

Fig. 38.16 Página de datos en pantalla de condiciones de suministro de aire de los "Packs".

La simbología, visto de abajo arriba, muestra la información siguiente: posición de las válvulas de control de flujo de los "Packs", en este caso abiertas las dos (en línea). Posición LO o HI de caudal de aire (bajo y alto, respectivamente), y la temperatura del aire a la salida del compresor de la máquina de aire acondicionado, en este caso 200 °C. La máquina que utiliza este avión es por tanto de tres ruedas. Más arriba se encuentra la simbología correspondiente a la posición de la válvula de derivación de la turbina de refrigeración (VDT). La marcación en C (COLD) supone, como sabemos, que la VDT está cerrada. Se muestra también la temperatura del aire a la salida de la máquina, en este caso 125 °C en las dos. En fin, la válvula de aire de impacto (RAM AIR) está cerrada, fuera de línea.

La Fig. 38.17 muestra la página de datos de aire acondicionado de cabina, para un avión bimotor de gran alcance.

3. PRESURIZACIÓN DE CABINA (REGULADOR ANALÓGICO)

8.1 La presurización de la cabina¹ se consigue introduciendo aire a presión en la misma, procedente del sistema de sangrado del motor. A la vez, hay que regular la descarga de aire de la cabina a través de una o dos válvulas de descarga de aire (*outflow valves*).

En la actualidad hay aviones con sistemas de presurización de tipo convencional, con reguladores analógicos, y otros más avanzados y automatizados controlados con sistemas digitales.

Estudiaremos ambos sistemas en este capítulo.

8.2 El sistema básico de presurización con regulador analógico consta de uno o más reguladores de presión, válvulas de alivio de presión negativa (*negative relief valves*), una o dos válvulas de seguridad (*cabin pressure relief valves* o *safety val-*

¹ Los requisitos de presurización de cabina se estudian en el Capítulo 36, apartado 5.2, a propósito del mismo tema aplicado a los aviones con motores de émbolo.

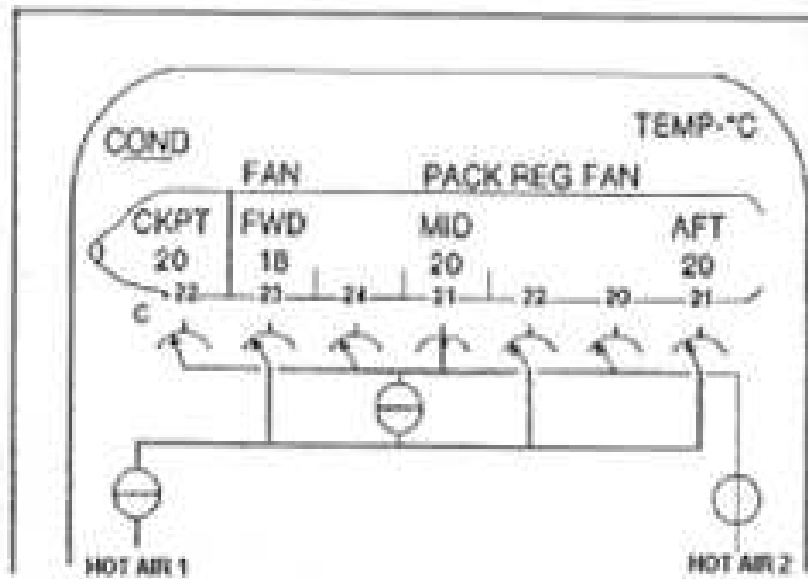


Fig. 38.17 Página de datos del estado de acondicionamiento de aire de la cabina para un avión de gran alcance.

En la esquina superior derecha se muestra la unidad de medida de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$ o $^{\circ}\text{F}$), en este caso en grados centígrados. Se observa la leyenda PACK REG en la línea de avisos. PACK REG indica avería en el regulador de zona. También hay indicación de avería en los ventiladores (FAN) de zona correspondiente. Note, pues, que la condición normal de funcionamiento se caracteriza por la ausencia de indicación en la línea superior de la pantalla. La temperatura del aire en las zonas son: 20°C en cabina de vuelo, 18°C en cabina de pasajeros, anterior, central y posterior. La temperatura del aire en cada uno de los conductos de suministro es más detallada, como indica la simbología situada más abajo. Finalmente, como se muestra la posición de las válvulas moduladoras de flujo.

ves), bocina de alarma de altitud de cabina y los correspondientes paneles de mando selectores.

La Fig. 38.18 muestra la arquitectura del sistema.

Regulador de presión

8.3 La función del regulador de presión de cabina es mantener la altitud de cabina seleccionada. Es una función idéntica a la ya estudiada en los aviones con motor de émbolo

En el Capítulo 36 vimos este tema (apartado 5.5 y siguientes).

En funcionamiento, el regulador de presión compara las señales eléctricas de posición del selector de cabina con la presión real de la misma. Si hay diferencia entre las señales eléctricas que se comparan se procede a discriminar la fase de la señal error, y se actúa sobre las válvulas de descarga de aire en un sentido u otro, apertura o cierre según la fase de la señal de error recibida.

En grandes aviones comerciales puede haber hasta cinco modos posibles de selección en el regulador: modo automático, hay tres modos manuales y un quinto de comprobación del sistema.

Válvulas sónicas

1.3a Las válvulas sónicas se suelen instalar en las zonas de lavabos y cocinas. En realidad son orificios tipo venturi, que están por un lado ventilados a la presión exterior atmosférica y por otro a la presión de cabina.

Las válvulas sónicas están sometidas, por consiguiente, a la presión diferencial de cabina.

Los estrechos orificios (venturi) de las válvulas sónicas se bloquean aerodinámicamente nada más establecerse una pequeña o mediana presión diferencial en cabina. La expresión bloqueo aerodinámico significa que en la garganta o cuello del venturi el aire alcanza Mach 1 (condición de bloqueo aerodinámico de cualquier tubería con garganta). En estas condiciones, el gasto másico de aire en el orificio permanece constante en tanto que no se modifiquen las condiciones termodinámicas del aire aguas arriba del venturi. Aunque estas condiciones varían al hacerlo la presión diferencial de cabina, lo cierto es que las válvulas sónicas permiten un flujo muy controlado de aire al exterior, buena ventilación de las zonas donde están instaladas, mientras que su influencia en la presión diferencial de cabina es despreciable.

Válvulas de descarga de aire ("Outflow valves")

1.4 Controlan la presión en la cabina, mediante la regulación de la cantidad de aire que es expulsada a la atmósfera.

La válvula (o válvulas, según los casos) mantiene una presión diferencial muy baja de la cabina con el exterior cuando están completamente abiertas.

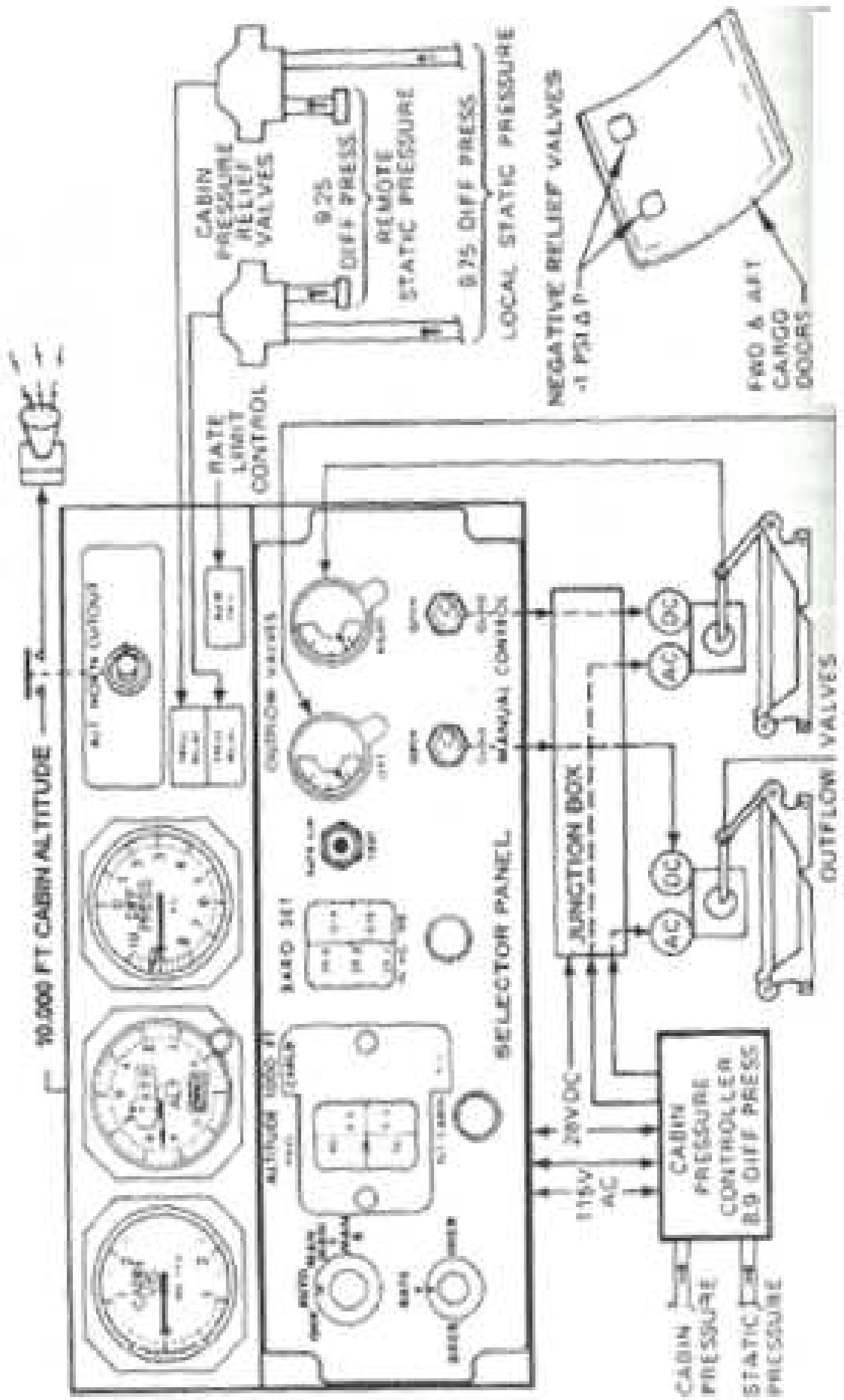
El movimiento de la válvula se efectúa al menos con dos motores eléctricos independientes, para mayor seguridad. Uno de ellos (de corriente alterna) actúa con el selector en la posición de automático, y el otro (impulsado por motor de corriente continua) en las distintas posiciones manuales del selector.

La posición de la válvula de descarga de aire determina la altitud de presión de cabina.

Válvulas de seguridad de cabina ("Safety valves")

1.5 Las válvulas de seguridad de presión diferencial de cabina tienen la función de limitar la presión diferencial (cabina-exterior) de acuerdo con las condiciones estructurales y de certificación del avión.

Las válvulas son autónomas, en el sentido de que es la propia presión diferencial la que actúa como elemento motriz de sus componentes. Cada válvula puede tener uno o dos controles isobáricos independientes. Valores normales de estos ajustes son 9,25 psi (0,65 kg/cm²) y 9,75 psi (0,68 kg/cm²).



Para mayor seguridad, las líneas de ventilación de los controles isobáricos son distintas, una de ellas conduce directamente al revestimiento exterior del avión, usualmente el de mayor presión diferencial.

La válvula consta de mecanismo de control isobárico, válvula de aguja y membrana de cierre. Cuando se sobrepasa el valor de ajuste del control isobárico la válvula de aguja, unida a dicho control, separa la membrana de su asiento de cierre y permite la descarga de aire de la cabina. La indicación de la operación correcta de estas válvulas se efectúa mediante luces indicadoras de cabina o símbolos en pantalla digital.

Válvula de alivio de presión negativa ("Negative relief valve")

3.6 Normalmente es parte de la válvula de seguridad de presión diferencial de cabina. Tiene para este fin un ajuste especial de alivio de presión en el lado negativo. El ajuste de presión exterior-interior de cabina se produce si $\Delta p < -1$ psi.

Modos automático y manual del sistema de presurización

3.7 Estudiaremos el modo automático (AUTO) de presurización tomando como ejemplo el supuesto de un avión comercial de gran alcance.

Control de presión de cabina en modo AUTO

3.8 La Fig. 38.19 muestra el perfil típico de operación de vuelo con el control de presión de cabina en la posición AUTO.

La figura muestra la línea de altitud de presión del avión y, más abajo, la correspondiente a la altitud de cabina.

La escala horizontal del gráfico está dividida por las diversas acciones que induce la tripulación de vuelo en distintas fases de operación.

a) En tierra

Las válvulas de descarga de aire están abiertas con el avión en tierra. El término "abiertas" quiere decir que su posición de apertura es amplia, digamos mayor del 80 por ciento. Observe en el gráfico que puede existir una diferencia de unos 70 pies entre la altitud de cabina y la del avión, cuando se cierran puertas y el sistema de acondicionamiento de aire está en funcionamiento.

b) Despegue y ascenso

Cuando las ruedas del tren de aterrizaje dejan la superficie de la pista se pone a masa el circuito del regulador de presión, a través de los microinterruptores de cambio de modo tierra-aire del tren (ver Capítulo 33). Se cierra, pues, el circuito eléctrico del regulador de presión al detectar que no hay peso en el amortiguador de la pata principal.

A partir de este momento es posible la presurización de la cabina.

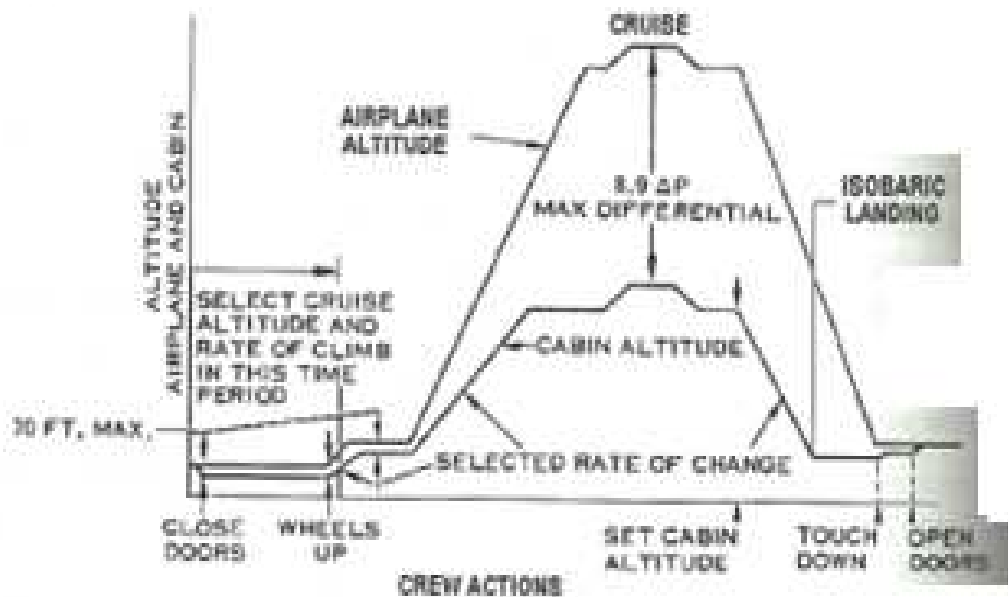


Fig. 38.19 Perfil típico de operación con el control de regulación de presión de cabina en posición AUTO. La ilustración muestra la línea de altitud de presión del avión, y más abajo la correspondiente la altitud de presión de cabina.

Durante esta fase se ajusta la altitud de crucero y el régimen de cabina. La altitud de cabina sigue el régimen de ascenso seleccionado en relación con la altitud del avión.

No obstante lo dicho, es usual que la presurización de la cabina se inicie durante el mismo despegue con el fin de hacer la transición a cabina presurizada lo más agradable posible para el pasajero. Es un modo que se llama *Pre-presurización de cabina (PRE-PRE)* y está controlado por posiciones extremas del mando de gases.

Precisamente este control, a través del mando de gases, es el que permite la despresurización inicial en caso de abortar el despegue, cuando se retrasan los mandos de gases.

c) Crucero

La altitud de cabina en el perfil que estudiamos es 8,9 psi (0,68 kg/cm²) de máxima diferencial. Nótese que es un valor por debajo del ajuste de las válvulas de seguridad.

Advierta también en la Fig. 38.19 que cualquier cambio de la altitud del avión lleva implícito en este modo el cambio de la altitud de cabina, para mantener la presión diferencial constante (regulador en modo de presión diferencial constante, ver Capítulo 36, apartado 5.5).

d) Descenso

Antes de iniciar el descenso es preciso ajustar el régimen de cabina para el descenso, la altitud del campo de aterrizaje y el ajuste barométrico del campo (BARO SET, ver el tablero de selección ampliado en la Fig. 38.20).

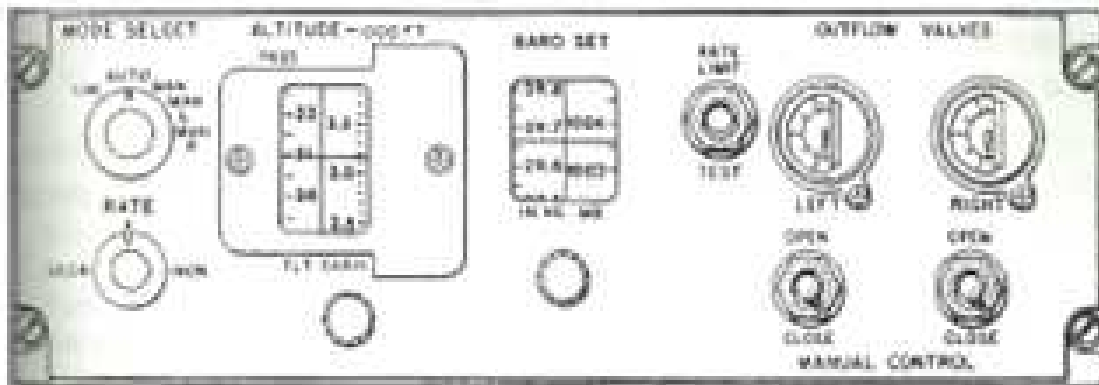


Fig. 10.20 En los sistemas de presurización con regulador analógico, antes de iniciar el descenso es preciso ajustar el régimen de cabina para descenso, la altitud del campo de aterrizaje y el ajuste barométrico del campo (BARO SET).

La altitud de cabina desciende de acuerdo con el régimen previsto, hasta igualarse con la altitud seleccionada.

El Aterrizaje y rodaje

Las válvulas de descarga de aire se abren completamente cuando el avión hace contacto con la pista, si es que ya no están abiertas antes del contacto. Permanecen abiertas en tierra.

Modo AUTO FAULT

Algunos reguladores de presión de cabina contienen la función AUTO FAULT, disponible sólo en modo automático.

La función AUTO FAULT supervisa los cambios que experimenta el régimen de variación de la presión de cabina.

Es una función de seguridad que se activa cuando el cambio de régimen de presión de cabina sobrepasa un cierto valor. En estas situaciones se enciende la luz de fallo en el panel de cabina, que indica que el limitador de régimen es activo y supervisa directamente la posición de la válvula de descarga del aire.

El limitador de régimen de cabina pilota, pues, la válvula de descarga de aire a una posición que coincide con la última que tenía cuando se activó la función de seguridad.

El modo AUTO FAULT es un modo interino de funcionamiento. Es activo hasta que la tripulación restablece las condiciones normales de funcionamiento.

La colocación del selector del regulador en MANUAL desactiva la función de limitación.

Control de presión de cabina en modo manual

El modo de funcionamiento MANUAL se caracteriza porque sitúa el regulador de presión fuera del circuito de control.

distinto al de operación normal.

El desplazamiento de la válvula en todo su recorrido, unos 100° de ab-
relativamente lento. No obstante, el transcurso de 35 segundos o más suele ser
signo de avería en el sistema.

Conviene señalar por último dos cuestiones:

- El modo MANUAL elimina todas las funciones implícitas en el modo
AUTO.
- En los casos donde el sistema cuenta con di-
renciadas, MAN L y MAN R, tales como las reflejadas en el panel de la
38.20, el canal expresamente seleccionado está en modo manual y el canal
modo automático.

¿Qué sucedió con el Tudor?



Avro 686 Tudor II Airliner, propulsado por cuatro motores Rolls Royce Merlin 621 de 12 cilindros en V,
1.740 HP cada uno, con hélices cuádruples de velocidad constante y 3,96 m de diámetro. El avión tenía
una velocidad máxima de 450 km/h en crucero a 25.000 pies.

El Avro Tudor, uno de los primeros "liners" comerciales de larga distancia, no ha
pasado a la historia por su aceptable sistema de calefacción, como hemos visto en
la nota histórica del párrafo 1.3, o su completa presurización de cabina. Con sus 36
m de envergadura y 32 m de longitud, el destino final del Tudor como avión de
transporte de pasajeros resultó trágico. El 30 de enero de 1948 el avión G-AHNB
de la compañía British South American Airways desapareció entre Azores y
Bermuda, sin dejar rastro alguno, con 25 pasajeros y 6 tripulantes a bordo. El avión
había telegrafiado su última posición a 360 millas de Bermuda.

Desgraciadamente los hechos se repitieron un año más tarde, el 17 de enero
de 1949. En este caso, el Tudor G-AGRE "Star Avro" de la misma compañía desa-
pareció entre Bermuda y Kingston, en ruta final a Santiago de Chile, con 13 pasa-
jeros y 7 tripulantes.

El avión había llegado a Bermuda procedente de Nassau. Tenía estimada la llegada a Jamaica a las 18:10 GMT de dicho día. Su última posición conocida fue a 150 mn de Kingston, volando a 18.000 pies, en día claro.

Sencillamente, desapareció.

Estos accidentes obligaron a la Aviación Civil británica a suspender los servicios de pasajeros con el Tudor. La prohibición se mantuvo hasta 1954 cuando la compañía Aviation Traders obtuvo un Certificado de Aeronavegabilidad para transporte de pasajeros, con modificaciones importantes en el avión y nuevos motores. Pero los tiempos aeronáuticos cambiaban rápidamente con los primeros turbohélices en el aire. Los ejemplares del Tudor que quedaban se convirtieron finalmente a cargueros, hasta 1959, el año de retirada.

¿Qué sucedió con el Tudor en el "triángulo de las Bermudas"? ¿Fue un fallo estructural por fatiga del material?

El fuselaje del Tudor, como hemos visto antes, fue uno de los primeros sometido a esfuerzos cíclicos de presurización, con la presencia por tanto de fenómenos de fatiga del material (ver Capítulo 1). El proceso de fatiga en estructuras aeronáuticas no era bien conocido en la práctica de la época, a mediados de los años cuarenta. Es inevitable ahora asociar la desaparición de los dos aviones con el problema de fatiga derivada de la muy alta presión diferencial de cabina y la frecuencia, en este caso, de vuelos en zonas de mediana o fuerte turbulencia. De hecho, el proceso de fatiga inducida por ciclos de presurización de la cabina se presentó pocos años más tarde, con toda su crudeza, en los tres accidentes en pleno vuelo del primer reactor británico de *Havilland Comet*.

9. PRESURIZACIÓN DE CABINA (REGULADOR DIGITAL)

9.1 La aplicación de la electrónica digital al campo de los reguladores de presión de cabina ofrece ventajas respecto a los clásicos analógicos, sobre todo en su capacidad para automatizar múltiples funciones de presurización.

El resto de los componentes del sistema (válvulas, etc.) es idéntico al de regulador analógico.

Los sistemas con regulador digital están preparados para recibir señales eléctricas del motor (régimen de revoluciones), de velocidad del aire y del ordenador de gestión de vuelo, para determinar la fase de vuelo en que se encuentra el avión. Así, pueden discriminar si está en tierra, pre-presurización, despegue, ascenso, crucero y descenso. En función de la fase de vuelo que detecta el regulador de presión determina cuál es la altitud de cabina óptima y envía las señales correspondientes a los motores de la válvulas de descarga de aire. La altitud de cabina óptima está contenida en un programa que se ejecuta en el ordenador del sistema.

Arquitectura del sistema

9.2 La Fig. 38.21 muestra el diagrama de bloque de un sistema de presurización con regulador digital.

El sistema cuenta con dos ordenadores reguladores de presión CPC1 y CPC2, con transferencia automática de mando si uno de ellos falla. Note que el sistema

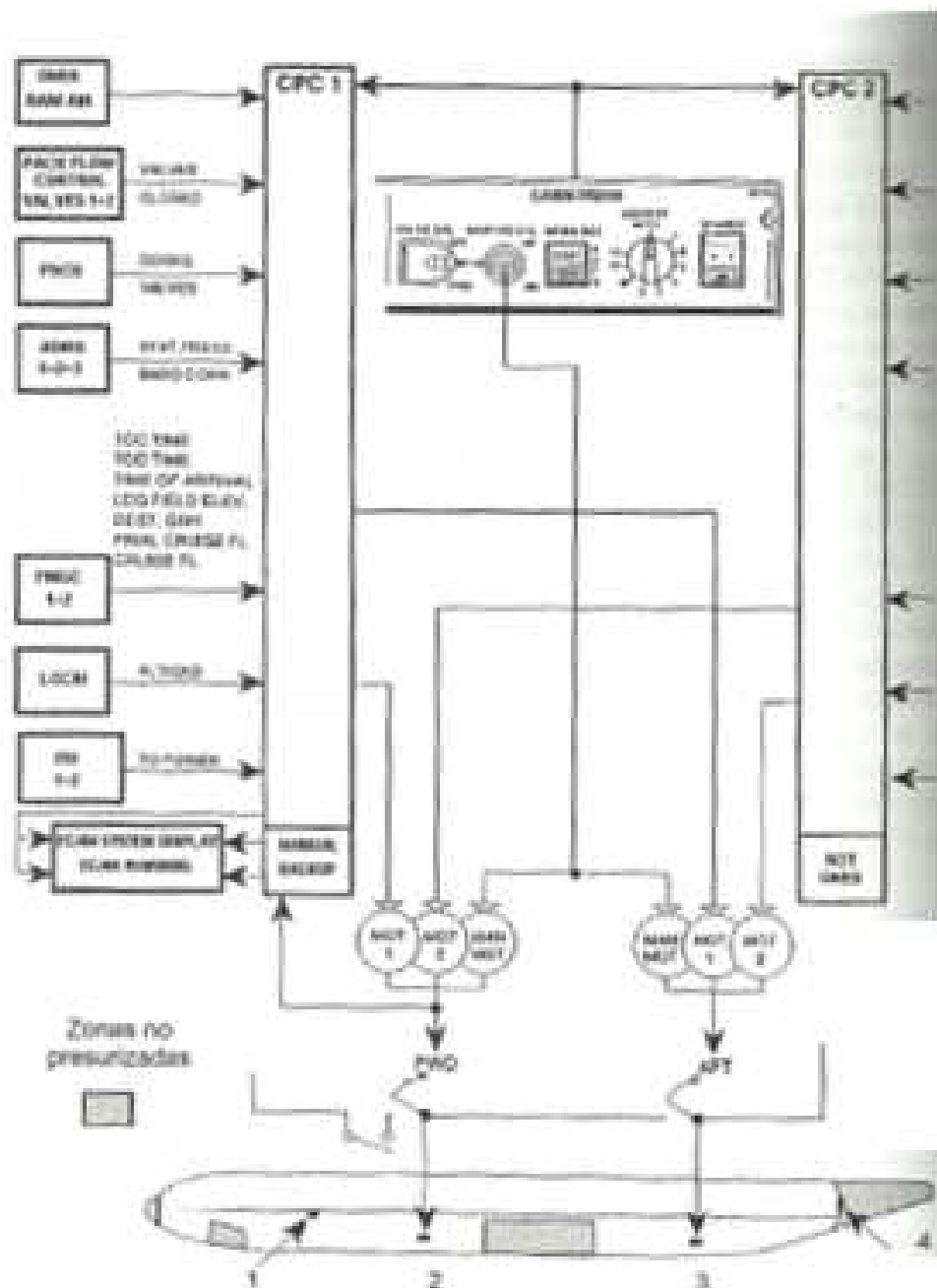


Fig. 38.21 Diagrama de bloque de sistema de presurización con regulador digital
 1. Válvula de alivio de presión negativa; 2. Válvula anterior de descarga de aire; 3. Válvula posterior de descarga de aire; 4. Válvula de seguridad.

cuenta con dos válvulas de descarga de aire (anterior y posterior), operadas por motores eléctricos independientes.

En el curso de la operación normal del sistema, la altitud de cabina y el régimen de cambio de la presión de la misma son controlados por los datos contenidos en el sistema de gestión de vuelo (FMGC). Estos datos incluyen nivel de crucero, etc.

posición del campo de destino, QNH, tiempo estimado para ascenso a nivel de vuelo asignado y tiempo estimado para aterrizaje.

Observe en el gráfico que los ordenadores reciben también datos de muy diversa procedencia que sirven para iniciar o finalizar el ciclo de presurización de la cabina. Se incluyen en estos datos el estado del cambiador de modo tierra/aire de la pata del tren de aterrizaje, situación de la válvula de emergencia de aire de impacto, situación de puertas del avión, a través de la unidad de control de servicio de pasajeros, etc.

Finalmente, en caso de fallo total de los dos ordenadores de control está disponible el modo manual que controla, con el tercer motor eléctrico disponible, la válvula de descarga de aire.

9.3 Estudiemos la operación típica del sistema a partir de la Fig. 38.22, que muestra el panel de un regulador digital que dispone de tres modos de operación: AUTO, ALTN (alternativo), y MAN.

Desde el punto de vista operativo hay dos modos automáticos, que se corresponden con la presencia de los dos ordenadores, desapareciendo los sistemas de reserva o "standby". Como ya hemos dicho, se eliminan también muchos procedimientos prevuelo que ahora pueden automatizarse.

En operación normal (modo AUTO) sólo uno de los ordenadores es operativo. El otro ordenador se encuentra en estado de respaldo. Bien entendido, no está en estado de espera o "standby". Quiere decirse que todo el circuito del canal de respaldo de este ordenador, incluido el regulador de presión, es activo y realiza todas las funciones de cálculo de altitud de cabina, igual que el canal operacional. La diferencia es que el canal de respaldo no tiene acceso a las válvulas de descarga de aire en condiciones normales de operación.

El sistema de respaldo adquiere el control de las válvulas de descarga de aire si una avería deja inoperativo el canal principal. La transferencia es automática. Una luz en cabina de AUTO FAIL, ámbar, indica que ha ocurrido un fallo en el sistema y que uno, o los dos, de los canales automáticos tienen avería.

Si el sistema de respaldo adquiere el control de presurización de cabina de forma fehaciente se enciende la luz verde ALTN, indicando que al menos un canal automático está operativo.

Si hay fallo total en el sistema automático (dos ordenadores) permanece encendida la luz AUTO FAIL.

El modo ALTN es una función que se ha incorporado en los sistemas digitales para dar a la tripulación señal fehaciente de que al menos un canal automático está funcionando. Las funciones en modo ALTN son idénticas al modo AUTO.

Finalmente, tres notas adicionales:



Fig. 38-22 Panel de control de un regulador de presión de control digital.

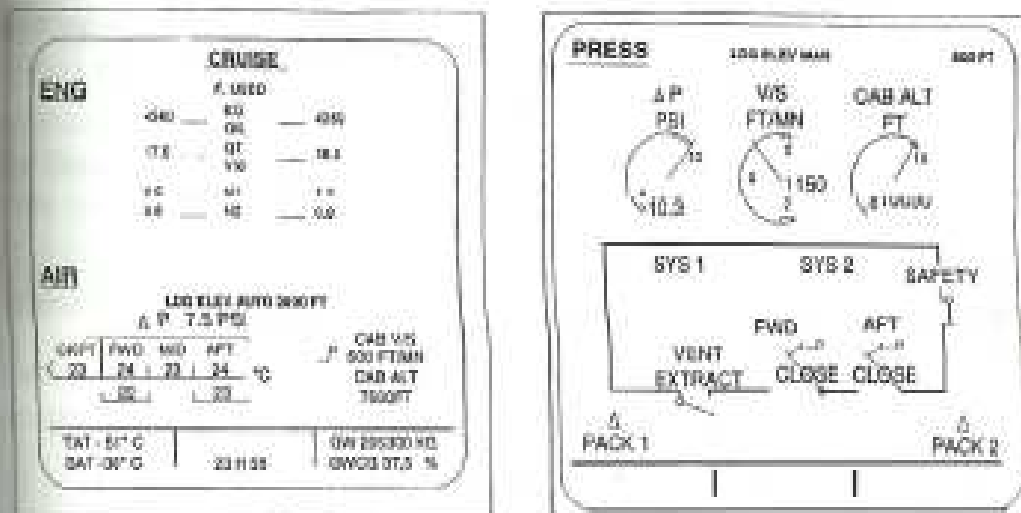
1. El modo MAN (manual) quita del circuito los dos canales automáticos y actúa directamente la válvula de descarga de aire.
2. Normalmente se encuentra disponible en el panel de control el interruptor de cierre automático de válvulas para caso de inmersión del avión. El interruptor cierra la válvula de descarga de aire. Asimismo, envía señales de cierre para las siguientes válvulas: de emergencia de aire de impacto, ventilación de aviónica, válvulas de las máquinas de aire acondicionado y cualquier otra presente en la instalación que esté situada por debajo de la línea de flotación del avión.
3. Uno y otro ordenador se conmutan como principal-respaldo cada aterrizaje.

9.4 Las ventajas de los reguladores de presión de cabina digitales respecto a los analógicos se puede resumir de esta forma:

- Capacidad de procesamiento e integración de señales generadas en otros puntos del avión o del motor, que permite la automatización de numerosas funciones.
- Posibilidad de incluir equipo de autocomprobación del sistema, de forma continua, cuyos resultados se envían al regulador de presión para procesamiento. De este procesamiento derivan, en su caso, las señales de aviso y de alarma para la cabina de vuelo.
- Menor peso que el analógico correspondiente (digamos, 8 kg).
- Mantenimiento más fácil y reparación más rápida.

Indicación

3.5 Ver la Fig. 38.23.



La página de información de datos de presión (derecha) está dividida en dos secciones, la superior con información en dial de presión diferencial de cabina, régimen de cabina (en pies por minuto), y en el dial de la derecha la altitud de presión de cabina en pies. Los caracteres pueden aparecer en blanco, ámbar o parpadeantes según el estado de operación normal, de precaución o de alerta, respectivamente. Observe en la parte superior derecha el símbolo 500 FT, indica la elevación del campo de destino. Los caracteres LOG ELEV MAN señalan que la elevación del campo de destino se ha seleccionado de forma manual, no de forma automática a través del ordenador de gestión y planificación de datos de vuelo. La otra mitad de la página de datos se destina a la información de estado de los

reguladores y de posición de las válvulas. El canal activo se muestra en verde con los símbolos SYS1 o SYS2. Cambian a color ámbar si hay avería. La posición de la válvula de seguridad se muestra cerrada, a la derecha. Sin embargo, la indicación positiva de cierre de la válvula es su color blanco, que toma a ámbar cuando no está cerrada. También está reflejada la posición de las válvulas de descarga de aire, en este caso el avión dispone de dos válvulas, una anterior y otra posterior. Nótese, en fin, que se incluye en esta página información de la válvula de ventilación y extracción de aire del compartimento de aviónica. El dibujo de la izquierda muestra la página de crucero, donde se incluye información resumida en relación con las condiciones de presurización y acondicionamiento de aire de cabina.

Fig. 38.23 Página en pantalla GRT de datos de presión de cabina (derecha) y la correspondiente a vuelo de crucero (izquierda) que contiene asimismo información resumida de datos de presurización y acondicionamiento de aire de cabina.

10. ACONDICIONAMIENTO DE AIRE PARA AVIONES DE CARGA

10.1 Una vez concluido el estudio de presurización de cabina, que sigue al acondicionamiento de aire, debemos volver a ocuparnos de este último en lo que se refiere a los aviones cargueros. Como es sabido, desde el punto de vista de carga útil del avión, hay cuatro tipos de aviones:

1. Aviones de carga: Son aviones diseñados específicamente para el transporte de mercaderías, con grandes puertas y bodegas, pisos de cabina reforzados e interiores con materiales resistentes a golpes y al desgaste.
2. Aviones de transporte público de pasajeros. Incluyen, en su caso, bodegas y pisos inferiores para el transporte de mercadería.
3. Aviones mixtos: Son aviones combinados que pueden transportar pasajeros y carga en la misma cabina.
4. Aviones convertibles: Pueden transformarse de una versión de pasajeros a configuración de carga, mediante el desmontaje de asientos y otros servicios de pasajeros.

10.2 En el transporte aéreo hay cuatro categorías de carga:

1. Perecederas (alimentos en general, flores y congelados)
2. Vivos: incluye toda clase de animales.
3. Peligrosos: explosivos, combustibles, productos químicos, materiales radioactivos, etc.
4. Generales: cualquier otra carga transportada por el aire.

10.3 Los requisitos de ventilación de los compartimentos de carga están establecidos, normalmente, por las propias necesidades de control de la temperatura. No obstante hay excepciones especiales, cuando se trata de prevenir la concentración de olores, o los requisitos especiales de ventilación para productos contaminantes.

El control de la temperatura de bodegas y régimen de ventilación debe ajustarse a los mínimos recomendables para los productos o seres vivientes de a bordo. Algunos productos y especies de animales vivos precisan de un control muy riguroso de la temperatura ambiente (Nota: en animales vivos hay que considerar también la temperatura diferencial entre origen de la carga y destino, y el régimen mínimo de ventilación. Por ejemplo, para los caballos se recomienda una banda de temperatura de 4,5 °C a 27 °C, la temperatura máxima es 32 °C, régimen mínimo de ventilación de 5,2 m³ de aire por segundo y temperatura diferencial de 16 °C).

En cuanto a requisitos de presurización, los animales vivos deben ser transportados en bodegas cuya altitud de presión no exceda de 8.000 pies (2.440 m).

Aunque muchas categorías de carga no se ven afectadas por los cambios de presión atmosférica, se recomienda que todos los aviones dedicados a estos fines mantengan, como mínimo, una altitud de presión en bodegas no superior a 16.000 pies (5.490 m).

18. SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE CICLO POR VAPOR

18.1 Hasta el momento, hemos dedicado el estudio a los sistemas de refrigeración de ciclo por aire. Nos ocupamos ahora del sistema de ciclo por vapor, un modo de refrigeración muy empleado en aviones turbohélicos, de mediano y pequeño tamaño, y en aviones con motor de émbolo. El sistema se emplea también en automoción y en los aparatos de refrigeración domésticos.

Ciclo básico de refrigeración

18.2 En síntesis, el ciclo de refrigeración por vapor se basa en la presencia de un líquido refrigerante que cambia del estado líquido al gaseoso en el proceso termodinámico que se efectúa en la máquina. El líquido absorbe una gran cantidad de calor durante el cambio de fase, procedente en nuestro caso del aire de la cabina. El aire de cabina se enfría en la proporción del calor cedido al refrigerante.

El circuito del refrigerante pasa también por el exterior del avión, donde cede a la atmósfera el calor que ha recogido del aire de cabina. Retorna de nuevo al circuito de cabina para absorber más calor, y así un ciclo tras otro.

Componentes del sistema de refrigeración

18.3 El proceso simple descrito en el párrafo anterior se efectúa en un sistema que tiene los siguientes componentes:

- Depósito del líquido refrigerante
- Válvula de expansión
- Evaporador
- Compresor
- Condensador

En continuación se estudian brevemente estos componentes.

La Fig. 18.24 muestra el esquema del circuito de refrigeración.

Depósito de líquido refrigerante (receptor)

El líquido refrigerante que se emplea es el denominado R-12 (nombre comercial Fluor 12, o Isotrón 12). Hay en el mercado otros nombres comerciales.

Es un líquido que posee la propiedad de evaporarse a bajas temperaturas. El receptor de líquido refrigerante es el depósito del sistema. El refrigerante es filtrado por el receptor y deshumidificado, normalmente con un gel compuesto de silicio.

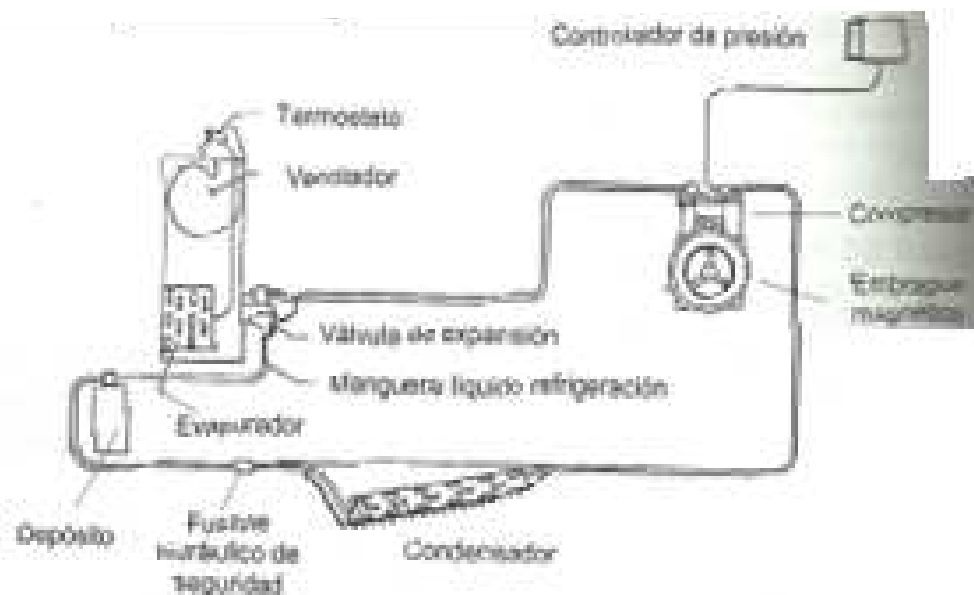


Fig. 38.24 Sistema de refrigeración de ciclo por vapor.

Esta sustancia absorbe cualquier resto de humedad que tenga el líquido. Es importante esta cuestión porque, más tarde, el líquido experimenta una fuerte expansión (caída de temperatura) en la válvula de expansión. Por tanto, la presencia de humedad en el líquido puede producir el bloqueo de la válvula por hielo.

Válvula de expansión

Tiene la función de introducir en el evaporador la cantidad correcta de refrigerante, de acuerdo con la condición de frío seleccionada en cabina.

La cantidad correcta de refrigerante es la función más importante de la válvula. Si las necesidades de refrigeración de la cabina son muy altas y la cantidad de refrigerante no es la correcta, resulta que se puede evaporar del todo antes de alcanzar la salida del evaporador, con pérdida de rendimiento del ciclo de trabajo.

Evaporador

El evaporador es la unidad de refrigeración del sistema, propiamente dicha. Esta unidad consiste en circuitos de tubos de cobre que tienen la forma de bobina. La unidad se encaja entre una serie de aletas de aluminio, para facilitar la transmisión de calor, e incorpora además el ventilador del sistema.

El ventilador produce el movimiento del aire de cabina y su paso por el evaporador. La energía calorífica presente en el aire de cabina es cedida al refrigerante. El refrigerante se evapora y el aire se enfría. Una bandeja situada debajo del evaporador recoge el agua que se condensa en él y la conduce por un drenaje al exterior. Un termostato, que tiene la forma de tubo capilar y está hecho de varias piezas, está materialmente pegado a la bobina de los tubos de cobre. Su función es detectar

de la temperatura del evaporador. En función de esta temperatura se ajusta el ciclo de refrigeración.

Compresor

La presencia de una válvula de expansión en el sistema, que produce una caída muy fuerte de temperatura en el líquido refrigerante, requiere un mecanismo para elevar la presión de forma cíclica.

El refrigerante abandona el evaporador en forma de vapor, con presión y temperatura relativamente pequeñas. Estas condiciones son las de entrada al compresor. El refrigerante se comprime en el compresor, alcanzando presión y temperatura altas. Una vez comprimido pasa al condensador.

Condensador

El condensador es un componente similar al evaporador, hecho de tubos de cobre y encajado en un radiador. La diferencia es que está situado en el lado de alta presión del sistema.

El condensador recibe los vapores calientes del refrigerante. Por el exterior de los tubos de cobre que contiene el refrigerante circula el aire exterior, aire frío en los términos relativos a la temperatura que posee el refrigerante. Puesto que hay un desnivel térmico notable, el refrigerante cede gran parte del calor que posee al aire ambiente. En el curso de este proceso pasa del estado gaseoso al líquido. Está dispuesto para efectuar un nuevo ciclo de refrigeración.

Instalación

11.4 En aviación, el compresor que se emplea en el sistema de refrigeración de ciclo por vapor es el tipo de pistones. En aviones pequeños se mueve por medio de una correa de transmisión, montada sobre una polea de embrague magnético. Así, la polea gira loca en su eje cuando no es necesario realizar un ciclo de enfriamiento. Cuando se precisa refrigeración, el termostato cierra el circuito eléctrico y embraga magnéticamente la polea y el eje del compresor.

El compresor en aviones de mayor tamaño se mueve normalmente por motores eléctricos.

Control del sistema

11.5 El control de estos sistemas es muy simple, y se resume en dos interruptores y un mando de tipo reóstato, para control de la temperatura del aire acondicionado.

De manera típica, el interruptor del sistema tiene dos posiciones: COOL y CIRCULATE, que controlan el modo de operación (ventiladores para recirculación de aire o en circuito de refrigeración).

El interruptor de flujo de aire controla el régimen de vueltas de los ventiladores del sistema, en las posiciones alta, media y baja. Finalmente, hay un mando de un reóstato que señala hacia la posición de mayor enfriamiento (COOLER).

Los manuales de operación del equipo deben de indicar la temperatura crítica por debajo de la cual no debe usarse el sistema de refrigeración. En realidad es una condición de no operación, más que de no uso, pues estamos hablando de temperaturas exteriores alrededor de (6°C), unas circunstancias en las que no tiene mucho sentido la conexión del sistema.

11. DESINSECTACIÓN Y FUMIGACIÓN DE LA AERONAVE



11.1 Cuestión que roza nuestra asignatura pero que interesa tanto a personal de vuelo como a técnicos de mantenimiento, de manera que incluímos en este apartado las ideas modernas sobre el tema.

Una aeronave en la rampa de un aeropuerto tropical en hora vespertina o nocturna es una auténtica luminaria que atrae a toda la fauna de insectos del lugar.

Además de insectos, se ha comprobado que roedores e incluso serpientes tienden a introducirse por las puertas y compuertas de la aeronave cuando ésta permanece en el estacionamiento durante tiempo prolongado. Acostumbran a hacerlo de noche, cuando no hay actividad alrededor del avión. Se ha comprobado también la introducción de estos animales dentro de los utensilios de los servicios de comidas y limpieza del avión.

11.2 Se llama *desinsectación* la operación practicada para matar insectos vectores de enfermedades al hombre en barcos, aeronaves, trenes, vehículos de carretera o de otros modos así como en contenedores.

La *fumigación* lleva implícita la idea de gasificación, y se aplica en un recinto cerrado como la cabina del avión. Simplemente es el desprendimiento de un pesticida en forma de neblina.

El objetivo principal de la desinsectación y fumigación de la aeronave es proteger, en primera instancia, a los tripulantes y pasajeros de enfermedades que pueden transmitir mosquitos y otros vectores que se instalan a bordo, sobre todo en el curso de las escalas de los aviones en muy diversos aeropuertos.

El segundo objetivo fundamental es proteger el país de matrícula de la aeronave contra la introducción de vectores o plagas que pueden propagar enfermedades en sus habitantes o poner en riesgo la agricultura, la fauna o la vegetación.

La experiencia indica que el riesgo de contagio es máximo cuando la aeronave se destina a misiones humanitarias, en zonas y aeropuertos poco preparados. No es de extrañar, pues, que el C-130 "Hercules" sea el avión que contabiliza más contagios de acuerdo con su amplio empleo en estas misiones. La OMS (Organización Mundial de la Salud) considera necesario desinfectar las aeronaves que proceden de regiones tropicales para luchar contra el llamado "paludismo de aeropuerto", producido por mosquitos anófeles que son transportados inadvertidamente en aviones procedentes de estas regiones. El riesgo aumenta en compañías aéreas que mantienen vuelos con ciudades de estas regiones, donde

que también la posibilidad de importar el virus del dengue. Así, entre 1969 y 1999, doce países han notificado un total de 87 casos de paludismo de personas que residían cerca de los aeropuertos y que no habían viajado a ciudades afectadas de esta enfermedad. Los países que se han visto más afectados han sido Francia, que encabeza la lista con 26 casos, Bélgica y Reino Unido, que mantienen o han mantenido enlaces frecuentes con países del África central.

11.3 La desinsectación de la aeronave tiene su primer antecedente histórico conocido en 1928 con el *Graff Zeppelin*. Kisluk publicó en 1929 un plan de cuarentena para la aeronave después de encontrar 10 especies de insectos que se consideraban vectores transmisores de enfermedades en la época.

Poco después de los pioneros trabajos de Kisluk se establecieron métodos para exterminar los insectos que se introducían a bordo, procedimientos que en verdad no han cambiado mucho salvo en lo que se refiere a los insecticidas al uso. La desinsectación con aerosoles ha sido el método estándar. Incluso, en los años cuarenta se estudiaron sistemas automáticos que liberasen a la tripulación de rociar la cabina con insecticida. El método, muy interesante para la compañía aérea, no tuvo éxito debido a los riesgos de fractura de los equipos de insecticida.

Junto a estos procedimientos se abordaron estudios para determinar la supervivencia de los insectos a alta altitud y las aceleraciones propias del vuelo. Fue una sorpresa desagradable por este tiempo observar la existencia de insectos alojados fuera de la cabina, en compartimientos exteriores del avión, que llegaban a poner sus huevos en estas zonas antes de aterrizar. Una vez el avión en tierra, las larvas hambrientas buscaban la vida vegetal en los espacios colindantes del aeropuerto.

Desinsectación

11.4 Como se ha dicho, los insectos entran en la cabina del avión a través de puertas, ventanas, pertenencias de los pasajeros, etc. Desde un punto de vista técnico se considera que la aeronave es vulnerable a la infección cuando las puertas de pasajeros o de carga están abiertas.

La desinsectación de forma periódica forma parte de todos los esquemas de protección que aplican las compañías aéreas para terminar con los insectos a bordo, sin olvidar la inspección visual de la aeronave, en particular de la cabina de vuelo. Ningún piloto quiere imaginarse el escenario de efectuar el despegue cuando una avispa ronda por la cabina.

Los procedimientos de desinsectación son conformes a normas internacionales y nacionales. En primer lugar, la autoridad nacional obliga a desinfectar la aeronave que procede de ciertos países, en una lista que mantiene activa. A su vez, la aeronave debe seguir los requisitos de entrada que impone un país extranjero. Un buen número de éstos obliga en la actualidad a desinfectar el avión en ruta, o inmediatamente antes de la llegada.

En el primer caso, cuando la aeronave procede de un país que la autoridad nacional entiende que representa una amenaza para las personas, la fauna y agricultura propias, el comandante de la aeronave es el responsable de asegurarse que antes del despegue se han tomado todas las medidas de desinfección previstas. El procedimiento de preferencia es el llamado de "calzas fuera", con objeto de exterminar todos los insectos justo antes de la

salida del avión. Se hace inmediatamente después del cierre de las puertas y compuertas. Normalmente la tripulación de cabina pulveriza el insecticida (*germetrina* o *d-fenotrina*) por toda la cabina, ante la sorpresa de algunos pasajeros en vacaciones a zonas tropicales o del Pacífico. El aerosol es inofensivo para las personas, aunque ocasionalmente puede producir irritación en los ojos. Algunas compañías avisan de lo que van a realizar antes de la pulverización, otras no. Al mismo tiempo, cuando se cierran puertas y compuertas, el equipo de servicio en tierra pulveriza zonas concretas de la aeronave, en particular los alrededores del tren de aterrizaje.

La duración de la pulverización depende del volumen de cabina (6 segundos por cada 1.000 pies cúbicos de cabina). La ventilación de la aeronave debe estar cerrada durante todo el proceso y unos minutos posteriores al rociado del insecticida.

En el caso segundo, cuando el país de destino obliga a una desinsectación en ruta, se aplica el procedimiento "Top of descent", para exterminar los insectos poco antes de la llegada. Es normal enseñar o entregar a las autoridades del aeropuerto de destino los botones de aerosol vacíos en prueba de cumplimiento del procedimiento. Todas estas operaciones se anotan en los formatos oficiales del avión, inclusive los números de serie de los botones de aerosol empleados en la desinsectación.

Fumigación

11.5 La desinsectación es una fórmula rutinaria para terminar con los insectos a bordo. Sin embargo, cuando la infección es masiva, o se detecta la presencia de roedores o serpientes, procede la fumigación de la aeronave.

La presencia de ratones es un problema serio que puede comprometer incluso la seguridad en vuelo. Acostumbran a afilar sus dientes royendo cables de todo tipo. Hay pocas posibilidades de que los ratones ingresen a bordo a través de los distribuidores de pasajeros en el terminal, pero acceden cuando el avión está en el estacionamiento, con los vehículos de servicio o pertenencias de los pasajeros. Si existe la mínima sospecha de roedores a bordo hay que fumigar la aeronave tan pronto como sea posible.

Durante mucho tiempo se ha usado el bromuro de metilo como pesticida de la cabina de los aviones. Recientemente, sin embargo, los fabricantes de aviones descartan este producto por dos motivos. En primer lugar se ha comprobado que permanecen residuos de bromuro de metilo después de 36 horas de su aplicación, en particular en las mantas sellantes de la cabina y compartimentos de carga; además, en segundo lugar, está presente la prohibición de emitir en la atmósfera compuestos de fluorocarbono, y ellos forman parte del producto.

El sustituto del bromuro de metilo en la actualidad es anhídrido carbónico, de manera que la exterminación se produce por asfixia.

El procedimiento consiste en introducir CO_2 por la válvula de descarga de aire recirculado de la cabina, donde se coloca un adaptador de fabricación local. El anhídrido carbónico para estos fines se mantiene en recipientes a presión en estado líquido, a baja temperatura. Unos calentadores que apotan el equipo de tierra que realiza esta función elevan la temperatura del CO_2 hasta unos 15°C , y se introduce en la cabina estanca del avión. Conviene que el gas penetre por la parte alta de la cabina para asegurar que existe en toda ella una atmósfera con alto contenido de anhídrido carbónico. Típicamente, la salida del

en de la cabina mientras se inyecta CO_2 se realiza por una manguera colocada en un adaptador que se fija a una ventanilla deslizante de la cabina de vuelo.

La cantidad de CO_2 que es necesaria introducir en la aeronave depende lógicamente del volumen de cabina. El *Airbus A340* precisa unos 2.500 kg de gas, mientras que el modelo A320 unos 750 kg.

Una vez que el avión está lleno de CO_2 es necesario mantenerlo cerrado durante media hora para exterminar a los roedores. Sin embargo, en el caso de las serpientes, hay que mantener el gas por lo menos 12 horas. La razón es que estos reptiles disminuyen su metabolismo y régimen de respiración cuando se encuentran en situación de peligro.

Desinsectación-fumigación

3.6 La fumigación con gas es un procedimiento definitivo, terminal, contra roedores y serpientes pero no resuelve todos los problemas del avión en este sentido. Cuando es preciso luchar contra insectos, roedores y serpientes, a la vez, hay que proceder primero a la desinsectación, mediante rociado con los productos aprobados, y luego con la fumigación.

La razón del doble procedimiento es que hay insectos que sobreviven al gas. Así, la garrapata cuenta con la opción de cerrar la traquea en una atmósfera hostil y detener prácticamente su metabolismo. Otro ejemplo es la cucaracha, probablemente la especie más común a bordo del avión. Su intrusión suele ser a bordo de los carrillos de servicio de comidas. Estos carrillos están preparados para mantener la comida caliente, de manera que disponen de doble tabique de aislamiento. Aunque el alojamiento de la comida está bien aislado, lo cierto es que el espacio entre los dos tabiques propicia una atmósfera muy favorable para las cucarachas. El problema es que una vez a bordo, como navegante poco desafiado, puede encontrar vías de desplazamiento por toda la cabina, por ejemplo en los pequeños tubos huecos que forman la estructura de los carrillos de servicio. Por supuesto, los riesgos aumentan en la medida que el avión es de carga o transporta de forma asidua fruta u otros alimentos.

La cucaracha, en fin, pone sus huevos también en situaciones hostiles. El anhídrido carbónico es efectivo contra la cucaracha pero no contra sus huevos, de manera que se requiere la desinsectación con insecticida para terminar con ellos.

Los fabricantes de aviones dejan a criterio de los usuarios el empleo de métodos convencionales para terminar con las plagas que pueden acceder a bordo, en particular el uso de trampas para roedores y reptiles. Ahora bien, en ningún caso puede emplearse veneno en la cabina por el riesgo de que sea inaccesible o quede oculto para el personal de limpieza, y termine por azar en las manos de un niño en el curso de servicios regulares.

