓN CON OTROS SISTEMAS.....	267
11.13-4 – RUEDAS, FRENOS, ANTIDESLIZAMIENTO Y FRENADO AUTOMÁTICO	
INTRODUCCIÓN.....	269
LLANTAS.....	269
SISTEMA DE FRENOS.....	271
FRENOS DE TAMBOR.....	273
FRENOS DE DISCO.....	274
SISTEMAS HIDRÁULICOS DE FRENOS.....	276
ACUMULADORES DE FRENOS.....	278
VÁLVULA DE CONTROL DE FRENOS.....	279
LIMITADORES DE FLUJO.....	279
SISTEMAS HIDRÁULICOS DE FRENOS DE CONTROL ELECTRÓNICO.	281
UNIDAD ELECTRÓNICA DE CONTROL DE FRENOS (BSCU).....	282
FRENOS ALTERNATIVOS.....	283
FRENOS DE EMERGENCIA.....	285
FRENOS DE APARCAMIENTO.....	286
SISTEMAS DE ANTIDESLIZAMIENTO.....	287
ELECTROVÁLVULAS DE FRENO.....	288
TRANSDUCTORES DE VELOCIDAD DE RUEDA.....	290
SISTEMA DE FRENADO AUTOMÁTICO.....	291
INDICACIONES Y AVISOS DEL SISTEMA DE FRENOS.....	292
11.13-5 – NEUMÁTICOS.....	298
INTRODUCCIÓN.....	298

ALMACENAJE Y CUIDADOS BÁSICOS.....	301
RECAUCHUTADO.....	302
11.13-6 – DIRECCIÓN DE RUEDAS (CONDUCCIÓN DEL AVIÓN EN TIERRA)....	303
SISTEMAS DE CONTROL MECÁNICO Y ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO .....	303
SISTEMAS DE CONTROL ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO Y ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO.....	306
11.13-7 – CONTROL TIERRA–VUELO.....	309
11.13-8 – PATÍN DE COLA.....	312
ÍNDICE DE FIGURAS.....	315
BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA.....	325

# PRÓLOGO

Esta obra es fruto de la experimentada vida profesional de Felipe Gato. Más de cuarenta años dedicado a la mecánica de aeronaves le han permitido atesorar un amplio conocimiento del tema. Experiencia que se refleja en los diversos libros que ha escrito sobre el mantenimiento de aviones comerciales.

Titulado como Técnico de Mantenimiento de Aviones, ha sido durante quince años responsable de mantenimiento del Área de Levante de Iberia. Además ha trabajado en otros centros que la compañía tiene en países europeos y americanos.

Su dilatada carrera profesional se ha complementado con el ejercicio docente, siendo profesor del Centro de Instrucción del Mantenimiento de la compañía IBERIA y del módulo de “Sistemas de la Aeronave” en el IES n.º 2 del Complejo Educativo de Cheste.

Este libro presenta la parte tercera de las cinco de que consta el actual plan de estudios de la asignatura “Sistemas de Aeronaves de Turbina” del Ciclo Formativo de GS Mantenimiento Aeromecánico, cumpliendo tanto con las directrices emanadas por la Conselleria de Educación de la Generalitat Valenciana como con las emitidas por la Unión Europea en el DOUE del 28.11.2003 y los reglamentos de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) del Ministerio de Fomento español. Consta de los siguientes sistemas: de Combustible; de potencia Hidráulica; de protección contra el Hielo y la Lluvia y de Tren de Aterrizaje.

Destaca por la utilización de un vocabulario preciso y por la abundancia de gráficos que lo convierten en un manual de fácil comprensión. Facilita al alumno el éxito en su proceso de aprendizaje, integrando cognitiva y proceduralmente los conceptos y habilidades básicas propias de la materia que desarrolla.

Es para mí un orgullo presentar este libro del profesor Gato en el que se aúnan conocimiento y capacidad didáctica. Estamos seguros de que su llegada a las aulas ayudará a las nuevas generaciones de alumnos en su inserción laboral.

Valencia, marzo 2009

Rafael González Prieto.

Inspector de Educación, Doctor en Geografía e Historia por la Universidad de Valencia



## **11.10 – COMBUSTIBLE**

11.10-00 – GENERALIDADES SOBRE EL SISTEMA Y LOS COMBUSTIBLES.....	5
11.10-01 – DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	13
11.10-02 – DEPÓSITOS DE COMBUSTIBLE.....	19
11.10-03 – SISTEMAS DE SUMINISTRO (ALIMENTACIÓN).....	34
11.10-04 – VACIADO, PURGA Y DRENAJE.....	47
11.10-05 – ALIMENTACIÓN CRUZADA Y TRANSFERENCIA.....	51
11.10-06 – REABASTECIMIENTO Y VACIADO RÁPIDO.....	53
11.10-07 – EQUILIBRIO LONGITUDINAL DE LA AERONAVE MEDIANTE TRANSVASE DE COMBUSTIBLE.....	66
11.10-08 – DRENAJE DE LA ENVUELTA.....	68
11.10-09 – SISTEMA DE INDICACIÓN.....	70
11.10-10 – PRÁCTICAS DE MANTENIMIENTO.....	81



## 11.10-00 – GENERALIDADES SOBRE EL SISTEMA Y LOS COMBUSTIBLES

Si bien todos los sistemas del avión son importantes para su buen funcionamiento como aeronave en su conjunto, el sistema de combustible se puede catalogar, aparte de importante, como básico, ya que es el sistema encargado de almacenar y entregar el combustible a los motores, así que se le puede definir como el conjunto de elementos, instalaciones, mecanismos e indicadores con que se dota al avión para almacenar la energía en forma de combustible líquido, y suministrarlo al motor, a la presión, cantidad y tiempo a los que está diseñado y programado.

Al ser catalogado, generalmente, aparecerá en el sistema ATA (*Air Transport Association*) con el número 28 y en la catalogación Europea de la EASA (*European Aviation Safety Agency*) se le ha asignado el Módulo 11 Submódulo 10.

En cuanto al combustible que se utilice, se habrá de estar al corriente de las recomendaciones del constructor en los correspondientes manuales, pero a modo de generalidades diremos que para los motores de pistón los combustibles serán gasolinas de alto octanaje, y para los motores de reacción se utilizaran los kerosenos, si bien la mayoría de los aviones con motor de pistón utilizan un octanaje, entre 115/145; en cuanto a los motores a reacción generalmente utilizan el keroseno denominado JP1 o equivalente, quedando los demás tipos de keroseno para aviones militares o de algún uso específico.

Al hablar del combustible es conveniente hacer, a modo de recuerdo, alguna referencia a su densidad, como en cualquier líquido la temperatura afecta a su densidad, y a mayor temperatura el combustible será menos denso, por esta razón puede suceder que con temperaturas muy bajas, por ejemplo en invierno en zonas muy frías, se pueda dar el caso de que con los depósitos llenos haya a bordo más cantidad de kilos que lo especificado en los manuales, porque para los querosenos tipo JP1 o similares, se toma como base la temperatura y densidad estándar (normalmente 6,7 libras por galón US).

Sin embargo y desde el punto de vista operativo, cuando se despacha un avión, hay que tener muy en cuenta el peso del combustible al confeccionar la hoja de carga y centrado, para saber en qué punto se encuentra el centro de gravedad del avión para ese vuelo, a fin de que el piloto disponga los mandos de vuelo en la posición que corresponda para el despegue.

La cantidad de combustible que se carga en un avión puede afectar al peso que se desee transportar, ya sean personas o carga, ya que no se pueden sobrepasar los pesos máximos indicados por el fabricante tanto para el despegue como para el aterrizaje; debiendo distinguir entre los pesos máximos estructurales o los pesos máximos definidos por las condiciones ambientales y físicas.

Los estructurales, conocidos como MTOW (*Maximum Take-Off Weight*) o el MLW (*Maximum Landing Weight*), son aquellos establecidos por la propia estructura del avión, que podríamos definir como los máximos absolutos, en tanto que los máximos ambientales, inferiores o iguales a los absolutos, pueden quedar definidos por las condiciones ambientales (temperatura, altitud de presión, etc.) o físicas del aeropuerto (longitud de pista, obstáculos en las proximidades de la senda de despegue o aterrizaje, etc.).

Otro punto muy importante a considerar será la forma en que debe realizarse la carga del combustible, ya que el combustible es básico para el centrado del avión. No puede cargarse todo el combustible en el depósito de un ala, dejando vacío el del ala opuesta. Esto produciría un desequilibrio notable, pudiendo hacerse el vuelo incluso peligroso. En los manuales de cada avión

se define el máximo desequilibrio permitido entre los depósitos de las alas; a modo de referencia, para el avión MD87 el máximo desequilibrio permitido será de 1.500 libras entre las alas.

Si por alguna razón en vuelo se produjese un desequilibrio entre las alas, se deberán alimentar los motores desde el depósito que contiene mayor cantidad de combustible, a través del subsistema de alimentación cruzada, para así restablecer el equilibrio de la aeronave.

También es necesario tener en cuenta que durante el vuelo se consume gran cantidad de combustible, lo que puede originar desplazamientos muy grandes del centro de gravedad. En algunos aviones como el Concorde o los Airbus A-340 y A-380 existe la posibilidad de desplazar combustible desde unos depósitos a otros, de modo que el avión quede siempre equilibrado en vuelo.

Finalmente analizaremos someramente como incide el combustible en la resistencia estructural del avión en vuelo; si el avión se viera sometido a una ráfaga de aire descendente, las alas tenderían a doblarse hacia arriba, originando en la zona del encastre con el fuselaje, tensiones estructurales que podrían, en situaciones extremas, llegar a producir su desprendimiento.



Figura – Puntos de tensión del encastre.

La ubicación del combustible en las aeronaves puede ser en las alas, en el fuselaje y en el empenaje de cola, pero casi siempre en las alas, el peso del combustible que se lleva en éstas tiene un efecto compensador de las tensiones en el encastre rebajando en gran medida su valor, ya que el mismo peso del combustible tratará de impedir el movimiento de flexión del ala como se puede observar en la figura siguiente.



Figura – Efecto del peso del combustible.

La importancia de este combustible como elemento compensador estructural es tan grande que uno de los datos básicos a la hora de preparar un avión para el vuelo es el peso máximo con combustible cero MZFW (*Maximum Zero Fuel Weight*), que es el peso máximo que puede tener un avión sin incluir el combustible cargado en las alas, por lo tanto todo el exceso de peso del avión sobre el MZFW hasta el límite del MTOW (*Maximum Take Off Weight*), o sea, el peso máximo al despegue, debe ser el peso del combustible cargado en las alas.

Este combustible deberá ser cargado siempre en los depósitos de las alas, y al planificar el consumo para el vuelo se realizará de tal manera que el combustible de compensación sea el último en consumirse.

## PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES

Si bien el combustible no es un elemento que forma parte del conjunto de mecanismos y elementos que forma el sistema, sí que es parte fundamental del mismo, por lo que es oportuno en este punto el hacer unas consideraciones sobre él, de forma que se pueda tener una visión global sobre el elemento con que trabaja el sistema, por lo tanto, aunque someramente, se efectuarán unos comentarios sobre:

- Propiedades de los combustibles
- Tipos y especificaciones
- Contaminación biológica

En el apartado de las propiedades, se debe distinguir un poco entre gasolinas y kerosenos, que si bien en cuanto a propiedades físicas pueden ser las mismas, nunca tendrán la misma escala de valores ni afectarán al funcionamiento de la misma forma. Para las gasolinas, las características principales que deberán tener dependerán esencialmente de la clase y estructura molecular de los hidrocarburos que contiene, y del método de obtención.

En líneas generales las gasolinas deben tener una serie de cualidades en orden al buen rendimiento del motor y su conservación. A continuación se detallan los principales cualidades.

**Volatilidad:** Para que una gasolina pueda arder dentro del cilindro es condición principal que pueda ser vaporizada, por ello las gasolinas deben contener hidrocarburos ligeros en cantidad suficiente para que su vaporización permita el arranque del motor en frío.

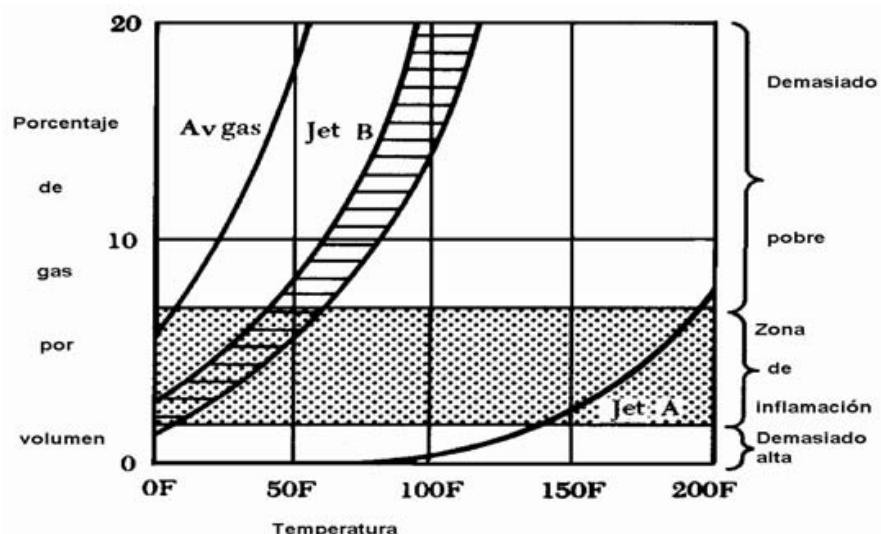


Figura – Diagrama de vaporización de combustibles.

También hay que tener en cuenta que una elevada proporción de hidrocarburos ligeros tiene una alta presión de vapor y por lo tanto puede evaporarse antes de llegar a la cámara de combustión obturando los conductos de admisión, esto, junto con otros muchos inconvenientes, nos viene a poner de manifiesto lo importante que es el respeto a las especificaciones dadas por los fabricantes.

**Corrosión:** Otra de las cualidades importantes que deben cumplir es que no posean productos corrosivos, o que puedan dar lugar a que se formen otros que puedan serlo. Para corregir esto actualmente se emplean aditivos que, o evitan, o retardan mucho este fenómeno.

**Poder antidetonante:** Una de las muy importantes cualidades que debe tener una gasolina es el poder antidetonante adecuado a la relación de presión del motor, para que la combustión en el cilindro sea suave y sin violencia, de forma que a partir de la chispa de la bujía se queme toda la mezcla. Inicialmente, se denomina índice o número de octano al poder antidetonante de las gasolinas, designación que expresa esto de forma limitada, puesto que su valor máximo es 100, y existen gasolinas con poder antidetonante más elevado.

En general, las gasolinas para aviación deben tener un poder antidetonante con un índice superior a 100; para conseguir gasolinas de elevado poder antidetonante, no son suficientes los procesos de elaboración o de transformación de su estructura molecular, sino que hay que recurrir a los aditivos, de compuestos solubles de variada composición; de entre estos aditivos los de uso más generalizado son los derivados del plomo, el tetraetilo o el tetrametilo de plomo, pero no sobrepasando ciertos límites para que no se dé lugar a la formación de residuos sólidos en el interior de los cilindros.

De todas formas la consecuencia de que la gasolina no sea del adecuado poder antidetonante se manifestará rápidamente en un sobrecalentamiento del motor, y en un descenso del rendimiento.

**Agua:** Tampoco debe contener agua, porque, aparte de las perturbaciones que ésta origina al funcionamiento del motor, favorece la formación de productos corrosivos, y fundamentalmente la formación de hielo en los depósitos, especialmente cuando se efectúan vuelos a grandes alturas y de larga duración con bajas temperaturas exteriores al avión. Para eliminar el agua formada, es necesario efectuar un purgado de los depósitos por medio de unas válvulas al uso instaladas en la parte inferior de los depósitos.

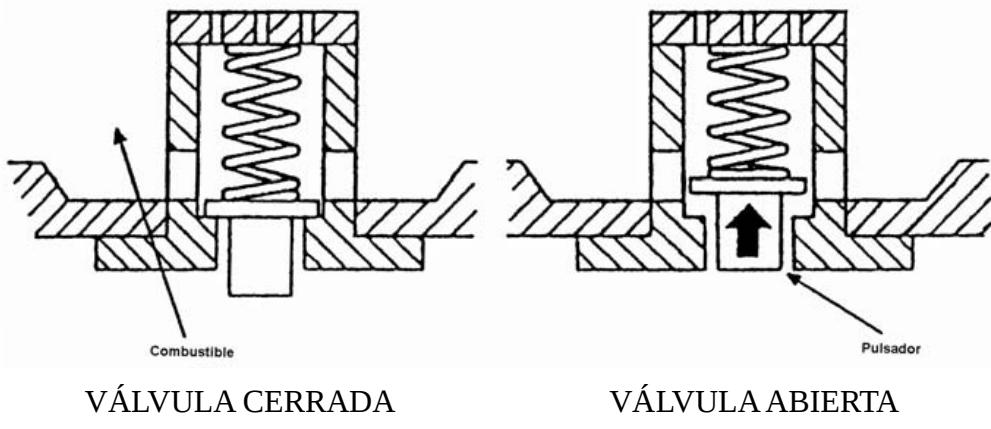


Figura – Válvulas de drenaje de depósito.

Las propiedades que deberán reunir los kerosenos son casi las mismas que para las gasolinas aunque en valores diferentes, ya que los motores de turbina de gas son de combustión constante.

Propiedades como la ausencia de agua son las mismas para todos, otras como el contenido de azufre para los kerosenos es indeseable porque entre otros problemas genera un ataque a los materiales del subsistema de almacenamiento y distribución, así como restos de la combustión que atacan a los materiales expuestos a la corriente de gases de escape.

La **estabilidad térmica** es otra propiedad a tener en cuenta, porque la resistencia de un combustible a la descomposición a altas temperaturas impide las concentraciones de materia orgánica en los componentes del sistema (tuberías, válvulas, controladores de gasto, etc.).

Esta propiedad adquiere gran importancia en este tipo de motores donde cada día más se utiliza el combustible como elemento de refrigeración, de lubricación y hasta de potencia hidráulica para el funcionamiento de varios elementos de motor.

Otras de las propiedades importantes son también el poder calorífico, los puntos de congelación, de inflamación o de cristalización, así como toda la gama de propiedades de la combustión tendentes a la limitación de la temperatura de los metales de las turbinas, de las cámaras de combustión y de la formación de carbonilla y humos en las zonas de contacto con los gases de escape.

## **TIPOS, ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS**

Aunque la tendencia de los tipos y especificaciones de los combustibles es que sean todos lo más unificados posible, hay como puede verse en la tabla siguiente varios tipos que pueden corresponder a varias refinerías o países.

Generalmente, para los aviones de lo que llamamos aviación privada y civil, equipados con motores de turbina de gas, el tipo de keroseno que consumen es en todos los países el denominado JP1 o equivalente.

Para las aviaciones militares normalmente se utilizan los mismos, aunque con unas especificaciones equivalentes y que generalmente solo variarán en algún aditivo.

Los aviones militares de funciones muy específicas pueden tener combustibles exclusivos; pero no son objeto de estudio en este libro.

OTAN Código	ASTM (American Society for Testing Materials)		USA (United States of America) Military Specification		UK (United Kingdom) Ministry of Defense		ESPAÑA	
	Denominación	Especificación	Denominación	Especificación	Denominación	Especificación	Denominación	Especificación (1) Civil (2) Militar
F-18	100 LL	D-910	100 LL	MIL-G-5572	100 LL AVGAS	DERD 2475	AVGAS 100 LL 0 GASOLINA 100 LL	(1) ASTM D910 (2) INTA 151117
	JET A-1	D-1655			AVTUR	DEF STAN 91-91/2 (DERD 2494)	JET A-1	(1) DEF STAN 91-91/2 (DERD 2494) (2) INTA 151317
F-44			JP-5	MIL-T-5624	AVCAT	DERD 2452	JP-5	INTA 151315
F-34			JP-8	MIL-T-83133		DERD 2453	JP-8	INTA 151316

Figura – Correspondencia entre denominaciones de uso de los principales países.

En cuanto a las características, como puede verse en la tabla de la página siguiente, son de gran variedad y vendrán bien reflejadas en los Manuales de Operaciones y Control de Calidad de Aviación (MOCCA) que editan y mantienen los departamentos gubernamentales de aviación de cada país, y en los de las refinerías y compañías de distribución, que son junto con los propietarios,

operadores y personal de mantenimiento los que están encargados de cumplir tanto las especificaciones como las normas de uso y manejo de los combustibles.

**CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LOS CARBURANTES Y COMBUSTIBLES DE AVIACION**

Características	Ensayo	Norma	ASTM	JET A-1				JP-8				JP-5			
				AVGAS 100LL		DEF STAN 91-91/2		INTA 151316 E		INTA 151315F					
				ASTM D-910	(DERD 2494)	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Composición	Acidez total (mgKOH/g)	D3242				0,015 mg/g	150452			0,015 mg/g		0,015 mg/g			
	Aromáticos o	D1319				22% vol.	150427 B			25,0% vol.		25,0% vol.			
	Arom. e informe de cont. en H	D1319	D3343			25% vol.									
		D3701													
	Olefinas	D1319					150427 B			5,0% vol.		5,0% vol.			
	Azufre total	D1286	D2622	0,05%		0,30%	150436 B	150621A		0,30%		0,4% masa			
	Azufre mercaptano o	D3227				0,003%	150445 C			0,002%		0,002% masa			
	Doctor Test	(IP30)				Negat.	150443 B			Negat.		Negat.			
Volatilidad	Destilación	D66					150227 E								
	Evaporación al 10%				75° C										
	Evaporación al 40%				75° C										
	Evaporación al 50%				105° C										
	Evaporación al 80%				135° C										
	Suma 10% + 50%														
	Punto inicial					Informe				Informe		Informe			
	10% recuperado						205° C			205° C		205° C			
	50% recuperado					Informe			Informe		Informe				
	90% recuperado					Informe			Informe		Informe				
	Punto final				170° C		300° C			300° C		300° C			
	Recuperado				17% vol.										
	Residuo				1,5% vol.		1,5% vol.			1,5% vol.		1,5% vol.			
	Pérdida				1,5% vol.		1,5% vol.			1,5% vol.		1,5% vol.			
	Punto inflamación	(IP 170)			98° C		150234 C	150232 B	98° C		98° C				
							150233 C	150217 B							
	Densidad a 15° C	D1298	D4052		775 kg/m <sup>3</sup>	840 kg/m <sup>3</sup>	150213 A		775 kg/m <sup>3</sup>	840 kg/m <sup>3</sup>	788 kg/m <sup>3</sup>	845 kg/m <sup>3</sup>			
	Presión vapor Reid	D323	D2551	38,0 kPa	49,0 kPa										
Fluidos	Punto cristalización	D2386		-56° C		-47° C	150264 A		-47° C		-46° C				
	Viscosidad (-20° C)	D445				8 mm <sup>2</sup> /s (cSt)	150216 B		8 mm <sup>2</sup> /s (cSt)		8,5 mm <sup>2</sup> /s				
Combustión	Punto de humo o	D1322			25 mm		150814 B		25 mm		19 mm				
	Punto de humo y	D1322			19 mm				19 mm						
	neftalénicos	D1840				3,0% vol.	150555			3,0% vol.					
	Calor combustión neto	D3338	43,5 MJ/kg		42,8 MJ/kg		150229 C	150152	42,8 MJ/kg		42,8 MJ/kg				
	Hidrógeno						150566	150274	13,4% masa		13,4% masa				
	Pbomo isopropilo	D2599	D3341		0,66 gPb/l										
	Resistencia detonación														
	Mezcla pobre	D2700			100,0										
	Mezcla rica	D909			130,0										
Corrosión	Corrosión cobre	D130		No.1		No.1	150442 C			1b		1b			
	Corrosión plata	(IP227)				No.2									
Estabilidad	Estabilidad térmica	D3241					150623 A								
	Cadie presión final					25 mmHg				25 mmHg		25 mmHg			
	Aspecto "Tuberoso"					<3 (1)				<3 (1)		<3 (1)			
	Estabilidad oxidación (5 h)														
	Gomas potenciales	D873			6 mg/100 ml										
	Precipitado visible Pb	D873			3 mg/100 ml										
Contaminantes	Gomas actuales	D381				7 mg/100 ml	150435 C		7 mg/100 ml		7 mg/100 ml				
	Materias extrañas						150624 A		1,0 mg/l		1,0 mg/l				
Características de separación de agua	Índice separación agua (WSIM) (2)	D3948					150257 B	150625							
de agua	Tolerancia agua	D1094					150247 E								
	Variación volumen				±2 ml										
	Aspecto interfa						1b			1b		1b			
Otras características	Tiempo filtración						150624 A			15 min.		15 min.			
	Inhibidor antihielo						150567	150498 B	0,10%	0,15%	0,15%	0,20%			
	Conductividad eléctrica	D2624	(3)	50 pS/m	450 pS/m	150299 B	150 pS/m	600 pS/m							
	Aspecto	Visual			(4)					(4)		(4)			
	Color	D2392		Azul			150211 A								
	Color Saybolt														
	Contenido de colorante				2,7 mg/l										
	Contenido en antioxidantes				12 mg/l										
	Combustibles tratados con H.					17 mg/l	24 mg/l		17,2 mg/l	24 mg/l	17,2 mg/l	24 mg/l			
	Combustibles no tratados con H.					24 mg/l									
	Peróxidos						150428 A					8,0 mg/kg			
	Índice cetano calculado						150154								

(1) Los depósitos no presentarán irrisaciones ni color gris o azul.

(2) Índice de separación de agua - WSIM- (ASTM D 3948).

a) El índice de separación de agua en el JET A-1 debe ser:

- Mínimo 65 para combustibles sin el aditivo antiespuma.

- Mínimo 70 para combustibles con el aditivo antiespuma.

Nota: El punto en el que se obligatorio cumplir los límites establecidos para el índice de separación de agua es en la producción del combustible. El incumplimiento de esta característica, aguas abajo de la cadena de distribución, no debe ser por el solo, causa para dejar el producto fuera de servicio.

b) El índice de separación de agua en el JP-8 debe ser:

- Mínimo 85 para combustibles con todos los aditivos excepto el aditivo antiespuma y el inhibidor de corrosión.

- Mínimo 70 para combustibles con todos los aditivos excepto el aditivo antiespuma.

c) El índice de separación de agua en el JP-5 debe ser:

- Mínimo 90 para combustibles que contenga solo el aditivo antiespuma y el desactivador de metales.

- Mínimo 65 para combustibles que contenga todos los aditivos excepto el inhibidor de corrosión.

- Mínimo 80 para combustibles que contenga todos los aditivos excepto el inhibidor antihielo.

- Mínimo 70 para combustibles con todos los aditivos.

(3) Cuando se especifique aditivo antiespuma la conductividad estará comprendida entre 50-450 pS/m.

El suministrador indicará la cantidad de aditivo añadido.

(4) El producto acabado estará exento a simple vista de sedimento, agua no disuelta y materias en suspensión.

Sera claro y transparente a temperatura ambiente.

Figura – Características físico-químicas de los carburantes y combustibles de aviación

## LA CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA DE LOS COMBUSTIBLES

Al ser los combustibles de procedencia del petróleo, que es orgánico, son susceptibles de contaminación biológica, o sea, por bacterias y por hongos, que durante su metabolismo generan ácidos corrosivos que producirán un fuerte ataque de corrosión a las superficies metálicas de los depósitos, y una variación de las características del mismo combustible.

Aunque actualmente la contaminación de los depósitos de combustible está muy vigilada y no se da con la frecuencia que ocurría en décadas pasadas, el riesgo existe, siendo los aviones con más posibilidades los que tienen poco esmerado mantenimiento, y los grandes aviones de vuelos internacionales, que repostan combustible en muchos países que por razones diversas no suministran un combustible con todas las garantías necesarias.

Las bacterias, que, al reproducirse por división de cada una en el intervalo de pocos minutos, pueden colonizar los depósitos en corto espacio de tiempo. Otra de las contaminaciones que se produce con alguna asiduidad es la contaminación por hongos, que producen esporas que germinan. Las esporas son acromáticas, y de formas variables, y constituyen un elemento de resistencia a todo medio hostil.

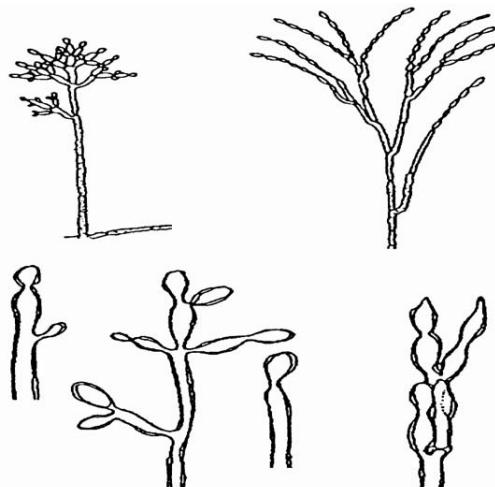


Figura – Vista microscópica de diferentes tipos de familias de esporas.

Cuando la espora germina crece el hongo, que se alimenta de elementos que lleva el combustible; crecen en forma de hebras ramificadas, observables a simple vista, y llegan a formar madejas muy consistentes que obstruyen conductos, filtros, válvulas y demás elementos del sistema, llegando si no se le pone remedio a ser suficiente para que los motores pierdan potencia y se paren.

La formación destructiva más común es la denominada *Hormoconis Resinae* o también *Cladosporium Resinae*, porque es de gran tamaño comparada con otras formaciones, produce mayor cantidad de biomasa y es la mayor causante de la corrosión.

## PREVENCIÓN CONTRA LA CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA

La primera prevención contra este tipo de contaminación la pone en práctica el fabricante al revestir el interior de los depósitos de una pintura antibacteriana.

Una vez que se carga combustible en los depósitos hay que controlar mucho la calidad del combustible efectuando las correspondientes comprobaciones antes de cada operación de repostado, ya que el agua en suspensión es uno de los mayores riesgos que tienen los depósitos de combustible de ser contaminados.



# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura – Puntos de tensión del encastre.....	6
Figura – Diagrama de vaporización de combustibles.....	7
Figura – Válvulas de drenaje de depósito.....	8
Figura – Correspondencia entre denominaciones de uso de los principales países.....	9
Figura – Características físico–químicas de los carburantes y combustibles de aviación.....	10
Figura – Vista microscópica de diferentes tipos de familias de esporas.....	11
Figura – Válvulas en costillas del interior de un depósito de combustible de ala.....	14
Figura – Sistema de combustible de alimentación por gravedad.....	15
Figura – Sistema de combustible de un B–747.....	16
Figura – Sistema de combustible.....	17
Figura – Panel de control analógico.....	17
Figura – Panel de control en cabina.....	18
Figura – Arquitectura del sistema de registro de fallos.....	18
Figura – Depósito de combustible desmontable.....	19
Figura – Depósito de combustible integral en ala.....	21
Figura – Esquema general de tanques de combustible.....	21
Figura – Puertas de acceso a los tanques de combustible.....	22
Figura – Sellos de inyección.....	23
Figura – Detalles del plano de sello del tanque de combustible.....	24
Figura – Sellado de remaches.....	24
Figura – Sellado de perno de blocaje.....	25
Figura – Válvula de alivio de presión de tanque.....	25
Figura – Sistema de ventilación.....	26
Figura – Cajón de ventilación de un depósito de combustible.....	27
Figura – Salida del cajón de ventilación.....	27
Figura – Salida al exterior de una caja de ventilación de un depósito de combustible.....	28
Figura – Válvulas de drenaje de los conductos de ventilación.....	29
Figura – Válvulas de flotador.....	29
Figura – Uniones y tubos de ventilación.....	30
Figura – Componentes del sistema de barrido continuo.....	31
Figura – Eyector de barrido – JET PUMP.....	32
Figura – Válvula unidireccional.....	32

Figura – Diversos componentes del sistema.....	34
Figura – Sistema de combustible de alimentación por gravedad.....	35
Figura – Sistema de combustible a presión en un avión con motor de émbolo.....	36
Figura – Sistema de alimentación de combustible de motor.....	37
Figura – Bombas impulsoras sumergidas.....	38
Figura – Bomba de tanque impulsora estanca.....	38
Figura – Alimentación eléctrica a las bombas impulsoras de un depósito de ala.....	39
Figura – Alimentación eléctrica y control automático de una bomba de depósito de ala.....	40
Figura – Bombas del depósito central instaladas en el interior de otro depósito.....	40
Figura – Instalación de bomba del depósito central en otro depósito.....	41
Figura – Circuito de alimentación de combustible al APU.....	41
Figura – Esquema eléctrico de la bomba APU con motor de corriente continua.....	42
Figura – Bomba de combustible APU.....	42
Figura – Válvula de corte por fuego de motor.....	43
Figura – Válvula de corte de combustible al motor.....	44
Figura – Válvulas actuadas con motor.....	44
Figura – Motor alimentándose por succión con las bombas de depósito paradas.....	45
Figura – Ejemplo de colocación de filtros de rejilla.....	45
Figura – Válvula de descarga de aire.....	46
Figura – Vaciado de combustible.....	47
Figura – Diagrama bloque sistema de repostado/vaciado de combustible.....	48
Figura – Válvula de drenaje de tanque.....	49
Figura – Válvula de drenaje de agua.....	50
Figura – Alimentación cruzada.....	51
Figura – Transferencia de combustible del depósito derecho al izquierdo.....	52
Figura – Ensayo Shell.....	54
Figura – Tapa de depósito para repostado por gravedad.....	55
Figura – Recarga de combustible simultánea a los depósitos.....	56
Figura – Estación de repostado.....	57
Figura – Válvula de carga con acoplamiento de manguera.....	58
Figura – Posiciones del adaptador de repostado a presión.....	58
Figura – Circuito de carga de depósitos de combustible.....	59
Figura – Panel de control de repostado analógico.....	59
Figura – Panel digital de control de carga de combustible.....	60

Figura – Válvula de corte.....	61
Figura – Sistema eléctrico de repostado a presión.....	61
Figura – Computador de control de un sistema de combustible.....	62
Figura – Interruptores de flotador para control de repostado.....	63
Figura – Panel de control y selección de carga de combustible.....	64
Figura – Esquema del lanzamiento de combustible en vuelo.....	64
Figura – Situación de los depósitos y direcciones de transferencia de combustible para el control del centro de gravedad.....	66
Figura – Relación entre los FCMC y otros calculadores digitales.....	67
Figura – Sistema de drenaje de la envuelta.....	68
Figura – Indicador de cantidad.....	70
Figura – Sondas de medición de cantidad de combustible en los depósitos.....	71
Figura – Unión de las sondas de medición.....	72
Figura – Panel de control e indicación de cantidad de combustible.....	72
Figura – Sistema de indicación de cantidad de presentación digital.....	73
Figura – Cálculo de la cantidad de combustible.....	74
Figura – Página de combustible en la pantalla del ECAM.....	75
Figura – Varilla medidora de goteo.....	76
Figura – Regleta de medición de combustible.....	77
Figura – Circuito del sistema de indicación de baja presión de alimentación de combustible.....	78
Figura – Circuito de baja presión de combustible.....	78
Figura – Sistema de indicación de temperatura de combustible.....	79
Figura – Indicación analógica de la temperatura de fuel.....	79
Figura – Recirculación de combustible de la IDG de los motores.....	80
Figura – Vestimenta y equipo de trabajo para el interior de los depósitos.....	81
Figura – Sección de un circuito de hidráulica externa.....	85
Figura – Sistema de hidráulica interna.....	85
Figura – Base del principio de Pascal.....	86
Figura – Sistemas de medidas.....	87
Figura – Aplicación del principio de Pascal.....	88
Figura – Esquema de sistema hidráulico abierto.....	90
Figura – Sistema hidráulico cerrado.....	90
Figura – Sistema hidráulico básico.....	92
Figura – Cuadro sinóptico de un sistema hidráulico.....	94

Figura – Símbolos de esquemas hidráulicos.....	95
Figura – Esquema de un sistema hidráulico.....	96
Figura – Esquema del sistema hidráulico.....	97
Figura – Esquema de un viscosímetro.....	99
Figura – Depósito de hidráulico presurizado por su sistema.....	102
Figura – Depósito presurizado por aire.....	104
Figura – Circuito de recarga de los sistemas hidráulicos.....	105
Figura – Panel de recarga de hidráulico.....	106
Figura – Presurización neumática de los depósitos de hidráulico.....	107
Figura – Acumulador de diafragma.....	108
Figura – Acumulador de bolsa.....	109
Figura – Acumulador cilíndrico de pistón libre.....	110
Figura – Válvula de carga y acumulador.....	111
Figura – Válvula de corte por incendio.....	112
Figura – Circuito eléctrico y válvula cortafuegos.....	113
Figura – Bomba de engranajes.....	114
Figura – Bomba de rotor.....	115
Figura – Bomba de paletas.....	116
Figura – Bomba de émbolos.....	117
Figura – Esquema de bomba hidráulica de pistones.....	117
Figura – Bomba hidráulica arrastrada por motor.....	119
Figura – Esquema de una bomba hidráulica en configuración de baja presión.....	120
Figura – Esquema de una bomba hidráulica en configuración de alta presión.....	121
Figura – Esquema de una bomba hidráulica en configuración de corte de presión.....	122
Figura – Bomba hidráulica eléctrica auxiliar.....	123
Figura – Bomba hidráulica manual.....	123
Figura – Bomba hidráulica manual.....	124
Figura – Turbina aire impacto–turbina.....	125
Figura – Alimentación eléctrica de una RAT.....	126
Figura – Sistemas hidráulicos con bomba de transferencia (PTU).....	128
Figura – Esquema de la unidad de transferencia de energía.....	129
Figura – Colector de presión hidráulica.....	130
Figura – Colector de sistema hidráulico con filtros de presión y retorno.....	131
Figura – Distribución de un sistema hidráulico.....	132

Figura – Conducciones rígidas y flexibles y sus fijaciones a la estructura.....	133
Figura – Fijación de instalaciones hidráulicas.....	134
Figura – Válvula de prioridad.....	135
Figura – Regulador de presión básico.....	136
Figura – Válvula de seguridad de dos etapas.....	136
Figura – Válvula de corte.....	137
Figura – Válvulas selectora de tres posiciones.....	137
Figura – Válvula unidireccional.....	138
Figura – Válvula de lanzadera.....	138
Figura – Válvula de derivación.....	139
Figura – Filtro tipo cuno.....	141
Figura – Filtro de presión micrónico.....	142
Figura – Filtro de presión.....	143
Figura – Filtro con válvula de derivación.....	144
Figura – Filtro de retorno.....	144
Figura – Enfriador de fluido hidráulico tipo serpentín.....	145
Figura – Enfriador de fluido hidráulico tipo radiador.....	146
Figura – Indicación.....	147
Figura – Transmisor del tipo capacidad.....	148
Figura – Indicador de cantidad de tipo flotador.....	148
Figura – Transmisor de presión de hidráulico.....	149
Figura – Esquema eléctrico de un sistema de indicación de presión hidráulica.....	149
Figura – Indicación de presión.....	150
Figura – Indicación de alta temperatura en una bomba de hidráulico.....	151
Figura – Circuito de indicación de sobretemperatura de fluido de un sistema hidráulico.....	151
Figura – Indicación de baja presión de un sistema hidráulico.....	152
Figura – Circuitos del sistema de aviso de baja presión de las bombas hidráulicas.....	152
Figura – Esquema de la indicación de baja presión neumática en un depósito de fluido hidráulico.	153
Figura – Indicaciones del sistema hidráulico en el ECAM.....	154
Figura – Interconexión de sistemas.....	156
Figura – Tabla de zonas a proteger y tipos de protección.....	160
Figura – Mechas detectoras de hielo.....	164
Figura – Esquema de un sistema de antihielo de aire caliente.....	165

Figura – Control de la presión en un sistema antihielo de aire caliente.....	167
Figura – Antihielo de ala.....	168
Figura – Anticipador neumático.....	168
Figura – Termostato.....	170
Figura – Sensores de sobretemperatura antihielo de superficies aerodinámicas.....	171
Figura – Conductor de distribución de aire.....	172
Figura – Conducto telescopico de antihielo de ala.....	173
Figura – Distribución de aire en los bordes de ataque de los slats.....	173
Figura – Válvula termostática de corte y reguladora de flujo.....	174
Figura – Esquema de avisos de precaución de protección contra el hielo.....	174
Figura – Indicaciones en ECAM del antihielo de ala.....	175
Figura – Avisos del sistema de antihielo de ala.....	176
Figura – Sensores de datos de aire.....	178
Figura – Calentamiento de sensores de datos de aire.....	179
Figura – Arquitectura de un sistema de calefacción de sondas de datos de aire.....	180
Figura – Presentación de avisos de calefacción de sondas.....	180
Figura – Calefacción de cristales de cabina de mandos.....	181
Figura – Diagrama funcional del sistema antihielo/antiempañamiento de ventanillas.....	182
Figura – Esquema de calefacción de los cristales de cabina de mandos de un Airbus A-340.....	182
Figura – Diagrama de avisos de fallos de calefacción de cristales.....	183
Figura – Calentador de tubos de agua en línea.....	184
Figura – Mástil de drenaje de la cocina.....	184
Figura – Calefacción por mantas eléctricas (tipo ribbon).....	185
Figura – Sistema de deshielo por zapatas neumáticas.....	186
Figura – Válvula reguladora de presión.....	187
Figura – Panel de control de antihielo de una aeronave fokker.....	188
Figura – Válvulas distribuidoras.....	188
Figura – Instalación de zapatas antihielo en un borde de ataque de un ala.....	189
Figura – Secuencia de actuación de las zapatas.....	189
Figura – Secuencia de las operaciones de deshielo de una aeronave en tierra.....	191
Figura – Tabla de permanencia en horas y minutos del líquido antihielo ISO Tipo II.....	193
Figura – Sistema limpiaparabrisas.....	196
Figura – Conjunto brazo actuador–pala limpiadora.....	196
Figura – Esquema funcional del sistema repelente de lluvia.....	197

Figura – Ángulo de contacto.....	198
Figura – Tren de aterrizaje.....	201
Figura – Tren sin carenar.....	202
Figura – Tren clásico carenado.....	202
Figura – Tren retráctil.....	202
Figura – Tren triciclo retráctil de oruga.....	203
Figura – Tren clásico.....	203
Figura – Tren triciclo retráctil.....	203
Figura – Tren de flotación.....	204
Figura – Tren de flotación.....	204
Figura – Bogie de cuatro ruedas.....	206
Figura – Actuación de un tren bogie.....	206
Figura – Tren de aterrizaje sobre un “bogie” de cuatro ruedas.....	207
Figura – Pata de tren principal y compuertas.....	207
Figura – Pata de morro.....	208
Figura – Pata de tren principal.....	209
Figura – Tren de ballesta.....	210
Figura – Tren fijo con amortiguador.....	211
Figura – Pata de tren principal.....	212
Figura – Puntos de fijación de las patas.....	213
Figura – Punto de giro de la pata.....	213
Figura – Punto de giro de cojinete.....	214
Figura – Amortiguadores de caucho y de anillos.....	215
Figura – Amortiguador de aceite.....	215
Figura – Amortiguador.....	216
Figura – Esquema de un amortiguador oleneumático.....	218
Figura – Diagrama de presión y altura del amortiguador.....	219
Figura – Levas de centrado de las ruedas de una pata de morro.....	219
Figura – Tirantes de fijación de una pata de tren principal.....	220
Figura – Tirantes de fijación y bloqueo de una pata de tren principal.....	221
Figura – Pata con tirantes articulados y fijos.....	221
Figura – Puntos de tirantes rígidos.....	221
Figura – Articulaciones de torsión de una pata de tren principal.....	222
Figura – Articulaciones de torsión de un tren principal.....	222

Figura – Deflector de agua de tren principal.....	223
Figura – Deflector de agua de pata de morro.....	223
Figura – Rueda de morro con un neumático con pestaña deflectora.....	224
Figura – Tren accionado eléctricamente.....	226
Figura – Elementos de control de la maniobra de un tren de aterrizaje.....	226
Figura – Circuito hidráulico de un tren de aterrizaje de una aeronave <i>fly by wire</i> .....	227
Figura – Panes central de instrumentos.....	228
Figura – Palanca de control de tren mecánica.....	229
Figura – Sistema tren aterrizaje mecánico.....	229
Figura – Esquema de un tren de aterrizaje de actuación hidráulica.....	230
Figura – Aislamiento hidráulico del tren de aterrizaje por alta velocidad.....	231
Figura – Palanca de control de tren.....	232
Figura – Palanca de control de tren de actuación eléctrica.....	232
Figura – Sistema de control 1 y 2 de extensión y retracción normal.....	233
Figura – Diagrama de la LGCIU.....	234
Figura – Martinete de extensión y retracción de pata de morro.....	235
Figura – Control hidráulico del tren.....	236
Figura – Actuador de pata.....	238
Figura – Actuador de bloqueo de pata abajo.....	239
Figura – Unidad de bloqueo de pata arriba.....	240
Figura – Brazo–riostra articulado de tren principal.....	241
Figura – Desbloqueo de tren en caída libre.....	242
Figura – Extensión alternativa manual de una pata de morro.....	243
Figura – Esquema eléctrico del sistema de extensión por gravedad.....	245
Figura – Secuencia de la extensión del tren de aterrizaje en caída libre.....	246
Figura – Componentes de un sistema de extensión alternativa hidráulico–mecánica de un tren de aterrizaje.....	246
Figura – Compuerta de panel de abeja.....	248
Figura – Fijación de las compuertas fijas de un tren principal.....	248
Figura – Compuerta móvil de tren principal.....	249
Figura – Compuerta móvil de tren principal.....	250
Figura – Compuertas de tren de morro de actuación.....	250
Figura – Compuertas de cierre mecánico.....	251
Figura – Compuertas mecánicas en posición de vuelo.....	251

Figura – Cilindro de actuación hidráulica de compuertas.....	252
Figura – Unidad de bloqueo de compuertas de tren.....	253
Figura – Apertura de compuertas en tierra.....	254
Figura – Sistema de apertura de compuertas en tierra.....	255
Figura – Puntos de ajuste mecánico.....	256
Figura – Ajustes de elementos de control.....	257
Figura – Punto de ajuste de un actuador.....	258
Figura – Indicaciones de posición y estado de tren.....	259
Figura – Indicación visual directa.....	261
Figura – Esquema eléctrico de indicación de tren de aterrizaje.....	261
Figura – Micros de indicación de posición de tren.....	262
Figura – Indicaciones del tren de aterrizaje.....	262
Figura – Sensores de proximidad.....	263
Figura – Sensores de compuertas de tren.....	264
Figura – Unidad electrónica de interruptores de proximidad.....	265
Figura – Aviso de tren no abajo y bloqueado.....	266
Figura – Mensajes con tiempo de retardo.....	266
Figura – Mensajes de fallo en la indicación de tren de aterrizaje de un B-757.....	267
Figura – Fallo de la LGCIU 1 y fases de inhibición.....	267
Figura – Interconexiones del sistema de indicación.....	268
Figura – Comprobaciones de tren en un sistema CFDS.....	269
Figura – Despiece de una rueda de llanta partida.....	271
Figura – Despiece de rueda de aeronave comercial de gran tamaño A-340.....	272
Figura – Freno de las ruedas de morro.....	273
Figura – Pedales de frenos.....	273
Figura – Frenos de tambor.....	274
Figura – Sistema de frenos hidráulico.....	275
Figura – Conjunto de frenos multidisco.....	276
Figura – Conjunto de frenos de disco.....	277
Figura – Sistema de frenos alimentado por dos sistemas hidráulicos.....	278
Figura – Válvula de carga y acumulador.....	279
Figura – Válvula de control de frenos.....	280
Figura – Limitador de cantidad de flujo.....	281
Figura – Sistema de frenos de control electrónico.....	282

Figura – Esquema de la tarjeta de velocidad de ruedas de una BSCU de un A-320.....	283
Figura – Circuito de frenos alternativo.....	284
Figura – Sistema de frenos alternativo.....	285
Figura – Sistema hidroneumático de frenos de emergencia.....	286
Figura – Esquema de frenos de aparcamiento.....	287
Figura – Sistema de antideslizamiento de ruedas de tren principal.....	288
Figura – Válvula con presión hidráulica mínima y mínima corriente en la bobina.....	289
Figura – Válvula sin presión hidráulica bobina desenergizada.....	290
Figura – Válvula con presión hidráulica máxima corriente en la bobina.....	290
Figura – Transductor de velocidad de las ruedas.....	291
Figura – Esquema simplificado de un circuito de frenos automáticos.....	292
Figura – Indicación de presión del sistema de frenos.....	294
Figura – Indicación de presión del acumulador.....	294
Figura – Sensores de indicación de temperatura de frenos.....	295
Figura – Esquema eléctrico de los ventiladores de ruedas.....	296
Figura – Indicación y control del freno de aparcamiento.....	297
Figura – Esquema de elementos e indicación de freno de aparcamiento de un A-340.....	298
Figura – Neumático convencional.....	299
Figura – Neumático radial.....	299
Figura – Posiciones para el inflado de neumáticos.....	301
Figura – Almacenamiento de neumáticos.....	302
Figura – Sistemas de dirección de ruedas de morro.....	305
Figura – Funcionamiento de la válvula de derivación y alivio.....	306
Figura – Sistema de dirección de ruedas de morro de control electrónico.....	307
Figura – Selector de paso articulado transductor.....	309
Figura – Caja de engranajes.....	309
Figura – Mecanismo de control tierra–vuelo.....	310
Figura – Funciones de un mecanismo de control tierra–vuelo.....	311
Figura – Sensores de pata de morro.....	312
Figura – Patín de cola fijo.....	313
Figura – Patín de cola plegable.....	314
Figura – Indicación de posición del patín.....	315

# 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 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 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, África y América. 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 Cheste, 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