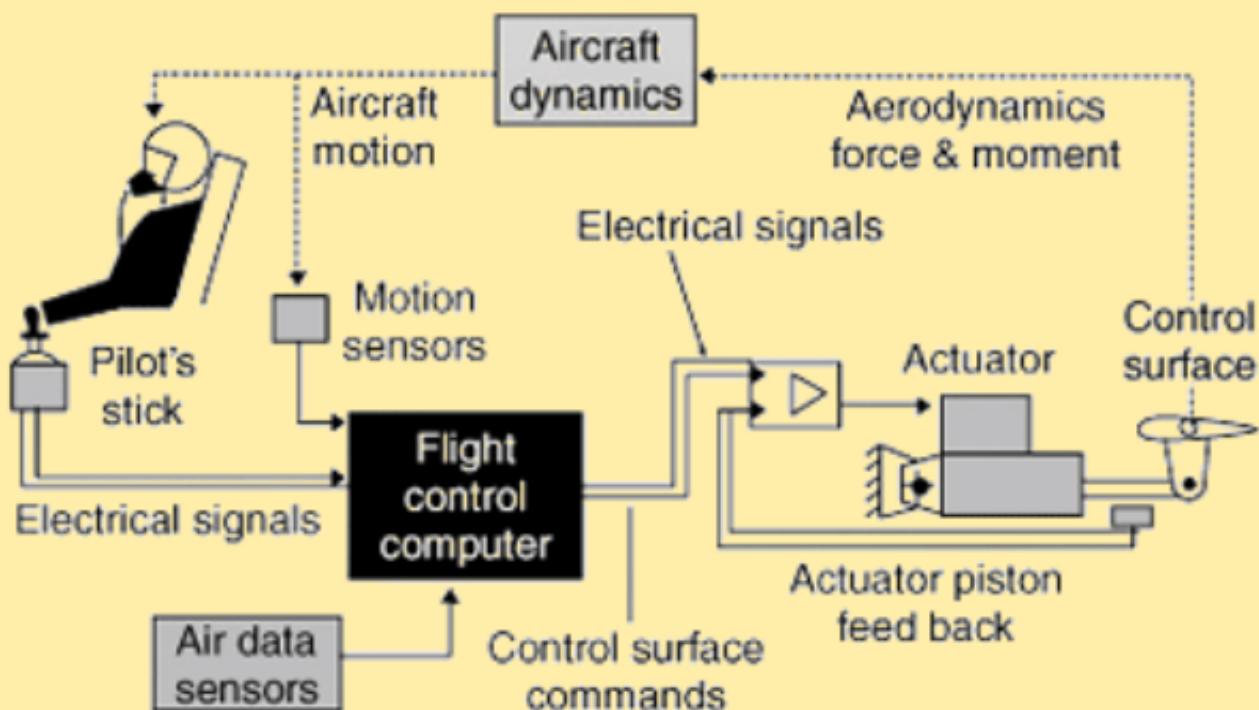


SISTEMAS DE AERONAVES DE TURBINA



Felipe Gato Gutierrez



TOMO II

 Editorial
NoBooks

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

- 11.04 - AIRE ACONDICIONADO (ATA 21)
- 11.05 - INSTRUMENTACIÓN
(ATA 22, 23, 31 Y 34)

SISTEMAS DE AERONAVES DE TURBINA

TOMO II

Felipe Gato Gutiérrez

y

Ángel Mario Gato Gutiérrez

2016

Valencia

Sistemas de aeronaves de turbina

TOMO II

© Felipe Gato Gutiérrez y Ángel Mario Gato Gutiérrez

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

ISBN: 978-84-15378-42-6 (Tomo II)

e-book v.1.0

ISBN edición en papel: 978-84-15378-52-5 (Tomo II)

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
11.04 – AIRE ACONDICIONADO.....	5
11.04-00 – GENERALIDADES.....	7
11.04-01 – FUENTES DE SUMINISTRO DE AIRE.....	9
FUENTES DE SUMINISTRO.....	9
SUMINISTRO DE FUENTES EXTERNAS.....	10
11.04-02 – AIRE ACONDICIONADO.....	12
SISTEMAS DE CICLO DE AIRE Y DE VAPOR.....	15
SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	19
FLUJO DE AIRE ACONDICIONADO.....	19
FLUJO DE AIRE FRÍO.....	21
FLUJO DE RECIRCULACIÓN.....	22
REFRIGERACIÓN DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS.....	23
FLUJO DE AIRE DE IMPACTO.....	23
SISTEMA DE CONTROL DE LA PRESIÓN Y DEL CAUDAL.....	24
LIMPIADO DEL AIRE.....	28
CONTROL DE LA HUMEDAD.....	29
CONTROL DE TEMPERATURA.....	31
11.04-03 – PRESURIZACIÓN.....	35
SISTEMAS DE PRESURIZACIÓN.....	35
SISTEMAS DE PRESURIZACIÓN DE GENERACIÓN ACTUAL.....	40
OPERACIÓN DEL SISTEMA EN AUTOMÁTICO Y EN MANUAL.....	42
CONTROL E INDICACIÓN DE LA PRESIÓN DE CABINA.....	45
CONTROL E INDICACIÓN EN AVIONES DE GENERACIÓN ACTUAL.....	47
INTERCONEXIONES DEL SISTEMA DE PRESURIZACIÓN.....	51
VÁLVULAS DE DESCARGA (OUT-FLOW) Y SEGURIDAD.....	52
REGULADORES DE LA PRESIÓN EN CABINA.....	56
11.04-04 – DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD Y ALERTA.....	59
PROTECCIÓN DE SOBRETEMPERATURA EN ZONAS Y CONDUCTOS....	59
PROTECCIÓN POR SOBRETEMPERATURA.....	60
11.04-05 – REFRIGERACIÓN DE EQUIPOS DE A BORDO.....	62
CONTROL DE REFRIGERACIÓN DE EQUIPOS.....	62
VENTILACIÓN DE LA AVIÓNICA.....	63
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE EQUIPOS MIXTO.....	67
11.04-06 – CALEFACCIÓN DE COMPARTIMENTOS DE CARGA.....	71
11.05- INSTRUMENTACIÓN.....	73
11.05-00 – GENERALIDADES.....	75
INSTRUMENTOS DE NAVEGACIÓN Y DE INDICACIÓN DE SISTEMAS..	76
INSTRUMENTOS DE NAVEGACIÓN Y VUELO.....	76

INDICADORES DE COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS.....	77
ELEMENTOS Y MECANISMOS DE LOS INSTRUMENTOS.....	78
PRESENTACIONES CUANTITATIVAS DE LA INDICACIÓN.....	80
INSTRUMENTOS DE PRESENTACIÓN EN COLOR.....	82
PRESENTACIÓN CUALITATIVA DE DATOS.....	82
PRESENTACIONES DIRECTORIAS.....	82
Paneles de instrumentos y su disposición.....	84
CONDICIONES REQUERIDAS PARA LOS PANELES DE INSTRUMENTOS	85
INSTRUMENTOS DEL GRUPO MOTOPROPULSOR.....	88
INDICADORES DE POSICIÓN DE LOS ELEMENTOS Y LÍNEAS DE FLUJO	88
ILUMINACIÓN DE INSTRUMENTOS Y PANELES DE INSTRUMENTACIÓN.....	89
11.05-01 – SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN.....	91
PITOT ESTÁTICO: ALTÍMETRO, ANEMÓMETRO, VARIÓMETRO.....	91
INSTRUMENTOS GIROSCÓPICOS: HORIZONTE ARTIFICIAL, DIRECTOR DE POSICIÓN DE VUELO, INDICADOR DE DIRECCIÓN, INDICADOR DE SITUACIÓN HORIZONTAL, INDICADOR DE VIRAJE Y DESLIZAMIENTO, COORDINADOR DE VIRAJES.....	113
INSTRUMENTOS DE FUNCIONAMIENTO MAGNÉTICO.....	130
INDICACIÓN DEL ÁNGULO DE ATAQUE, SISTEMAS DE AVISO DE ENTRADA EN PÉRDIDA.....	137
OTROS INDICADORES DE LA AERONAVE.....	141
11.05-02 – SISTEMAS DE AVIÓNICA.....	161
PILOTO AUTOMÁTICO.....	161
COMUNICACIONES.....	203
SISTEMAS DE NAVEGACIÓN.....	251
ÍNDICE DE FIGURAS.....	311
BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA.....	322

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, que le 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 Luís 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 mi muy valiosa.

A Cesar Moya Villasante, !!br0ken!! 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, si lo es de la enseñanza y nadie mejor que él para dejar su opinión desde ese punto de vista.

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 el 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

Mi antiguo compañero de trabajo durante casi 20 años, pero sobre todo buen amigo, el Sr. Felipe Gato, me ha hecho el honor de dejarme prologar este excelente texto titulado *Sistemas de aeronaves*, lo que quisiera en primer lugar agradecerle sinceramente.

Es relativamente habitual en nuestra actividad que los textos enfocados a la enseñanza sean preparados por profesionales con excelente formación académica, pero que quizás adolecen de un insuficiente contacto con la realidad de la Aviación “a pie de pista”. No es, por fortuna para usted que lee estas líneas, el caso de este libro, cuyo Autor une a su profunda preparación técnica, una amplísima experiencia práctica en muy distintos entornos (no siempre fáciles ni cómodos), complementada además con años de dedicación a la enseñanza.

Esta circunstancia le ha permitido al Autor enfocar cada capítulo del libro desde tres vertientes complementarias que, desde mi punto de vista, permitirán al lector tener una visión muy clara de los distintos sistemas que componen la compleja y sofisticada máquina que es hoy en día un avión. En primer lugar, cada capítulo está tratado de forma que es posible entender los “porqué” de los distintos sistemas, su función concreta dentro del conjunto y los criterios considerados a la hora de diseñarlos. Por otro lado, es también perfectamente comprensible tras la lectura y estudio del texto el “cómo” cada sistema y componentes del mismo ejecutan su función.

Finalmente los años de aula y el trato continuo con estudiantes de los que ha disfrutado el Autor le han permitido escribir un texto enormemente didáctico, lo que facilita la comprensión de los conceptos antes citados.

Por otro lado, es de destacar lo completo de la obra en lo que se refiere a la cobertura del avión como conjunto, refiriéndonos a lo que tradicionalmente se denominan “sistemas de avión”. Es un utilísimo compendio de saber y experiencia que permite adquirir un conocimiento muy valioso sobre lo que es y cómo opera un avión, excepción hecha de las áreas, motor y estructuras. Por decirlo de una forma coloquial, recoge “todo lo que un estudiante debe conocer al respecto de los sistemas de avión”.

Finalmente, los más de 30 años que el Sr. Gato ha dedicado al Mantenimiento Aeronáutico le han permitido reflejar de alguna manera dentro del texto la evolución de los sistemas, no de forma explícita, pero sí permitiendo entrever a lo largo del mismo cómo han ido cambiando con el tiempo las formas de hacer realidad los conceptos básicos de teorías tan complejas como la Mecánica del Vuelo o la Dinámica de Fluidos.

Sin querer extenderme más en lo que no pretende ser más que una breve introducción al presente manual, animo al estudiante y lector a aprovechar al máximo todo el conocimiento y experiencia que Felipe pone a nuestra disposición, en el convencimiento de que además lo hace con el cariño que siempre demostró a esta su segunda vocación: la Enseñanza.

José Luís Quirós Cuevas

Ingeniero Aeronáutico

Director de Producción de Iberia Líneas Aéreas de España

11.04 – AIRE ACONDICIONADO

11.04-00 – GENERALIDADES.....	7
11.04-01 – FUENTES DE SUMINISTRO DE AIRE.....	9
11.04-02 – AIRE ACONDICIONADO.....	12
11.04-03 – PRESURIZACIÓN.....	35
11.04-04 – DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD Y ALERTA.....	59
11.04-05 – REFRIGERACIÓN DE EQUIPOS DE A BORDO.....	62
11.04-06 – CALEFACCIÓN DE COMPARTIMENTOS DE CARGA.....	71

11.04-00 – GENERALIDADES

Una vez que el hombre consigue el sueño de volar a bordo de un aparato más pesado que el aire, comienza para él una carrera interminable, ya que se plantea dos objetivos, uno volar más alto y otro volar más rápido. A medida que va avanzando en sus investigaciones y experiencias, comienzan a aparecer necesidades tales como mantenerse caliente, poder respirar en las alturas, *etc.*

La temperatura la empieza a controlar mediante protección individual con ropa apropiada para combatir el frío. El respirar aceptablemente lo logra administrándose oxígeno y presurizando su indumentaria.

Pronto observa que todo eso ofrece muchas dificultades y que ha de poner mucho esfuerzo para conseguir más bien pobres resultados.

En los comienzos del segundo tercio del siglo XX, se empiezan a intentar presurizar las cabinas y a controlar también la temperatura y la humedad, por lo que rápidamente van apareciendo métodos y sistemas tanto de construcción de las aeronaves como de los sistemas de las mismas; aparece la inquietud no solo de mantener a los pilotos en condiciones aceptables, sino también a los pasajeros que comienzan a llevar en su interior los aviones comerciales.

Finalizada la Segunda Guerra Mundial, la construcción de aeronaves sufre un rapidísimo avance debido al aprovechamiento tanto de las industrias creadas para la guerra como de la experiencia técnica adquirida en ésta. Se comienzan a utilizar los fuselajes metálicos, lo que permite un mejor control de la presión diferencial entre el interior de la cabina y el exterior, cosa difícil de conseguir con los anteriores fuselajes de madera.

Las cabinas de los aviones experimentan un notable aumento de tamaño, lo que a su vez repercute en el confort, proporcionado tanto por un mobiliario de altas prestaciones, como por los cada vez más mejorados controles de la temperatura, la presión y la humedad interiores.

En cuanto al aire acondicionado, se pasa de calentar al piloto con aire que se toma del exterior y se hace pasar por un calentador por cuyo interior circulan los gases de escape calientes, hasta la actualidad, en que en los reactores se sangra aire de las etapas medias y altas del compresor del motor y se enfriá lo necesario para poder introducirlo en la cabina, y así conseguir mantener ésta a la temperatura que se desee, teniendo además salidas de aire de refrigeración individuales para cada usuario, ya sea tripulante o pasajero.

En cuanto a la presión, al ser los fuselajes metálicos y estar fabricados con sistemas de construcción que permiten habitáculos perfectamente sellados y de un tamaño razonable, también permiten el transporte de pasajeros y mercancías en viajes de largos períodos de duración y a largas distancias.

Esta construcción permite una presión diferencial que ronda entre los 8 y los 10 p.s.i., con lo que el avión puede subir hasta altitudes de 40.000 pies, mientras que su robustez combinada con los modernos sistemas de navegación permiten velocidades (en la gama subsónica) rondando los 1.000 km/h. Si tenemos en cuenta las distancias a recorrer, como está diseñado el control del espacio aéreo y el resto de condicionantes, vemos que la mayoría de los vuelos se producen por debajo de los 40.000 pies de altitud, con una presión en cabina equivalente a 8.000 pies y una presión diferencial por debajo de los 10 p.s.i., valores que encajan con las posibilidades técnicas de mantener unas cabinas con condiciones de temperatura agradable y presión equivalente a la existente en una montaña a 2.500 metros sobre el nivel del mar.

Cuestión aparte son los vuelos supersónicos, en los que una gran parte del vuelo se realiza a velocidades subsónicas y solo la parte de crucero a supersónicas, con lo que la cabina tendrá que ser resistente a una presión diferencial mayor y necesitará un preciso control de temperatura, al elevarse ésta por el calentamiento aerocinético, mientras que en los vuelos subsónicos el calentamiento es mucho menor, perdiendo gran cantidad de temperatura al volar a mucha altitud a temperaturas tan bajas, que no es compensado en modo alguno por el calentamiento debido a la fricción con el aire.

En la aviación ligera, la presurización no es un dato a valorar porque no es necesaria en la mayoría de los casos, y la temperatura se obtiene habitualmente aprovechando el calor que desprenden los gases de escape de los motores, tal y como se ha comentado con anterioridad.

Aunque las misiones principales del sistema de aire acondicionado son el mantenimiento de la cabina en presión y temperatura adecuadas, no es menos importante el resto de condiciones que debe cumplir: deberá ser distribuido de una forma tal que no origine corrientes, ni zonas de aire caliente y frío; debe ser capaz de mantener el adecuado control de la humedad, evitar la formación de hielo y vapor en las ventanas, lograr que las paredes del avión se encuentren a temperaturas adecuadas y asegurar la recirculación y renovación del aire. También debe ser capaz de evitar al máximo los malos olores, incluidos los que puedan generar las personas presentes en la cabina. Además, tendrá que poder ventilar el avión en tierra y refrigerarlo en épocas calurosas.

Como se puede observar, el funcionamiento del sistema de aire acondicionado no consiste solo en el simple hecho de enviar el aire caliente o frío a la cabina, sino que la complejidad del sistema va mucho más allá.

11.04-01 – FUENTES DE SUMINISTRO DE AIRE

FUENTES DE SUMINISTRO

En principio, las posibles fuentes de suministro de aire acondicionado son dos: una procedente del sistema neumático del avión (que será alimentado por los motores del avión, por el APU o por un equipo neumático autónomo y que se verá en el capítulo correspondiente, tratado en el capítulo 11.16 ATA 36) y otra procedente de un equipo de aire acondicionado externo que se conecte al avión en la zona de distribución del sistema y que introduce aire en la cabina, pero controlado por los mandos del equipo externo.

AVIONES DE MOTOR DE ÉMBOLO O TURBOHÉLICES

El aire para el sistema de aire acondicionado se suministra a través del sistema neumático, mediante unos compresores, o ventiladores, que son arrastrados por el motor; el cual proporciona aire a presión al sistema, que controlará la presión, temperatura, flujo y humedad, para introducirlo posteriormente mediante los conductos del subsistema de distribución de la cabina y proporcionar la atmósfera necesaria para unos niveles de calidad aceptables.

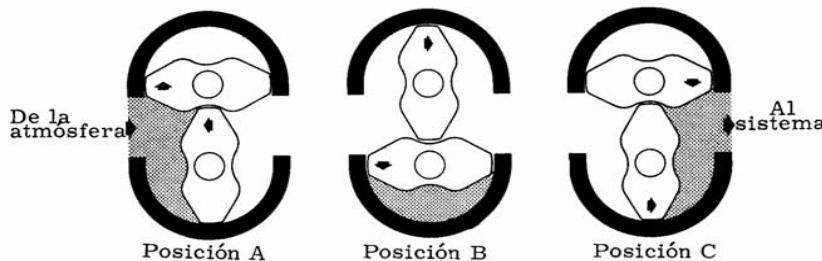


Figura – Principio de la operación del ventilador.

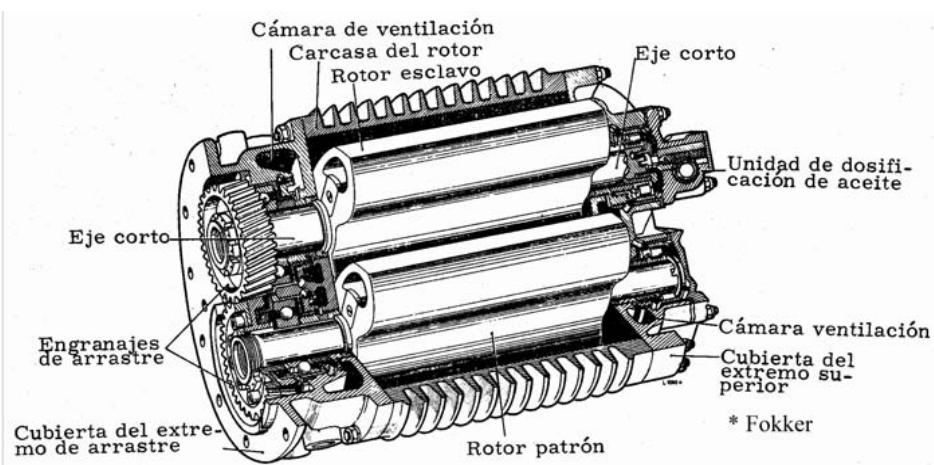


Figura – Ventilador.

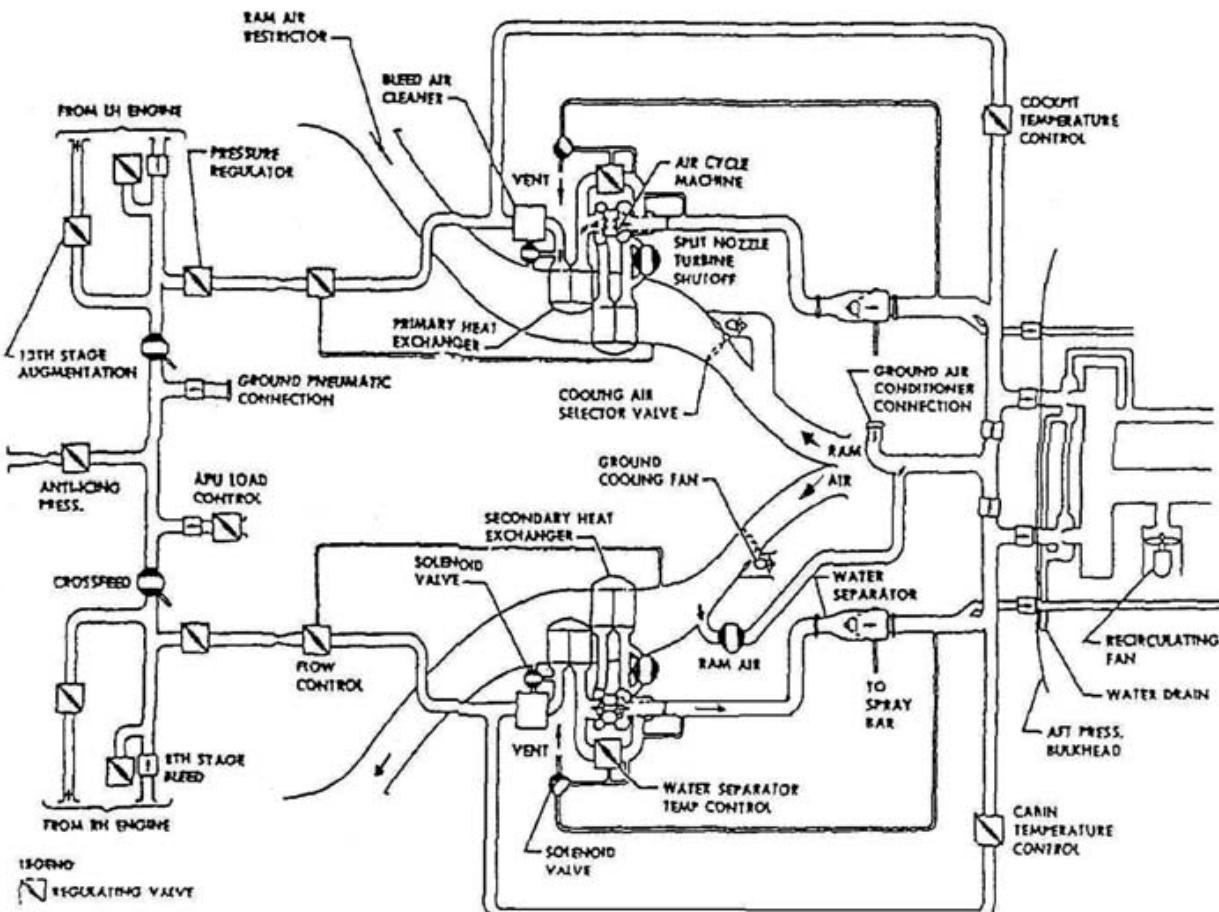
En la figura se muestra un esquema de funcionamiento de un compresor-ventilador con el que la casa fabricante Fokker dota a muchos de sus aviones de tamaño medio, es una unidad volumétrica giratoria tipo ROOTS de una capacidad de 20 libras de aire a unos 20.000 pies de altitud.

Esta unidad es arrastrada por la caja de accesorios del motor, consiste esencialmente en un par de rotores engranados con lóbulos que se mueven en estrecha proximidad a sus compañeros del rotor adyacente, sin contacto real.

El aire atraído hacia el interior por la abertura de entrada, queda atrapado entre los lóbulos de los rotores y la carcasa del rotor, y le hace moverse hacia la abertura de salida de la unidad y hacia el sistema.

AVIONES CON MOTORES DE TURBINA

En esta clase de aviones el aire para el sistema de aire acondicionado proviene de los sangrados de las etapas bajas, medias y altas del compresor de los motores; se efectúa un primer control del aire sangrado a los motores en cuanto a presión y temperatura, por los elementos del sistema neumático (ATA 36), y una vez pasado éste, el aire llega al sistema de aire acondicionado (ATA 21) que procederá a su tratamiento para poder introducirlo en la cabina.



* McDouglas

Figura – Diagrama del sistema de acondicionamiento de aire.

SUMINISTRO DE FUENTES EXTERNAS

Cuando las fuentes de suministro son los motores o el APU a través del sistema neumático, es necesario que todo el sistema de aire acondicionado esté en funcionamiento para poder producir aire con las condiciones requeridas; pero cuando la fuente de suministro es externa, el aire introducido en cabina viene regulado en condiciones de presión y temperatura por el equipo

externo, ya que el aire inyectado es introducido directamente a los conductos de distribución, lo que permite mantener el sistema de a bordo parado. En la figura, se puede ver un diagrama explicativo con la correspondencia de usuarios y fuentes de alimentación.

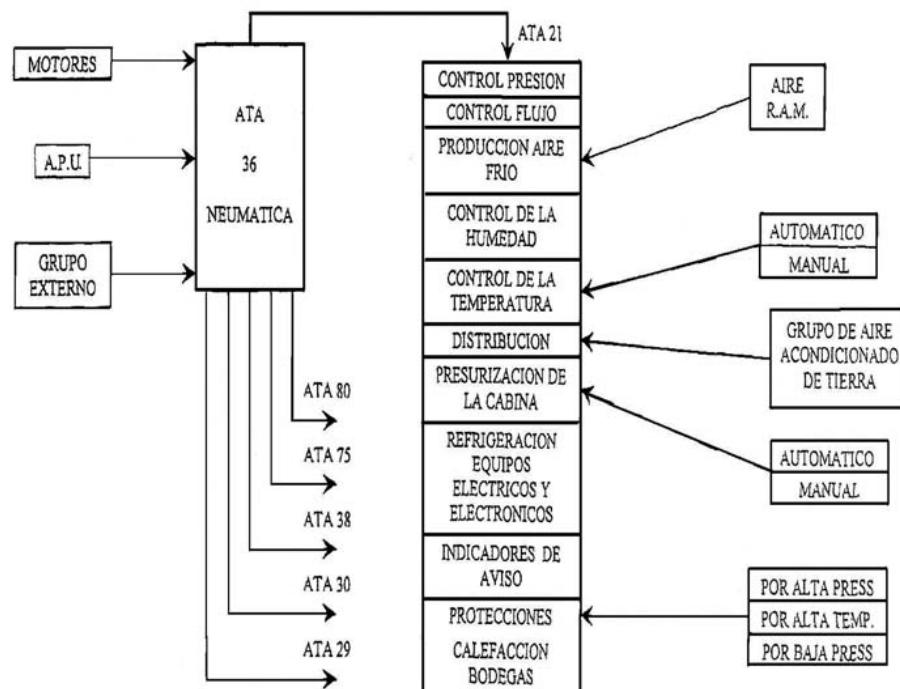


DIAGRAMA SINOPTICO DEL ATA 21

Figura – Diagrama sinóptico del ATA 21.

Los equipos de tierra que pueden alimentar de aire acondicionado a los aviones son equipos con potentes motores, que están montados sobre un chasis con ruedas, bien sea remolcable o sobre un vehículo camión.

En cuanto al sistema que tienen de producir el aire frío, también los hay de varios tipos y tamaños, pero los dos más utilizados son los de turbina de expansión, y de aire por vapor, son equipos que producen un gran caudal de aire aunque no sean muy bajas las temperaturas.



Figura – Equipo de aire acondicionado para servicio en tierra.

11.04-02 – AIRE ACONDICIONADO

Entenderemos como aire acondicionado aquel que introducimos en la cabina después de haberlo controlado en presión, temperatura, flujo y humedad. Hay varios métodos para conseguir estos objetivos.

En la aviación ligera, al no tener cabinas presurizadas, solo es problema el mantener la temperatura del interior del habitáculo, ya que la atmósfera va disminuyendo de temperatura y presión a medida que aumenta la altitud respecto al nivel del mar. En este caso, el sistema consiste en hacer pasar aire del exterior por un calderín por el que pasan los tubos de los gases de escape del motor, calentando el aire entrante que posteriormente pasa a la cabina calentándola. La cantidad de aire entrante se controla mediante una válvula que regulará el flujo de aire caliente, y por lo tanto la temperatura.

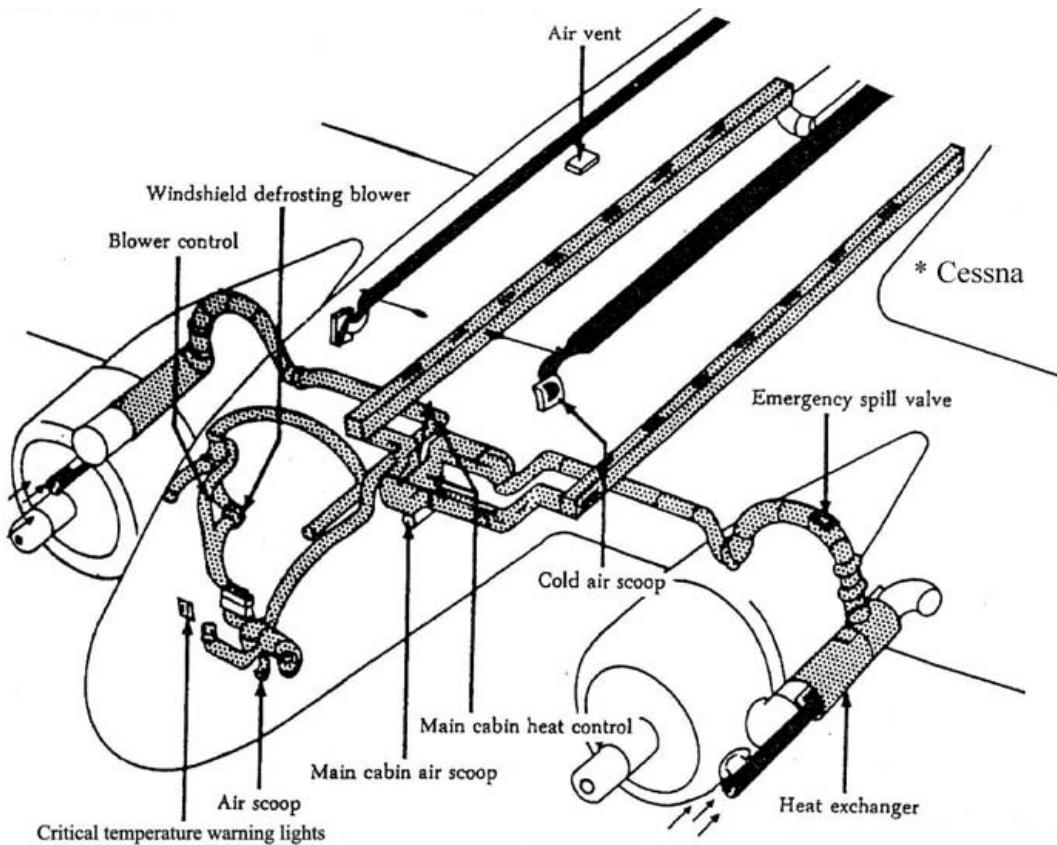


Figura – Sistemas de aire acondicionado.

En un avión de tipo medio, con motor de pistón o turbohélice, como el de la figura, que lleve la cabina con una estanqueidad baja (con lo que la presurización necesaria será muy pequeña) y que lógicamente no podrá volar a grandes altitudes.

En estos casos se viene utilizando, aunque ya no con mucha frecuencia, un sistema de calentamiento del aire que entra en la cabina mediante una cámara en la que se quema combustible dentro de otra mayor, llamada *PLENUM*, y por la que se hace pasar aire mediante ventiladores si está en tierra, o directamente desde el exterior si está en vuelo, calentándolo en el *PLENUM* y pasando de ahí a la cabina a través de unos tubos en los que se controla el flujo para poder mantener la temperatura deseada en la cabina. El aire de la cámara de combustión cuando el avión está en tierra también es forzado a circular mediante ventiladores.

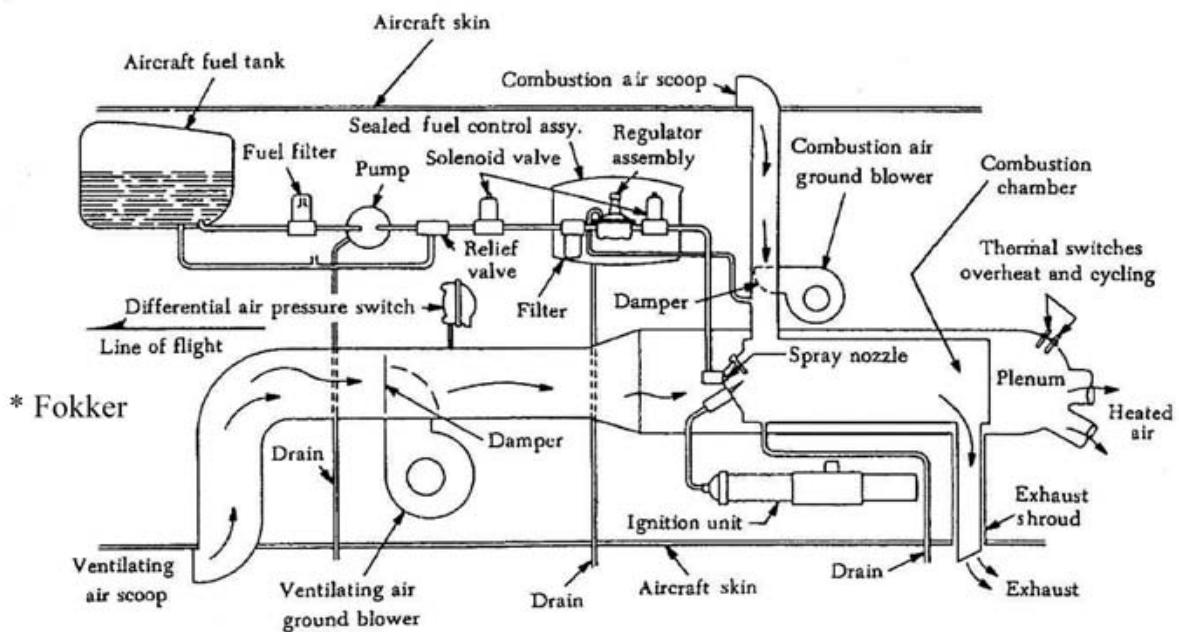


Figura – Calentamiento de aire por combustible.

SISTEMAS DE CICLO POR VAPOR

Estos sistemas están basados en el mismo principio que los refrigeradores domésticos, o sea, una especie de bombas de calor que transmiten el calor de un medio a otro a menos temperatura, utilizando la evaporación de un líquido refrigerante mediante una máquina apropiada, que trabaja en circuito cerrado circulando a través de un radiador.

Si se canaliza el aire de la cabina y se le hace pasar a través del radiador, el aire se enfriará y volverá a la cámara mezcladora para que la temperatura controlada se pueda volver a introducir en la cabina.

En la actualidad, esta forma es poco utilizada en la aviación comercial y casi se circumscribe al área de fabricación de automóviles, o a la de refrigeradores domésticos; aunque tiene aspectos sobresalientes positivos, como son una muy buena capacidad de refrigeración en tierra, y mejores rendimientos; pero al ser los elementos y componentes del sistema más pesados y que tampoco pueden permitir todas las funciones del acondicionamiento del aire, lo hacen ser menos aconsejable en grandes espacios, de esta forma solo lo encontraremos en aviones pequeños y en algunos con motores de turbohélice.

SISTEMAS DE CICLO POR AIRE

En estos sistemas, la función básica consiste en la eliminación de la energía calorífica del aire de sangrado de los motores, mediante su transformación en trabajo mecánico, quedando ese aire preparado para calentar o refrigerar y presurizar los compartimentos situados en el interior del fuselaje.

Este sistema es más aconsejable en aviones grandes porque permite el tratamiento de grandes masas de aire, necesario para mantener una atmósfera de buena calidad en el interior del fuselaje, para que pueda albergar hasta varios centenares de personas en condiciones de temperatura, presión y humedad confortables a cualquier altura a la que se vuela y durante el tiempo que dure el vuelo.

Por otra parte, trabaja a bajas presiones (del orden de menos de 50 p.s.i.), son los elementos que componen el sistema menos pesados y permite una fácil y periódica renovación del aire de la cabina, aunque el rendimiento puro por kg/masa de aire pueda ser menor que en los de ciclo por vapor.

De todas formas, este es el sistema que normalmente encontraremos montado en aviones con propulsión por reactores y por turbohélices, de tamaño medio o grande, ya que cumplen muy bien las necesidades recogidas en las normativas en vigor, para todos los parámetros de calidad del aire de la cabina, tanto de cantidad mínima por pasajero como de calidad y limpieza del aire.

En la figura siguiente se puede apreciar un completo esquema de la circulación que efectúa el aire desde que es sangrado de las etapas bajas, medias o altas de los motores, hasta que llega a la cabina, bien por las salidas de aire generales o por las salidas individuales que tiene cada pasajero.

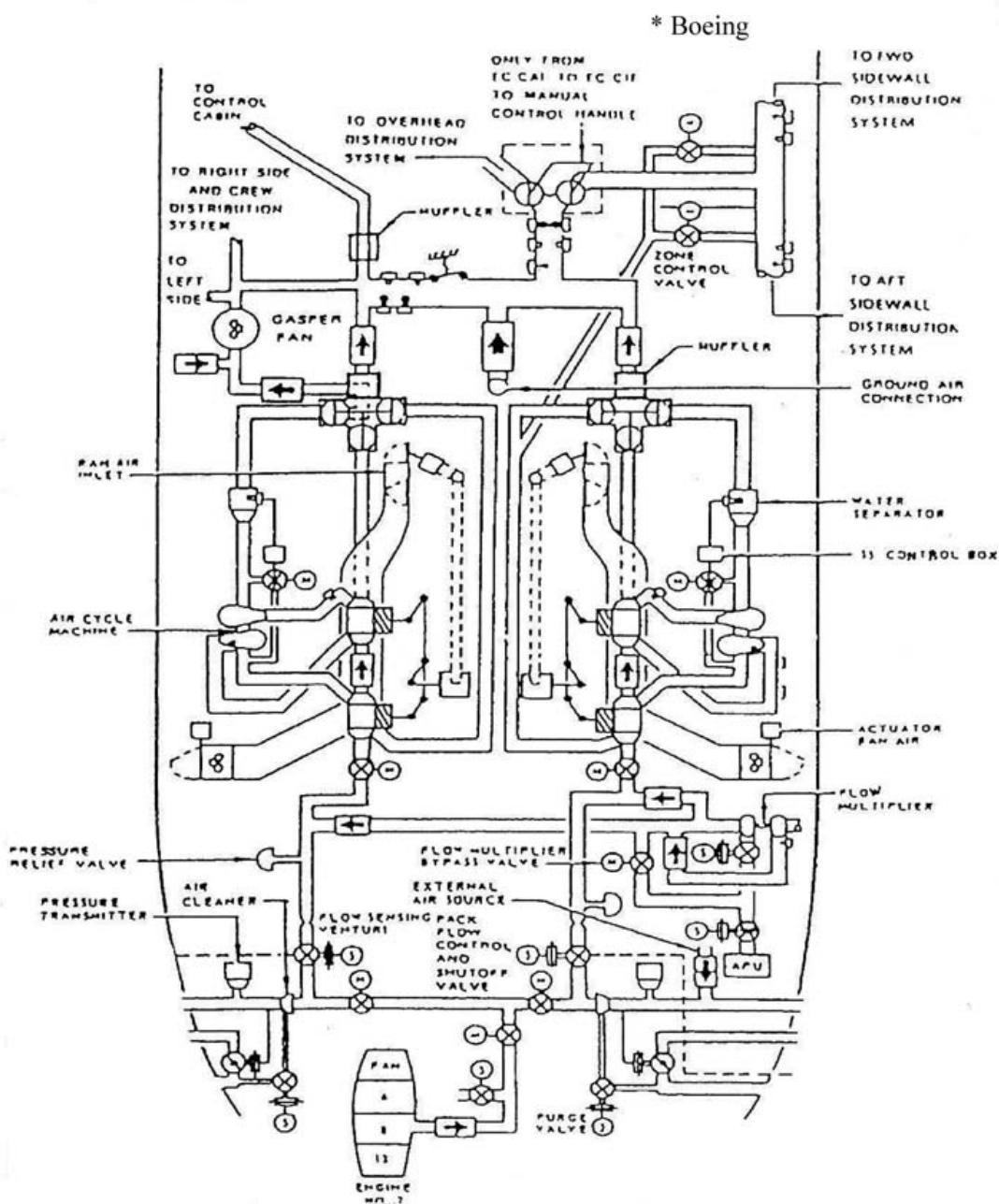


Figura – Sistema completo de neumático y aire acondicionado de un avión de tres motores y APU.

SISTEMAS DE CICLO DE AIRE Y DE VAPOR

SISTEMAS DE CICLO POR VAPOR

Aunque no es este un sistema de refrigeración muy utilizado en aviación, y sea más utilizado en la automoción y en la cadena de frío doméstica, es necesario tener unos criterios claros sobre su funcionamiento.

Contamos con un circuito cerrado formado por varios componentes, al que se le dota de un líquido refrigerante que al cambiar de estado, de líquido a gaseoso (vaporización) dentro del proceso termodinámico, enfriá.

Este líquido durante el cambio de fase, absorbe gran cantidad del calor del aire procedente de la cabina que se enfriá en igual cantidad de temperatura que la que el líquido absorbe. Este componente se enfriá con aire procedente del exterior del avión, quedando así refrigerado.

Una vez condensado, el líquido vuelve a pasar al circuito a través de un compresor, volviendo a comenzar el ciclo.

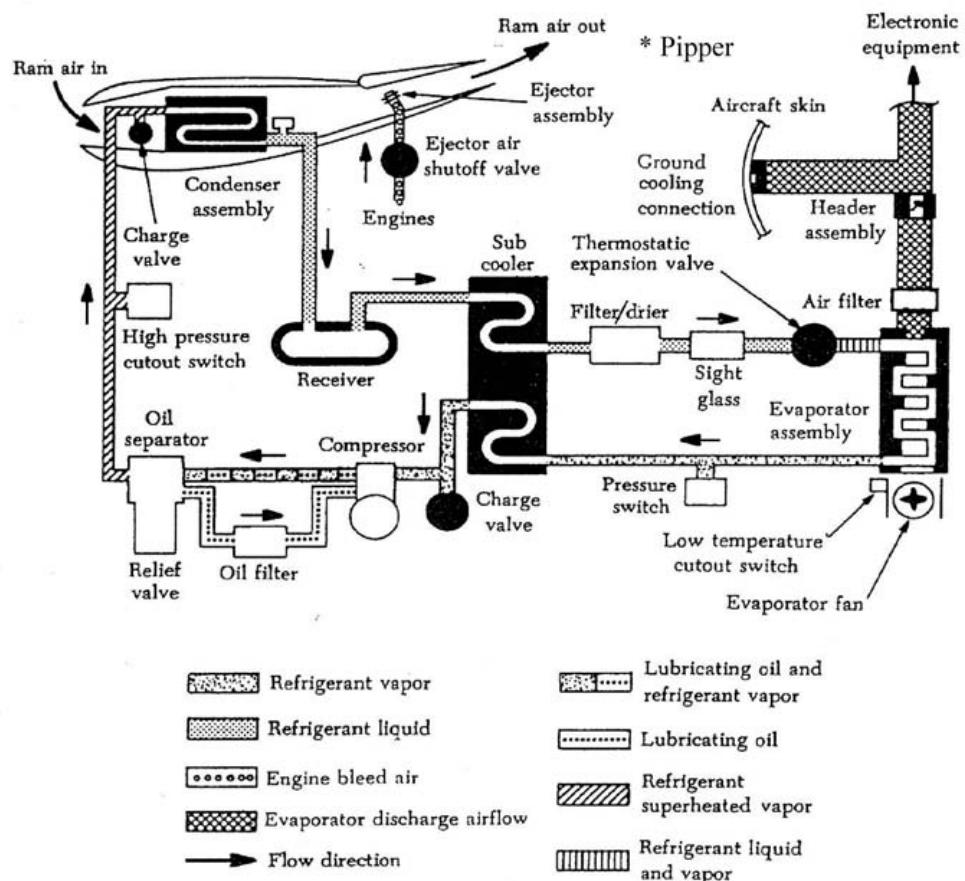


Figura – Sistemas de círculo cerrado de aire y vapor.

Cuando se trata de refrigerar un volumen pequeño o medio de aire, es un sistema a tener en cuenta; pero para aviones con un gran volumen de aire no es nada eficaz por lo que prácticamente es muy poco utilizado.

Los componentes principales de este sistema son: compresor, unidad condensadora, evaporador, válvulas de expansión y tuberías. Todo esto controlado por un termostato y fusibles hidráulicos por motivos de seguridad.

El líquido tiene la propiedad de evaporarse a bajas temperaturas.

En el depósito receptor, el líquido es filtrado y deshumidificado con un componente de silicio, ya que debe estar libre de humedad debido a que corriente abajo del circuito habrá de expansionarse fuertemente, sufriendo un gran descenso de temperatura y la presencia de humedad podría producir un bloqueo de la válvula.

El compresor, en aviones pequeños, va arrastrado mediante una correa transmisora y si es de tamaño mediano lo arrastra un motor eléctrico.

El control del sistema se limitará a un interruptor de dos posiciones, una para refrigerar (COOL) y la otra para recircular. También constará de un mando tipo reostato para seleccionar la cantidad de enfriamiento que sea necesario.

Las protecciones del sistema se limitarán a uno o varios fusibles hidráulicos para que en caso de rotura, protejan al sistema y éste no se quede vacío, así como un *switch* de corte y parada del sistema, al sobrepasar los límites de presión marcados.

Las indicaciones se componen de una luz ON-OFF de necesidad de conexión del sistema; una indicación de presión y una indicación de baja temperatura.

SISTEMAS DE CICLO POR AIRE

En este sistema de refrigeración, se utiliza como base el principio de la transformación de la energía calorífica que tiene el aire en trabajo mecánico, moviendo una rueda de turbina que a su vez hace girar un compresor centrífugo montado sobre el mismo eje.

Este sistema, al funcionar con aire de sangrado de los compresores de los motores del avión o del APU y a través del sistema neumático, ATA 36, después de sufrir una regulación de presión y un control de flujo, y una fase de limpiado por centrifugación en el limpiador, llega el aire a lo que llamamos máquina de ciclo por aire o ACM (Air Cycle Machine).

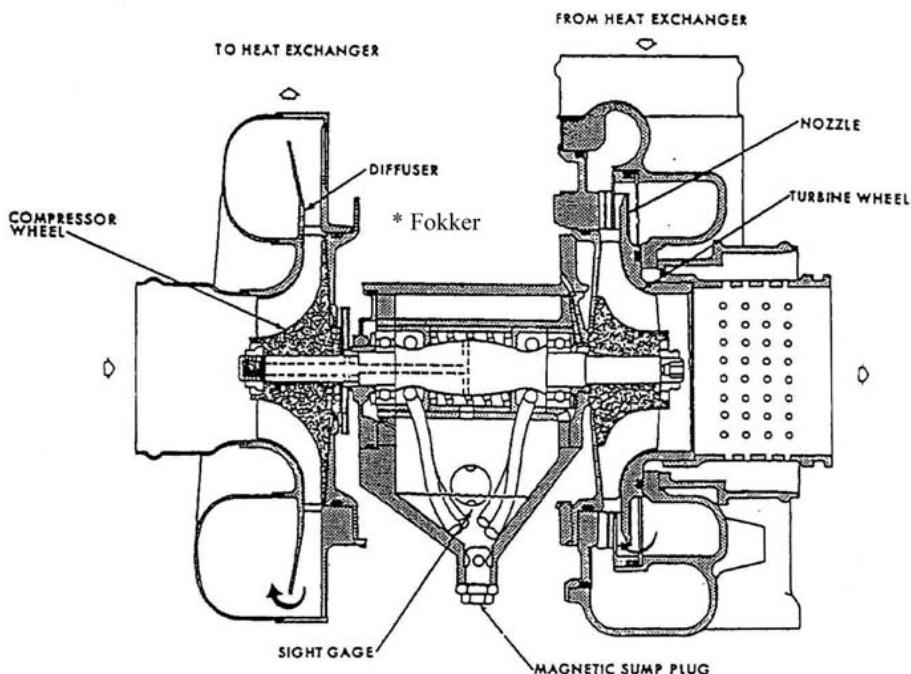


Figura – Esquema del acondicionador (ACM).

Por otra parte, el aire de impacto (RAM) canalizado, pasa por los radiadores-cambiadores de calor primario y secundario enfriando el aire que circula por su interior.

Una vez pasado el aire por la válvula de control de flujo y el limpiador centrífugo, llega al cambiador primario donde sufre un primer descenso de temperatura, pasando al compresor, y de éste al cambiador secundario. A continuación de éste se encuentra la turbina expansora donde el aire le hace girar a un régimen alto de r.p.m., aproximadamente entre las 20.000 y las 80.000 vueltas por minuto, dependiendo primero de la gama de velocidades que permita la construcción de la máquina, tipos de cojinetes que lleve, etc., o volumen de aire a tratar para el que esté diseñada en unos casos, o en otros y dentro de su gama de posibilidades del régimen de trabajo que se le solicite. La turbina está montada en el mismo eje que el compresor por lo que dará el mismo número de vueltas.

Al girar todo el conjunto, sucede que a la salida de la turbina expansora el aire ha perdido su potencia calorífica y está frío y a mucha menos presión que a la entrada de la ACM.

En este punto del sistema ya tenemos aire frío, que, sacándole la humedad corriente abajo en el separador de agua, entra en la zona de mezclado donde se le agrega el aire caliente necesario procedente de una derivación que se extrae antes del primer radiador-cambiador, formándose aire a la temperatura requerida o aire acondicionado según sean controladas las proporciones de uno o de otro.

El eje de la ACM va soportado en su estructura de varias formas, una con cojinetes de bolas lubricadas por aceite, y esto le permite girar a un número de r.p.m. que aunque alto estará limitado por los límites de giro de los cojinetes. En las ACM de última generación llevan instalados cojinetes de aire comprimido, lo que permite un giro mucho más alto de revoluciones consiguiendo aire más frío, lo que al final se traduce en una menor cantidad de aire de sangrado del motor, consiguiendo un rendimiento mayor con un consumo de combustible menor.

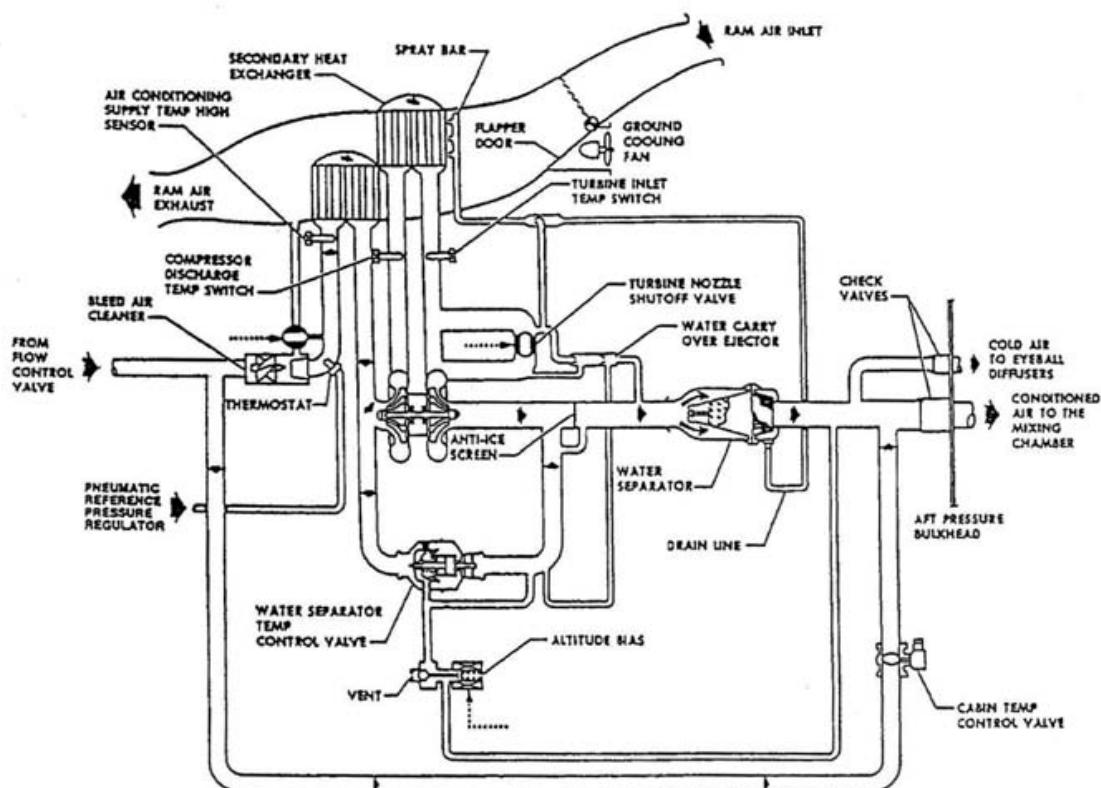


Figura – Diagrama del grupo de acondicionamiento de aire.

En el sistema de ciclo por aire juega un papel muy importante el aire del exterior o aire RAM, que canalizado y controlado en flujo pasa a través de los radiadores-cambiadores de calor, primario y secundario, enfriando el aire de sangrado que pasa por su interior.

Estos radiadores al estar situados antes y después del compresor de la ACM mantienen dentro de los límites establecidos la temperatura del aire que entra en la turbina y que se enfriará al expandirse transformando la energía calorífica del aire en movimiento mecánico, girando el eje de la turbina que a su vez mueve el compresor efectuando el ciclo completo.

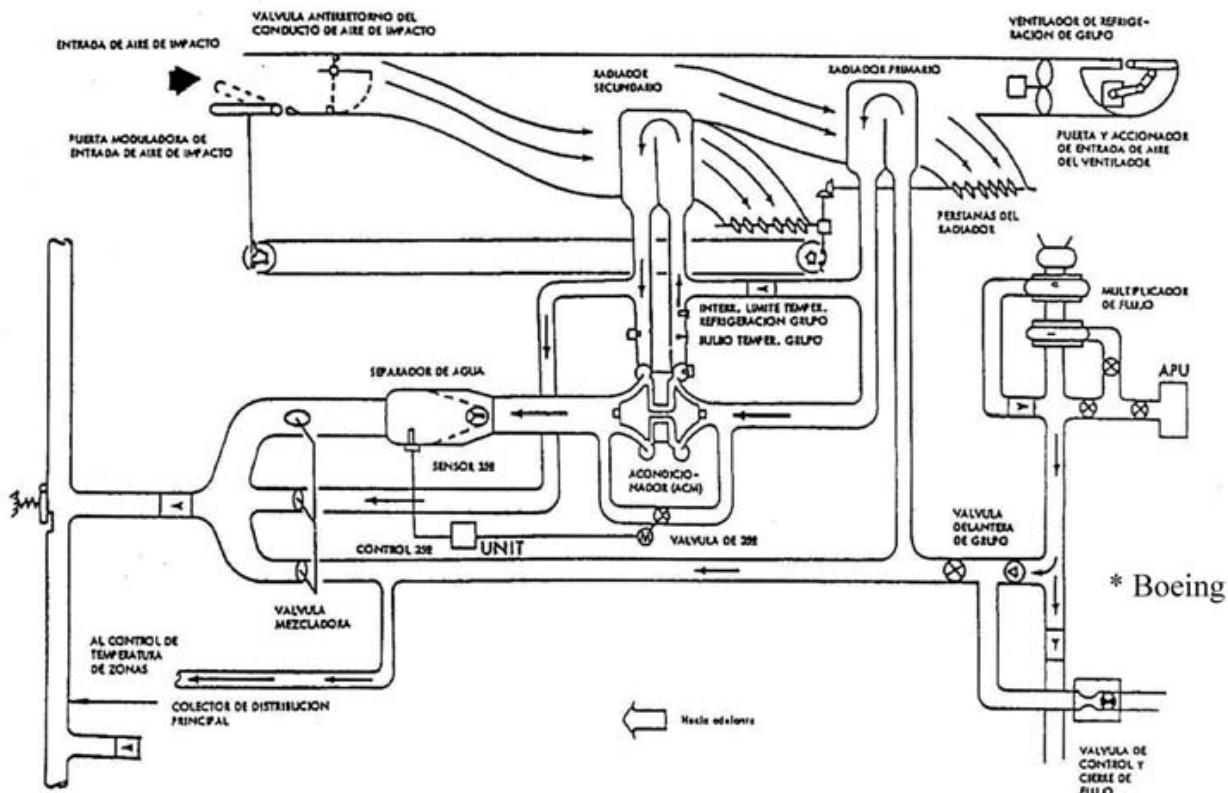


Figura – Diagrama del grupo de acondicionamiento de aire.

FUNCIONAMIENTO EN TIERRA

Al objeto de que el sistema pueda funcionar en tierra con el avión parado, comunicado con las conducciones del aire de impacto se colocan unos ventiladores muy potentes, que son los que una vez puestos en marcha, generan corriente de aire por el conducto de enfriamiento de los cambiadores, que permite que con aire procedente del sangrado del APU cuando el avión está en tierra, poder tener sus sistemas de aire acondicionado en funcionamiento y mantener la temperatura deseada en el interior de la cabina del avión, o poder presurizar el avión en tierra si es necesario.

Estos ventiladores son movidos por un motor eléctrico trifásico que obedece a una lógica de condiciones de funcionamiento como se puede apreciar en el esquema de la figura siguiente. Hay una protección contra sobrecarga eléctrica en el circuito de control mediante disyuntores. También se dispone de un relé de retardo de tiempo para evitar un ciclaje ON/OFF de los ventiladores demasiado rápido, debido a las fluctuaciones del tren de morro en los despegues y aterrizajes.

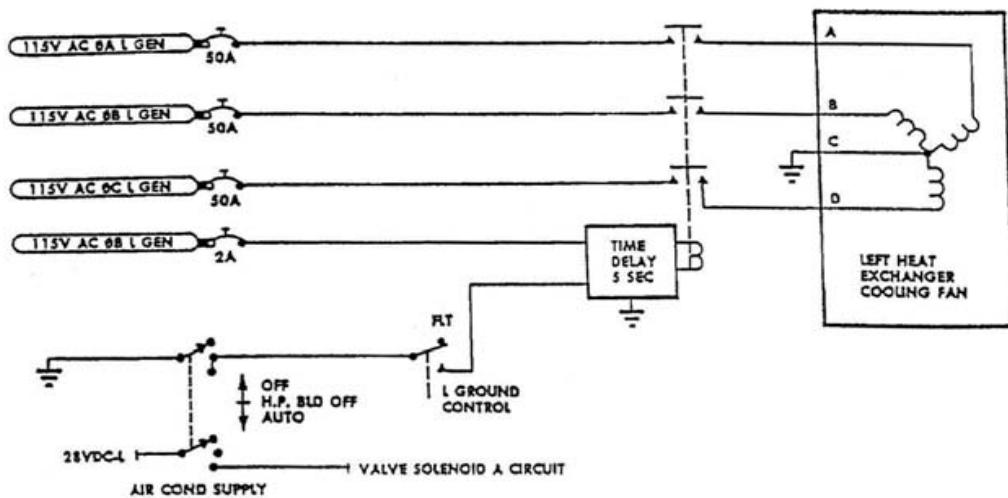


Figura – Esquema del control del ventilador de refrigeración del cambiador de calor.

SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Este sistema se compone de los elementos necesarios para dirigir y controlar los diferentes flujos de aire, los tipos de aire principales de un sistema de aire acondicionado son: el flujo de aire acondicionado, el flujo de aire frío, el de refrigeración de equipos electrónicos e instrumentos, el flujo de recirculación y el flujo de aire de impacto.

Estos flujos o tipos de aire son todos de la misma procedencia, es decir, que excepto el de aire de impacto que no se mezcla con el resto todos proceden de la fuente de alimentación que esté funcionando en el momento (sangrado de los motores, APU, o grupo externo) el aire es canalizado mediante conductos de diversos materiales y formas a lo largo de todo el avión, incluyendo las zonas presurizadas y las no presurizadas; los materiales de que se construyen estos conductos irán relacionados con la temperatura y presión que tengan que soportar, así los de sangrado del motor serán de acero y titanio, pero los de aire fresco individual serán de fibra con manguitos flexibles de caucho o siliconas.

FLUJO DE AIRE ACONDICIONADO

El aire procedente de los sistemas de acondicionamiento llega canalizado a la zona de mezclado donde se adquiere la temperatura deseada y desde donde parten los diversos conductos que llevan el aire por el techo del avión y diversas ramificaciones por detrás de los maleteros hasta las rejillas de salida a la cabina. Desde esta cámara parte un conducto más pequeño que el anterior que lleva el aire hasta la cabina de pilotos donde sale a través de los diferentes puntos, unos con control manual y otros no.

El aire que sale a lo largo de la cabina de pasajeros es dosificado por la sección de los conductos con respecto al punto de partida, lo que proporciona una salida homogénea en toda la cabina de forma que se consigue que no haya corrientes fuertes, ni puntos más fríos, con el fin de mantener una temperatura equilibrada en la cabina.

LA CÁMARA MEZCLADORA

Es el elemento donde confluyen los flujos de aire procedentes de los sistemas de extracción de la temperatura y la humedad y que una vez mezclados se distribuyen para los diferentes usos y lugares.

En la siguiente figura se puede observar un tipo, de los muchos que existen, de cámara mezcladora de un avión de dos sistemas de aire acondicionado.

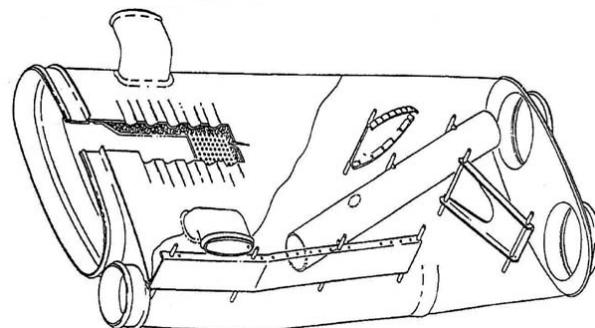


Figura – Cámara mezcladora de aire acondicionado.

En aviones que tienen la cabina de gran tamaño se llevan conductos de aire caliente para cada zona; este aire se mezcla antes de la salida con el aire que llega de la cámara mezcladora, consiguiendo con esto que se pueda tener un control de temperatura diferente para cada zona si se desea. En cuanto a los puntos de entrada y salida de aire a la cabina estarán diseñados de forma que no se produzcan corrientes de aire ni se queden zonas sin renovar el aire.

A continuación se puede observar como se distribuyen en el interior de una cabina las salidas de aire consiguiendo que no se generen corrientes y que se renueve el aire de todas las zonas.

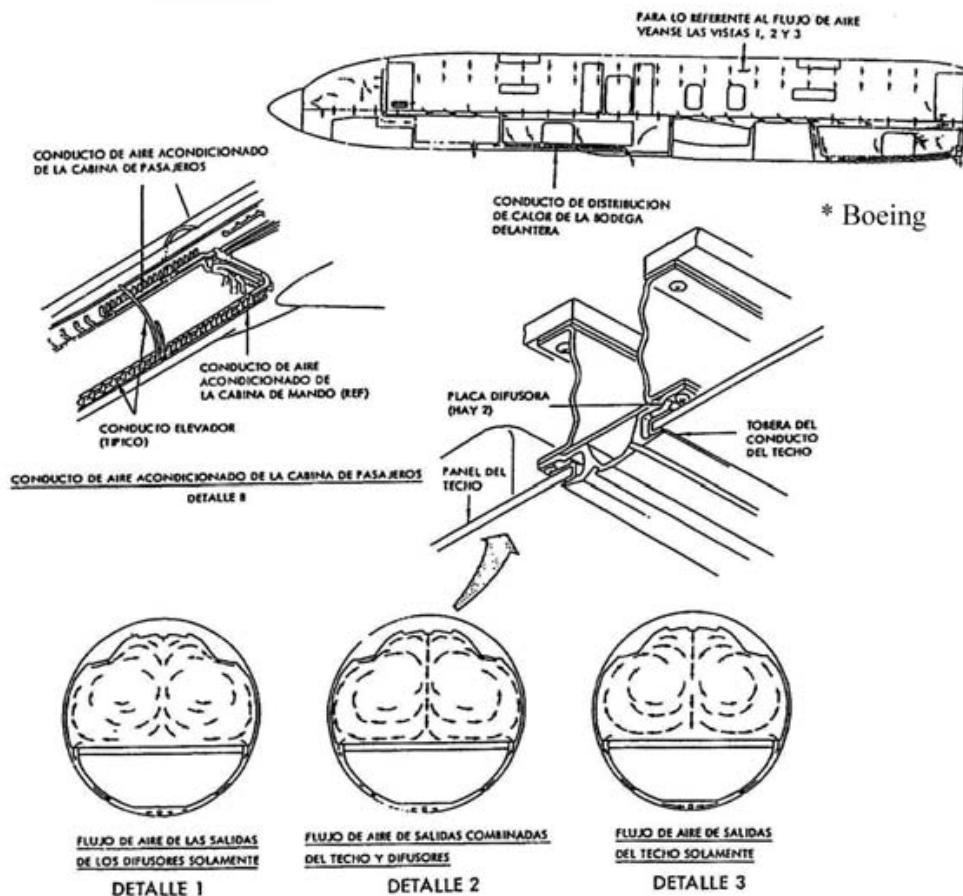


Figura – Sistema de distribución de aire acondicionado en cabina.

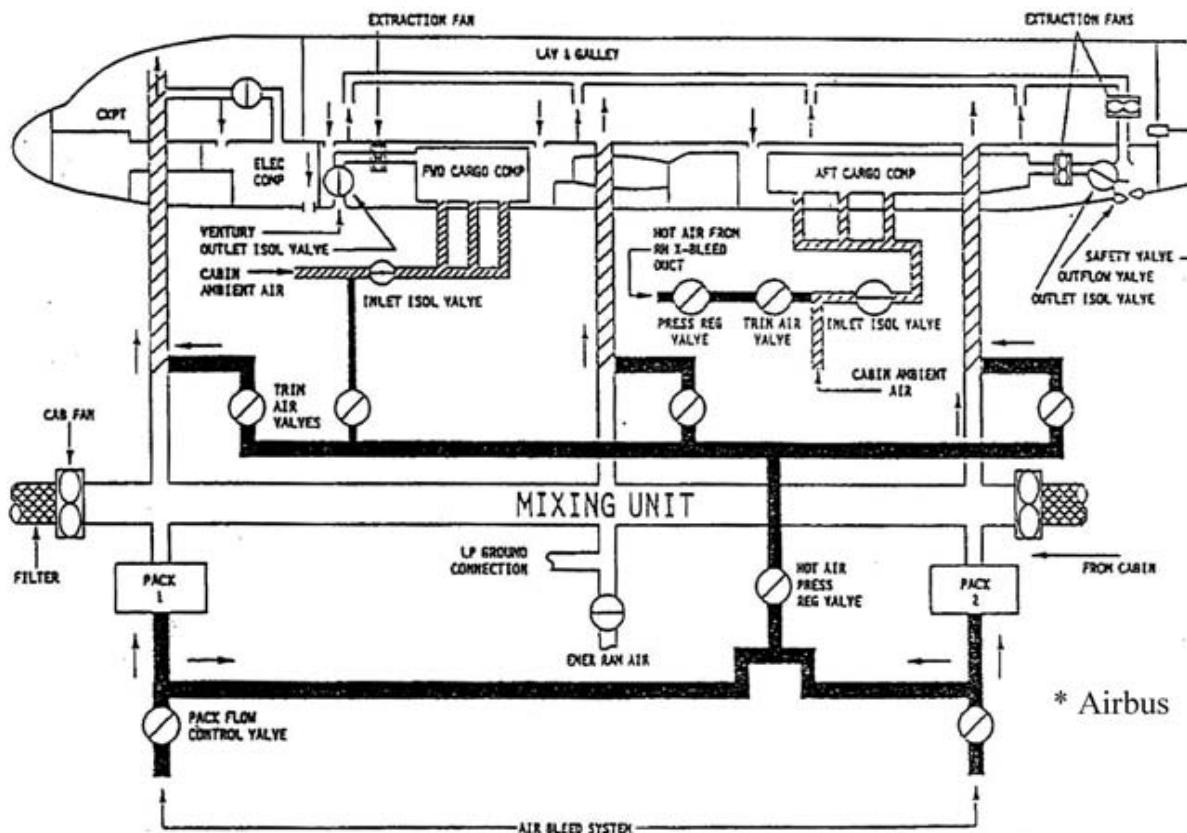


Figura – Suministro de aire a cabina de pasajeros y de mando.

En esta figura se pone de manifiesto cómo el fabricante de Airbus en la familia de los A320 distribuye el aire acondicionado por zonas dentro de la misma cabina, con lo que se pueden obtener temperaturas sensiblemente diferentes en cada zona, esté físicamente separada o no.

Para esta forma de distribución del aire es necesario poner una válvula de aire caliente para cada zona, con la que bien de forma automática o de forma manual, según sea la selección del piloto, mantenga en cada zona la temperatura seleccionada.

FLUJO DE AIRE FRÍO

Corriente abajo de los separadores de agua y antes de la cámara mezcladora salen unos conductos de aire frío que recorren la cabina por ambos laterales y por el centro (según sea el tamaño de la cabina), y desde estos tubos parten ramificaciones por filas de asientos de pasajeros y allí conectan con las tomas individuales orientables de apertura y cierre manual en cada asiento, que pueden ser regulados a voluntad por los pasajeros cuando desean aire frío.

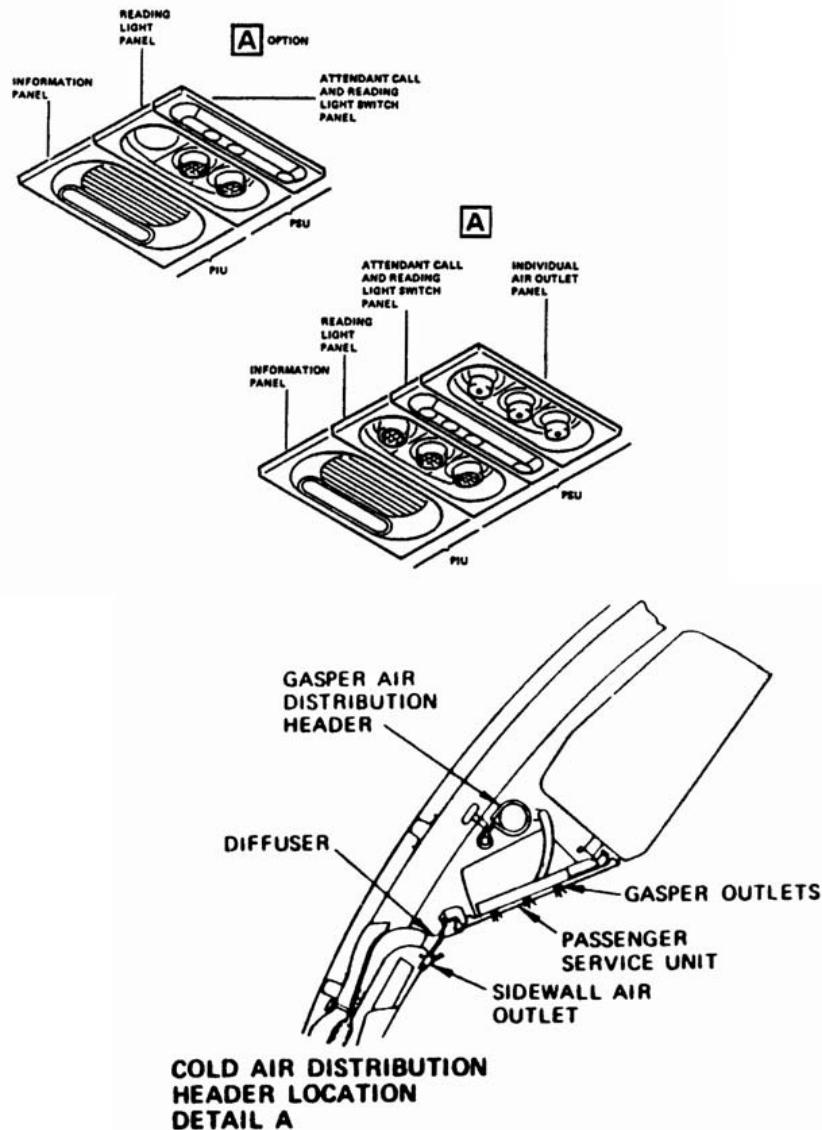


Figura – Elementos de salida y difusión de aire en la cabina de pasajeros.

En aviones de pasajeros normalmente se instala en este circuito un moto-ventilador, que cuando el avión está en tierra y mediante su correspondiente mando en la cabina, introduce en el sistema aire fresco del exterior, lo que permite que se puedan abrir los aireadores individuales cuando el sistema de aire acondicionado está parado, proporcionando así al usuario la utilización de aire fresco desde las PSU individuales de cada pasajero o tripulante. En la figura anterior se muestra la colocación de los elementos de salida de aire y difusión del mismo en la cabina.

FLUJO DE RECIRCULACIÓN

Debajo del piso de la cabina de pasajeros, entre el fuselaje, las cuadernas y las paredes de las bodegas, están situados unos túneles laterales donde hay instalados unos conductos que llevan en la entrada unos filtros y a continuación unos aspiradores que recogen el aire, y corriente abajo unos filtros más finos que lo limpian y lo envían de nuevo al sistema, bien a la cámara mezcladora, o bien a instalaciones corriente abajo de la misma.

Este aire, al ser tomado de una zona de la cabina presurizada, reduce la necesidad de masa de aire en la cabina, y por tanto los sistemas de aire acondicionado trabajarán a un nivel más bajo; al recircular parte del aire ya existente, no será necesario sangrar tanto aire de los motores, con lo que su rendimiento aumentará. En definitiva, de lo que se trata es de reducir el consumo de

combustible y aumentar así la autonomía del avión. Este sistema de recirculación puede operar tanto en vuelo como en tierra.

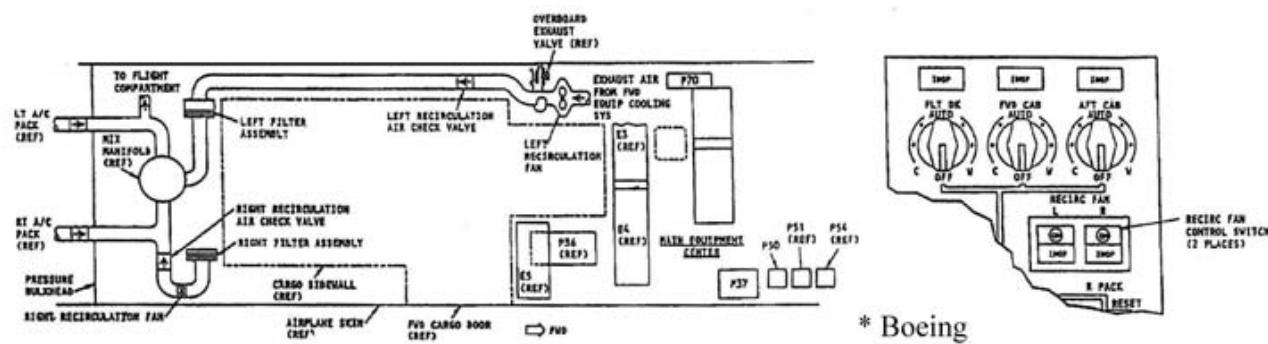


Figura – Esquema de un sistema de recirculación.

REFRIGERACIÓN DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS

(Se trata en capítulo 11.4-5)

FLUJO DE AIRE DE IMPACTO

El flujo de aire de impacto es el que entra en el sistema por una abertura al exterior de la aeronave, pasa por los radiadores cambiadores de calor y sale hacia el exterior.

Este flujo puede ser generado de dos formas, bien por la velocidad que lleva la aeronave o, si esta está parada, mediante unos ventiladores instalados a tal fin que movidos por motor eléctrico generan una corriente de aire por el circuito, lo que permite que se pueda utilizar el sistema de aire acondicionado en tierra cuando la aeronave está parada. La finalidad de este flujo no es otra que la de enfriar el aire de sangrado de los motores cuando circula a través de los cambiadores primario y secundario del sistema, como se muestra en la siguiente figura.

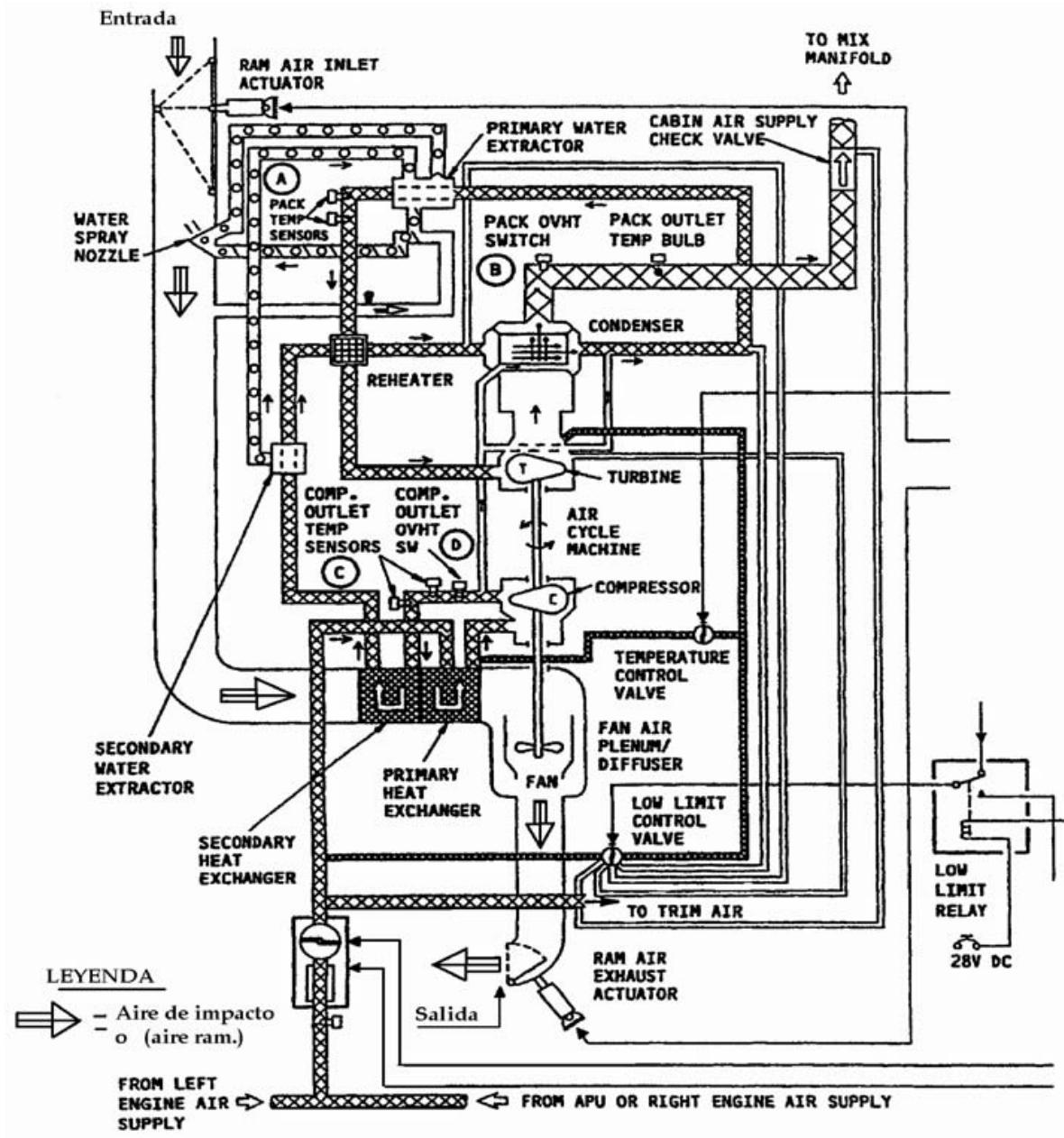


Figura – Circuito de aire de impacto (RAM).

SISTEMA DE CONTROL DE LA PRESIÓN Y DEL CAUDAL

Este control se efectúa en el sistema con el aire que llega de los motores o del APU a través del sistema neumático (ATA 36), es una parte del sistema donde mediante una o dos válvulas de control y accionamiento neumático se controla la presión y el caudal a unos valores generalmente menores que los del sistema neumático, por no ser necesario para los elementos que efectuarán el resto de las funciones, trabaja a presiones tan altas como el sistema neumático.

CONTROL DE LA PRESIÓN

El aire llega a la válvula de control de la presión a una presión y flujo regulados en el sistema neumático y pasa por una válvula reguladora de presión que controla su apertura, cierre o modulación. Esta válvula es de control y funcionamiento neumático con un solenoide que proporciona la apertura de los flujos de señal para que empiece su función, mediante la diferencia o variación de la presión, antes o después de la mariposa de cierre de la válvula.

En la siguiente figura se muestra un esquema conjunto de las dos válvulas.

La válvula reguladora de presión funciona del modo siguiente: el aire procedente del sistema neumático, controlado a través del solenoide D; energizado éste cuando está el interruptor SUPPLY en posición OFF, el aire a presión va a la cámara de cierre del actuador. Cuando el interruptor está en cualquier otra posición, el solenoide D está desenergizado y el aire a presión apoya la acción del muelle en la cámara de apertura del actuador. Hay una señal de presión corriente abajo del actuador que se comunica con la cámara de cierre.

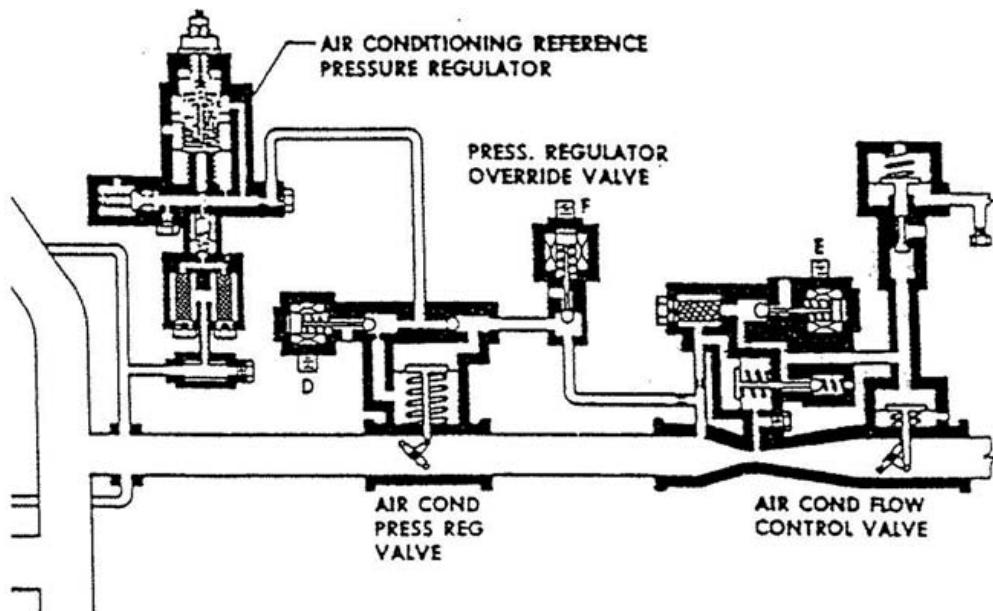


Figura – Válvulas de regulación y de control de flujo.

Hay una válvula de anulación de regulación de presión, cuyo modo de actuar se explica a continuación: controlada a través del solenoide F, de la figura anterior, su misión es mantener la válvula reguladora de presión totalmente abierta siempre que se den las condiciones siguientes:

- El APU sea la fuente de alimentación de aire y el avión esté en tierra.
- El interruptor del aire de sangrado del APU esté en posición ON.
- Ambas palancas de gases de los motores estén en posición IDLE.

Para ello, el solenoide F bloquea la línea de señal de presión, tomada corriente abajo, a la cámara de cierre del actuador de la válvula reguladora y ventila esta cámara a ambiente.

CONTROL DEL FLUJO

También existe a continuación y corriente abajo, una válvula de control de flujo, como se puede observar en la figura anterior, está controlada por el solenoide E, éste está energizado cuando el interruptor SUPPLY está en posición OFF. En esta circunstancia se bloquea la presión de actuación y ventila la cámara de apertura del actuador.

Tiene un dispositivo de sensación de flujo sometido a las presiones de aire de entrada y de venturi de la válvula para regular el flujo de aire.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura – Principio de la operación del ventilador.....	9
Figura – Ventilador.....	9
Figura – Diagrama del sistema de acondicionamiento de aire.....	10
Figura – Diagrama sinóptico del ATA 21.....	11
Figura – Equipo de aire acondicionado para servicio en tierra.....	11
Figura – Sistemas de aire acondicionado.....	12
Figura – Calentamiento de aire por combustible.....	13
Figura – Sistema completo de neumático y aire acondicionado de un avión de tres motores y APU.	
.....	14
Figura – Sistemas de cicle de aire y de vapor.....	15
Figura – Esquema del acondicionador (ACM).....	16
Figura – Diagrama del grupo de acondicionamiento de aire.....	17
Figura – Diagrama del grupo de acondicionamiento de aire.....	18
Figura – Esquema del control del ventilador de refrigeración del cambiador de calor.....	19
Figura – Cámara mezcladora de aire acondicionado.....	20
Figura – Sistema de distribución de aire acondicionado en cabina.....	20
Figura – Suministro de aire a cabina de pasajeros y de mando.....	21
Figura – Elementos de salida y difusión de aire en la cabina de pasajeros.....	22
Figura – Esquema de un sistema de recirculación.....	23
Figura – Circuito de aire de impacto (RAM).....	24
Figura – Válvulas de regulación y de control de flujo.....	25
Figura – Esquema de una válvula de control de flujo.....	27
Figura – Válvula de control de flujo de nueva generación.....	28
Figura – Limpiador de aire centrífugo.....	29
Figura – Separador de agua.....	29
Figura – Extractor de agua.....	30
Figura – Sistema conductor de agua de doble eyector.....	31
Figura – Válvula de control de temperatura.....	31
Figura – Operación de control de temperatura.....	32
Figura – Selector de indicación de temperatura.....	33
Figura – Control de temperatura de zona.....	33
Figura – Indicación en el ECAM–Página “COND”	34

Figura – Diagrama sinóptico del sistema de control de presionización.....	37
Figura – Auto mode flight profile.....	38
Figura – Esquema de control de presionización.....	38
Figura – Indicación analógica del control de la presurización.....	39
Figura – Sistemas de control de presurización de cabina.....	40
Figura – Esquema del sistema de presurización.....	41
Figura – Señales de interconexión del computador de presurización.....	42
Figura – Diagrama lógico de operación del sistema.....	44
Figura.- Operación manual.....	45
Figura – Sistema de control de presión en cabina.....	46
Figura – Diagrama simplificado del control de presión de cabina.....	47
Figura – Panel de control de presión.....	48
Figura – Indicación en el ECAM–Página “CABIN PRESS”.....	50
Figura – Avisos del sistema y fases de inhibición.....	50
Figura – Mandos de control.....	52
Figura – Mando manual válvula OUT-FLOW.....	52
Figura – Válvula de descarga.....	53
Figura – Control de válvula de descarga.....	54
Figura – Esquema de la válvula de seguridad (Alivio presión cabina).....	55
Figura – Válvula de seguridad de presión de cabina.....	55
Figura – Regulador de presión en cabina.....	56
Figura – Sistema de presurización.....	57
Figura – Perfil de vuelo en automático.....	58
Figura – Protección del sistema de aire acondicionado.....	59
Figura – Ventilador de refrigeración.....	60
Figura – Sobretemperatura en los conductos.....	61
Figura – Conducto de calefacción de la bodega y refrigeración del bastidor de radio.....	62
Figura – Refrigeración de bastidores.....	63
Figura – Esquema sistema de refrigeración.....	64
Figura – Ventilación de aviónica.....	66
Figura – Interconexiones del computador de ventilación.....	67
Figura – Refrigeración de equipos mixto.....	68
Figura – Enderezador de flujo del conducto de descarga del compresor de refrigeración de equipos.	
.....	69

Figura – Sistema de calefacción de bodega por aire.....	71
Figura – Sistema de calefacción de bodegas eléctrico.....	72
Figura – Indicadores de vuelo.....	76
Figura – Circuito de instrumentos por vacío.....	77
Figura – Brújula magnética.....	77
Figura – Instrumentos de transmisión por cable eléctrico.....	78
Figura – Partes de la indicación.....	78
Figura – Partes internas de los mecanismos de indicación.....	79
Figura – Interior de un instrumento.....	80
Figura – Presentación cuantitativa.....	80
Figura – Presentaciones de escalas circulares sencillas y dobles.....	81
Figura – Representación cualitativa de unos mandos de vuelo.....	82
Figura – Presentación directoria en instrumento convencional.....	83
Figura – Presentaciones directorias sobre pantalla de LCD.....	83
Figura – Representación del sistema VAM.....	84
Figura – Paneles de instrumentos Fokker F-50.....	85
Figura – Panel instrumentos de cabina avión Pipper.....	87
Figura – Panel de instrumentos (McDouglas).....	88
Figura – Indicador de posición magnético.....	88
Figura – Líneas de flujo en un panel.....	89
Figura – Iluminación tipo cuña.....	90
Figura – Esquema de instrumentos.....	91
Figura – Sistemas de instrumentos neumáticos.....	92
Figura – Tubo pitot mixto.....	93
Figura – Tomas de presión por pitot.....	93
Figura – Esquema de calefacción de pitot.....	94
Figura – Tuberías alternativas pitot.....	96
Figura – Válvulas de drenaje de tuberías.....	96
Figura – Estructura de la atmósfera.....	97
Figura – Altímetro barométrico.....	99
Figura – Indicadores de presión barométrica dentro de altímetros.....	99
Figura – Funciones de los altímetros.....	100
Figura – Esquema de un servo-altímetro.....	103
Figura – Selector de modificación.....	103

Figura – Sistema de aviso de altitud.....	104
Figura – Anemómetro.....	105
Figura – Esquema de un anemómetro.....	105
Figura – Arcos.....	107
Figura – Mecanismo de un variómetro.....	108
Figura – Variómetro.....	108
Figura – Funcionamiento de la cápsula anenoide.....	109
Figura – Indicaciones del variómetro.....	109
Figura – Esquema de un estatóscopo.....	110
Figura – Indicador de número de mach y velocidad con respecto al aire.....	111
Figura – Computador de datos de aire.....	112
Figura – CADC.....	113
Figura – La Peonza.....	114
Figura – Principio de giróscopo.....	114
Figura – Grados de libertad de giro.....	115
Figura – Masa de un giróscopo neumático.....	115
Figura – Giróscopo de tres ejes.....	116
Figura – Comportamiento de un perfecto giro.....	117
Figura – Actuación de un giróscopo libre.....	119
Figura – Giróscopo para navegación inercial.....	120
Figura – Interior de un giróscopo láser.....	120
Figura – Indicador de actitud ADI.....	122
Figura – Alimentación eléctrica a un giróscopo de emergencia.....	123
Figura – Horizonte de emergencia.....	124
Figura – Horizonte de giróscopo neumático elemental.....	125
Figura – Barras del director de vuelo.....	126
Figura – Giróscopos de los indicadores de actitud vertical y horizontal.....	127
Figura – Indicador de virajes por vacío.....	128
Figura – Varias posiciones de virajes.....	129
Figura – Coordinador de giro.....	130
Figura – Brújula magnética.....	131
Figura – Situación de la brújula de bitácora.....	132
Figura – Líneas de flujo magnético.....	133
Figura – Válvula de flujo magnético.....	133

Figura – Situación de la válvula de flujo magnético.....	134
Figura – Efectos del magnetismo terrestre en la válvula.....	134
Figura – Selector de increase/decrease.....	135
Figura – Brújula con válvula flux y giróscopo.....	136
Figura – Información integrada de varios instrumentos.....	137
Figura – Aletas de vibración.....	138
Figura – Columna de mando.....	138
Figura – Ángulos de ataque.....	139
Figura – Pulsadores de test de Stall.....	140
Figura – Computador de Stall.....	140
Figura – Ubicación de equipos y componentes de sistema Stall.....	141
Figura – Esquema de un tubo con un solo cañón electrónico.....	142
Figura – Situación de los tres cañones electrónicos.....	142
Figura – Sección de una pantalla de color.....	143
Figura – ADI / PFD.....	143
Figura – HSI / ND.....	143
Figura – Reparto del espacio en las pantallas del sistema ECAM.....	145
Figura – Distribución de pantallas de un sistema EICAS y EFIS en un panel frontal de cabina de mandos.....	146
Figura – Indicador ADI.....	148
Figura – Instrumento y esquema accionado por señales de servos.....	149
Figura – Reloj electrónico.....	150
Figura – Esquema completo de reloj MD-87.....	150
Figura – Sensor de temperatura de un F-50.....	151
Figura – Sensor de temperatura estándar.....	151
Figura – Indicador digital.....	152
Figura – Interior de una sonda de temperatura exterior.....	152
Figura – Esquema completo de una sonda de TAT.....	152
Figura – Tacómetro centrífugo.....	154
Figura – Tacómetro de fricción.....	154
Figura – Tacómetro de viscosidad.....	155
Figura – Tacómetro magnético.....	156
Figura – Tacómetro eléctrico.....	157
Figura – Tacómetro magnético.....	158

Figura – Tacómetro electromagnético.....	158
Figura – Tacómetro electrónico.....	160
Figura – Posición nivelado.....	163
Figura – Posición nivelado subiendo.....	163
Figura – Posición de giro a la derecha.....	164
Figura – Superficies sobre las que actúa el piloto automático.....	165
Figura – Componentes de un sistema de piloto automático.....	166
Figura – Componentes de un sistema de piloto automático de un A-320.....	167
Figura – Ejes de un B-727.....	167
Figura – Esquema de los componentes del piloto automático de un CRJ-600.....	168
Figura – Esquema funcional de DFGS.....	169
Figura – Sensores de transmisión de posición de mandos de vuelo.....	171
Figura – Instalación de un sensor de posición.....	171
Figura – Indicador de posición de mandos primarios.....	172
Figura – Indicador de posición de mandos primarios.....	172
Figura – Circuitos de enganche de un piloto automático.....	173
Figura – Luces de aviso de desconexión del piloto automático por fallos en el sistema.....	174
Figura – Botón de desconexión en el volante de alabeo.....	174
Figura – Botón de desconexión en side stick.....	174
Figura – Servoactuador de alabeo de dos motores.....	175
Figura – Servoactuador lineal hidráulico.....	176
Figura – Situación paneles de control del piloto automático de un Fokker F-50.....	177
Figura – Panel de control de piloto automático de un MD.....	178
Figura – Panel de control de piloto automático de un Bombardier CRJ-400.....	179
Figura – Panel de control de piloto automático de un MD-87.....	179
Figura – Panel de control de piloto automático de un A-320.....	179
Figura – Computadores de un sistema de piloto automático.....	180
Figura – Página de mantenimiento de un sistema EICAS.....	180
Figura – Frontal del computador de A/P de un sistema EICAS.....	181
Figura – Esquema de un canal de dirección de un piloto automático de un MD-87.....	182
Figura – Dibujo representativo del balanceo del holandés (DUTCH).....	182
Figura – Botones del YAW DAMPER.....	183
Figura – Actuador eléctrico de un YAW DAMPER.....	184
Figura – Componentes del sistema de piloto automático de un B-727.....	185

Figura – Servoactuador electrohidráulico lineal de YAW DAMPER.....	186
Figura – Acelerómetro de tres ejes.....	187
Figura – Servoactuador lineal de YAW DAMPER.....	187
Figura – Esquema de un sistema de piloto automático de un MD-87.....	188
Figura – Actuadores lineales electrohidráulicos de un canal de profundidad.....	192
Figura – Panel de control.....	192
Figura – Componentes del estabilizador horizontal de un CRJ-400.....	194
Figura – Mecanismos de actuación del estabilizador horizontal.....	194
Figura – Componentes de un sistema de control por el piloto automático del estabilizador horizontal.....	195
Figura – Esquema de actuación del estabilizador horizontal por medio del motor alternativo del piloto automático.....	196
Figura – Actuador eléctrico del compensador del número de mach.....	198
Figura – Componentes de un sistema de gases automáticos con tres motores.....	199
Figura – Componentes del sistema.....	200
Figura – Panel de control.....	200
Figura – Panel con FMA incorporado en el PFD.....	201
Figura – Botones de desconexión de gases automáticos.....	202
Figura – Esquema del sistema.....	202
Figura – Onda.....	203
Figura – Onda electromagnética.....	205
Figura – Cuadro sinóptico de un transmisor simple.....	205
Figura – Tipos de modulación.....	207
Figura – Espectro de modulación SSB.....	208
Figura – Elementos de un receptor.....	208
Figura – Situación del silenciador (SQELCH) en un circuito.....	209
Figura – Cuadro sinóptico de sistemas de comunicaciones.....	211
Figura – Esquema completo de un sistema de comunicaciones.....	211
Figura – Ubicaciones de las antenas de comunicaciones.....	212
Figura – Esquema de un sistema de comunicación de HF.....	213
Figura – Esquema del HF de un MD-87.....	213
Figura – Localización de los componentes de la antena de HF.....	214
Figura – Transceptor de HF.....	214
Figura – Panel selector de frecuencias de HF.....	215

Figura – Esquema del sistema de comunicaciones HF del A-340.....	215
Figura – Comunicaciones VHF.....	216
Figura – Antena clásica de VHF.....	216
Figura – Paneles selectores de frecuencias de VHF.....	217
Figura – Panel selector de frecuencias de un avión Bombardier.....	217
Figura – Transceptor de VHF de comunicaciones.....	218
Figura – Diagrama bloque del transceptor de VHF.....	218
Figura – Esquema de un sistema ACARS.....	219
Figura – Arquitectura y elementos de un sistema ACARS.....	220
Figura – Impresora del sistema ACARS.....	220
Figura – Decodificador SELCAL.....	221
Figura – Esquema de un sistema SELCAL.....	222
Figura – Diagrama bloque del sistema SELCAL.....	222
Figura – Panel típico de avisos SELCAL.....	223
Figura – Sistema de comunicaciones MCS SATCOM.....	224
Figura – Sistema interfónico.....	225
Figura – Componentes del sistema interfónico.....	226
Figura – Panel de control de audio de un Airbus y de un McDouglas.....	226
Figura – Panel de control de audio.....	227
Figura – Diagrama de los sistemas que conforman el AMU.....	228
Figura – Panel de aviso de llamadas a cabina.....	228
Figura – Panel de llamada desde tierra (izquierda) y desde cabina (derecha).....	229
Figura – Esquema del sistema interfónico de un B-757.....	229
Figura – Situación de las tomas interfónicas en un MD-87.....	230
Figura – Registrador de voz.....	231
Figura – Registrador de voz de un A-320.....	231
Figura – Esquema del ELT.....	232
Figura – Diferentes tipos de antenas para una ELT.....	232
Figura – Componentes de un sistema ELT fijo.....	233
Figura – Montaje a borde de la radiobaliza.....	235
Figura – Conexiones de la radiobaliza a la ELT.....	235
Figura – Radiobaliza portátil.....	236
Figura – Segundo sistema de ELT.....	236
Figura – Megáfono.....	237

Figura – Panel de aviso.....	237
Figura – Diferentes tipos de microteléfonos.....	238
Figura – Esquema de un sistema de comunicaciones en cabina.....	239
Figura – Reproductor de música ambiental.....	239
Figura – Paneles de selección de música ambienta y avisos.....	240
Figura – Reproductor de música de audición individual.....	241
Figura – Unidad de butaca SEB.....	241
Figura – Esquema de un sistema multiplexer.....	242
Figura – Sistema CIDS.....	242
Figura – Unidad de selección de canales desde el brazo de butaca de pasajero.....	243
Figura – Esquema de un sistema de entretenimiento para pasajeros.....	243
Figura – Diagrama de un sistema de entretenimiento para pasajeros.....	244
Figura – Panel de control de vídeo.....	244
Figura – Componentes del sistema y programación de zonas.....	245
Figura – Esquema general de componentes del sistema de audio y vídeo.....	245
Figura – Esquema del sistema de vídeo.....	246
Figura – Esquema del sistema de comunicaciones aire-tierra para pasajeros.....	247
Figura – Sistema de comunicaciones aire-tierra para pasajeros.....	248
Figura – Situación de descargadores eléctricos.....	249
Figura – Descargadores estáticos.....	249
Figura – Esquema de una prueba.....	250
Figura – Diferentes tipos de descargadores estáticos.....	250
Figura – Fases en las que se divide un vuelo.....	252
Figura – Barras del director de vuelo.....	253
Figura – Barras de mando.....	253
Figura – Alimentaciones eléctricas e instrumentos de un director de vuelo.....	254
Figura – Componentes de un sistema director de vuelo.....	255
Figura – Panel FMA.....	256
Figura – Panel de control de F/D.....	257
Figura – Panel de control de un director de vuelo.....	257
Figura – Indicador de situación horizontal.....	258
Figura – Esquema de circuitos de un F/D de un MD-87.....	259
Figura – Polarización horizontal.....	260
Figura – Esquema de un sistema VOR.....	260

Figura – Radiación de una estación VOR.....	261
Figura – Esquema de recepción en el avión.....	262
Figura – Indicador RMI o RDMI.....	262
Figura – Indicador de situación horizontal.....	263
Figura – Indicaciones de navegación VOR.....	264
Figura – Sistema de VOR.....	265
Figura – Sistema ILS.....	266
Figura – Cobertura del haz del localizador.....	267
Figura – Funcionamiento del localizador.....	268
Figura – Antena de localizador.....	268
Figura – Tabla de correspondencias.....	269
Figura – Antena de Glide Slope y localizador.....	269
Figura – Funcionamiento e indicación de Glide Slope.....	269
Figura – Navegación con ADF.....	270
Figura – Diagrama de recepción resultante con antena de cuadro y sentido.....	271
Figura – Indicación y control de un sistema de ADF.....	272
Figura – Panel de control de ADF.....	272
Figura – Equipo medidor de distancias (DME).....	273
Figura – Esquema de un equipo medidor de distancias.....	274
Figura – Esquema de un sistema de aeronaves de nueva generación.....	275
Figura – Presentación de datos DME.....	275
Figura – Sistema de ATC.....	276
Figura – Respuesta codificada del transponder (ATC).....	277
Figura – Antena de ATC.....	278
Figura – Señales de interrogación.....	278
Figura – Panel de control del transpondedor.....	280
Figura – Pantalla de RADAR de un puesto de controlador.....	281
Figura – Prueba operativa del ATC.....	282
Figura – Rango de actuación de las radiobalizas.....	284
Figura – Antena de radiobaliza.....	284
Figura – Antena de radiobaliza.....	285
Figura – Sistema de radioaltímetro.....	286
Figura – Modo 1.....	287
Figura – Módulo 2-A.....	288

Figura – Módulo 2-B.....	288
Figura – Modo 3.....	289
Figura – Modo 4.....	290
Figura – Modo 5.....	291
Figura – Modo 6.....	292
Figura – Modo 7.....	293
Figura – Paneles frontales de calculadores de datos de aire.....	294
Figura – Esquema del sistema de datos de aire.....	295
Figura – Indicador de velocidad.....	295
Figura – Indicación de velocidad de aire.....	296
Figura – Panel selector de altitud.....	297
Figura – Trayectoria ortodrómica con navegación inercial.....	299
Figura – Esquema de un sistema de navegación inercial.....	299
Figura – Panel selector de modos del sistema de referencia inercial.....	300
Figura – Cobertura de la tierra.....	301
Figura – Estaciones de monitoreo y control de satélites.....	301
Figura – Proceso de cálculo de la posición.....	302
Figura – Interrelación del sistema GPS con otros sistemas de la aeronave.....	303
Figura – Indicación y control de los sistemas de navegación.....	303
Figura – Radares de control.....	304
Figura – Conjunto de elementos de un sistema de RADAR.....	305
Figura – Panel de control de RADAR.....	306
Figura – Información de RADAR en pantallas de navegación.....	307
Figura – Grabadora de datos de vuelo.....	308
Figura – Panel de control del sistema de grabación.....	308
Figura – Conjunto grabador de datos de vuelo de generación actual.....	309
Figura – Sistema de un recordador de voces en cabina de mandos.....	310

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 ÁLVAREZ, 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