

**ATA 29**

**POTENCIA HIDRÁULICA**

# Sistema hidráulico

## 1. PRINCIPIOS BÁSICOS DE HIDROMECAÁNICA

1.1 La hidráulica es la ciencia que estudia las leyes que regulan el equilibrio y el movimiento de los líquidos.

De una parte, entonces, estudia las condiciones de equilibrio de los líquidos en reposo, y de otra la circulación o movimiento de los mismos.

La hidráulica se divide en dos grandes ramas:

- *Hidrostática*, que es la ciencia que estudia el equilibrio de los líquidos y la presión que ejercen sobre los recipientes que los contienen.
- *Hidrodinámica*, que estudia el movimiento y la circulación de los líquidos, y las fuerzas resultantes.

## POTENCIA HIDRÁULICA

1.2 La potencia hidráulica es el trabajo que efectúa un mecanismo hidráulico por unidad de tiempo.

El trabajo es el producto de la fuerza aplicada por la distancia que recorre la fuerza. La fuerza, por su parte, es igual a la presión hidráulica multiplicada por la superficie sobre la que actúa. Entonces, podemos escribir:

$$\text{Trabajo} = \text{presión por superficie por distancia}$$

es decir,

$$T = p \cdot S \cdot d$$

La potencia hidráulica es el trabajo realizado por unidad de tiempo:

$$W = \frac{p \cdot S \cdot d}{t}$$

El producto (superficie x distancia) es igual a volumen  $V$ , en este caso de aplicaciones hidráulicas se trata del volumen de líquido desplazado

Caudal ( $Q$ ) es el volumen de líquido que circula por unidad de tiempo por una tubería, debido precisamente al desplazamiento de fluido en el sistema.

La potencia hidráulica se puede escribir así:  $W = p \cdot Q$ , midiéndose  $W$  en vatios, la presión en Pascal, y el caudal en metros cúbicos de líquido por segundo.

Muchas veces, en la práctica diaria es normal emplear como unidad de medida de potencia el caballo (CV), como unidad de presión se suele emplear el  $\text{kg/cm}^2$ , y como unidad del caudal el litro por minuto. En este caso, la fórmula anterior se transforma y escribe así:

$$W = \frac{Q(l / \text{min}) \cdot p(\text{kg} / \text{cm}^2)}{450}$$

Interesa señalar la gran influencia que la presión hidráulica tiene en la fórmula de la potencia. Observe el lector que cuanto más alta es la presión se necesita menor caudal de líquido  $Q$  para obtener una potencia determinada, lo que permite la construcción de equipos más pequeños y de menor peso. Esto explica que la presión hidráulica a bordo alcance  $200 \text{ kg/cm}^2$ .

### **Transmisión de la presión hidráulica**

1.3 En su aplicación a las aeronaves la hidráulica constituye el método de transmitir potencia de un lugar a otro del avión, mediante el empleo de un líquido como agente o medio operacional.

La transmisión de potencia de un lugar a otro del avión tiene lugar por tuberías y elementos de control del líquido hidráulico. El matemático y filósofo francés Blas Pascal estableció este Principio: "La presión ejercida en un punto sobre un líquido en equilibrio se transmite íntegramente en todas las direcciones". Una aplicación directa y práctica de este Principio es el conocido "gato hidráulico".

## **2. TIPOS DE FLUIDOS HIDRÁULICOS**

2.1 El fluido hidráulico es el medio transmisor de la presión hidráulica en los sistemas hidráulicos de a bordo.

Se pueden distinguir dos tipos de líquidos hidráulicos en aviación, que se clasifican según su origen: líquidos hidráulicos de origen mineral y sintéticos.

### **a) Líquido hidráulico de origen mineral**

Es muy empleado en aviación general. Se utiliza en la carga de amortiguadores, frenos y sistemas hidráulicos completos. Se deben emplear retenes y mangueras sintéticas con estos tipos de líquidos.

El líquido hidráulico estándar de este grupo tiene el número de especificación MIL-H-5606.

El campo operacional de este líquido es de  $-54^{\circ}\text{C}$  a  $135^{\circ}\text{C}$ . Se deriva del refino del petróleo; tiene un color rojo, producido por un tinte que se mezcla en proporciones máximas de una parte de tinte por cada 10.000 de líquido. Su viscosidad es baja y es inhibidor de la corrosión.

Los líquidos MIL-H-5606 incorporan numerosos aditivos que mejoran las propiedades del líquido base. Así, se mezclan aditivos depresores del punto de congelación, aditivos mejoradores del Índice de viscosidad<sup>1</sup>, aditivos antiespumantes, antioxidantes, etcétera.

### **b) Líquidos hidráulicos sintéticos**

Pertenecen al grupo de los ésteres fosfatados. Se deben emplear con estos líquidos sellos, retenes y mangueras de caucho etileno-propileno o de teflón.

Las marcas comerciales y registradas *Skydrol 500B*, *Chevron Hyjet W*, y versiones posteriores, pertenecen al grupo de líquidos sintéticos.

Los líquidos hidráulicos sintéticos mejoran todos los índices y propiedades de los fluidos anteriores, salvo, quizás, habría que decir que son más oxidantes que los líquidos minerales.

Tienen tres grandes inconvenientes: primero, que son muy caros; segundo, que sólo admiten elastómeros del tipo etileno-propileno en las juntas de estanqueidad del sistema, y tercero, que atacan fácilmente toda clase de pinturas, excepto las de poliuretano. Su temperatura máxima de servicio se sitúa en torno a  $150^{\circ}\text{C}$ .

## **3. CONSTITUCIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO**

3.1 Veremos en el Capítulo 35 que los sistemas hidráulicos se emplean como medios reforzadores de la acción de mando del piloto, tanto en vuelo, para mover los mecanismos del avión, como de manejo del mismo en tierra. Por esta razón el sistema hidráulico es uno de los llamados sistemas de potencia del avión.

Vamos a considerar en primer lugar cuáles son los elementos básicos que debe tener un sistema de este tipo, de modo que sea fácil constituir un sistema práctico aplicable al avión.

### **Elementos básicos del sistema hidráulico**

3.2 Los elementos básicos, imprescindibles, del sistema hidráulico de avión se muestran en la Fig. 33.1, parte (A).

3.3 El primer elemento del sistema es la bomba hidráulica (1). La bomba hidráulica tiene por función aumentar la presión del líquido hidráulico. La bomba succiona el líquido desde el depósito.

---

<sup>1</sup> Ver definición del Índice de viscosidad en Capítulo 14.

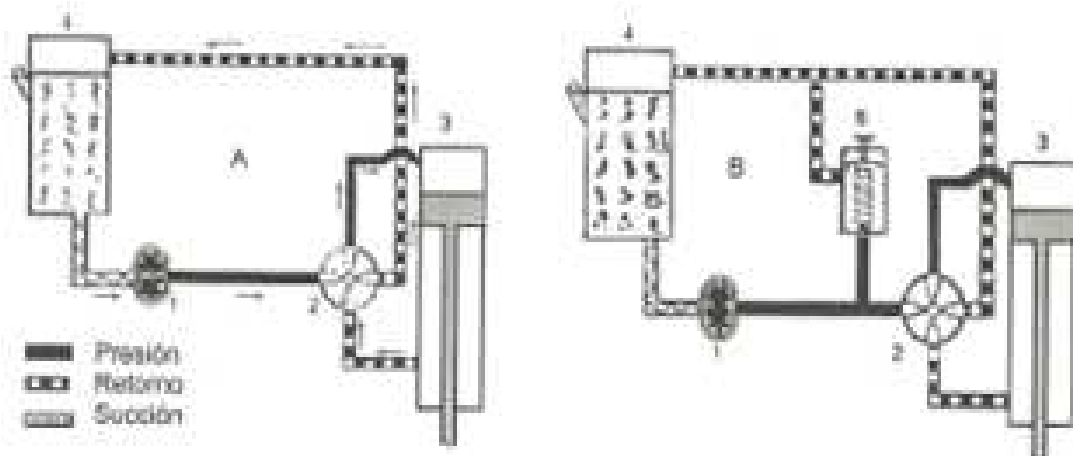


Fig. 33.1 Elementos de sistema hidráulico básico (A). En la figura (B) el mismo sistema con válvula de alivio de presión.

Detalle de la ilustración: 1 Bomba; 2 Válvula selectora; 3 Martinete hidráulico; 4 Depósito de líquido hidráulico; 5 Válvula de alivio de presión.

La bomba se mueve normalmente a través de una toma de potencia en la caja de engranajes de accesorios del motor del avión<sup>1</sup>.

Es muy frecuente también el empleo de bombas eléctricas en el sistema, que se impulsan por su propio motor eléctrico. En uno u otro caso, cuando la bomba está en funcionamiento succiona el líquido por su boca de entrada y lo expulsa a presión por la de salida.

Observe en la Fig. 33.1 que el primer componente que se encuentra el flujo de líquido, cuando sale de la bomba, es una válvula que se llama válvula selectora.

3.4 La válvula selectora es un mecanismo que permite dirigir el fluido por la ruta adecuada, según el servicio hidráulico que se pretende efectuar.

Debido a esta función se conoce también como válvula distribuidora, pero en aeronáutica es frecuente el empleo del término válvula selectora, incluso simplemente selectora.

La válvula selectora es un controlador de la dirección del fluido hidráulico.

La válvula simple tiene dos posiciones posibles. En la posición que se ha dibujado permite que el líquido llegue a presión a la cara superior del émbolo del martinete (3).

El martinete es un cilindro que tiene en su interior un émbolo, con su vástago, y dos puertas o bocas, una para entrada del líquido a presión y otra para la salida.

<sup>1</sup> Se recuerda que la toma de potencia es un eje estrado, en forma de piñón, que es impulsado ("arrastrado") por el motor del avión, y al cual se puede acoplar un engranaje para recibir el movimiento de giro e impulsar un elemento accesorio. La caja de engranajes es un cárter donde se alojan varias tomas de potencia.

El funcionamiento del martinete se basa en la presión que actúa sobre las caras del émbolo. El líquido a presión produce una fuerza que, al actuar en este caso en la cara superior, desplaza el pistón hacia abajo, según la posición del dibujo. Entonces, el líquido que llena la parte inferior del cilindro es forzado a retornar al depósito por la boca de salida del martinete, vía la válvula selectora y tubería de retorno. El movimiento forzado del vástago del émbolo se aprovecha para accionar el mecanismo enganchado a él. Es el accionamiento hidráulico, o mejor, por medios hidráulicos.

Es importante repetir dos cosas: en primer lugar, que la válvula selectora actúa de controlador de la dirección que sigue el líquido, de acuerdo con la vía de conducción abierta en un momento determinado. En segundo lugar, que los movimientos del émbolo del martinete se aprovechan para desplazar el mecanismo acoplado al martinete, bien la pata de tren de aterrizaje, spoilers, los flaps, etc.

Existen martinetes en los que el émbolo se mantiene estacionario, fijo, y es el cuerpo del cilindro el que se desplaza a un lado u otro, por ejemplo en la Fig. 35.1 (c) del Capítulo 35, a propósito de los mandos de vuelo. La situación es indiferente a los efectos prácticos de explicar el principio de funcionamiento hidráulico.

Tomamos notas de lo que sigue, a propósito del gráfico de la Fig. 33.1 (A):

- Si la válvula selectora se gira 90° se invierten las líneas de presión y de retorno del martinete. Ahora hay presión hidráulica en el lado del émbolo que tiene el vástago. Por el contrario, es la línea de retorno la que comunica la parte superior del émbolo con el depósito.

Debido a que la dirección del fluido se cambia, o alterna, en función de la posición de la válvula selectora, las dos líneas del martinete se llaman líneas alternativas, y en ocasiones líneas de “arriba” y de “abajo”.

Los términos de “arriba” y “abajo” se emplean en relación con el movimiento del mecanismo enganchado al émbolo (o al cilindro del martinete, en su caso) y no al movimiento propio de ellos.

- El sistema elemental de la Fig. 33.1(A) puede funcionar, y es práctico, si la bomba (1) es de accionamiento manual y el operador efectúa las pausas necesarias durante su accionamiento, con el fin de que la presión hidráulica no suba demasiado.

Bien entendido, que si la bomba es arrastrada por el motor del avión, de forma continua, la presión de este sistema tiende a subir tanto que la bomba puede fallar, o las tuberías a reventar. Por ello es necesario incluir otros equipos de control en el sistema elemental que estamos describiendo.

**3.5 La válvula de alivio [Fig. 33.1 (B)] es una válvula de bola que está cargada por un resorte.**

**La función de la válvula de alivio es limitar la presión que alcanza el sistema.**

La bola está unida a un resorte. El resorte tiende a colocar la bola contra el cono de su asiento en la tubería de circulación del líquido. La válvula de bola ajustada al cono de su asiento forma un cierre al paso de líquido.

Si la presión en el sistema hidráulico sube más allá de un cierto valor, la fuerza de presión que actúa sobre la superficie esférica de la bola es suficiente para vencer la carga antagonista del resorte. En este caso la bola se desplaza y se separa de su asiento. El orificio de paso de la válvula queda libre y el líquido puede circular.

Esta acción permite, pues, que el líquido pase vía libre por la válvula de alivio y se deriva hacia el depósito por la tubería de retorno. La presión hidráulica disminuye.

Aunque tenemos ahora un sistema con válvula de alivio de presión, observe que la bomba hidráulica trabaja con carga constante, incluso cuando no se mueve el martinete; es decir, incluso cuando no se necesita servicio hidráulico en la aeronave. La bomba está continuamente sometida a la carga de presión. En estas condiciones de trabajo la bomba puede fallar en un plazo relativamente corto.

La Fig. 33.2 muestra un diagrama en el cual se han incorporado la válvula antirretorno (6) y el regulador de presión (7).

La válvula antirretorno es una válvula unidireccional. Consiste en una bola, o bien un cono de acero, que se mantiene en su asiento por la carga de un resorte. Para comprimir el resorte y separar la bola de su asiento es suficiente una presión diferencial realmente pequeña, de 0,2 a 0,35 kg/cm<sup>2</sup> (<sup>1</sup>).

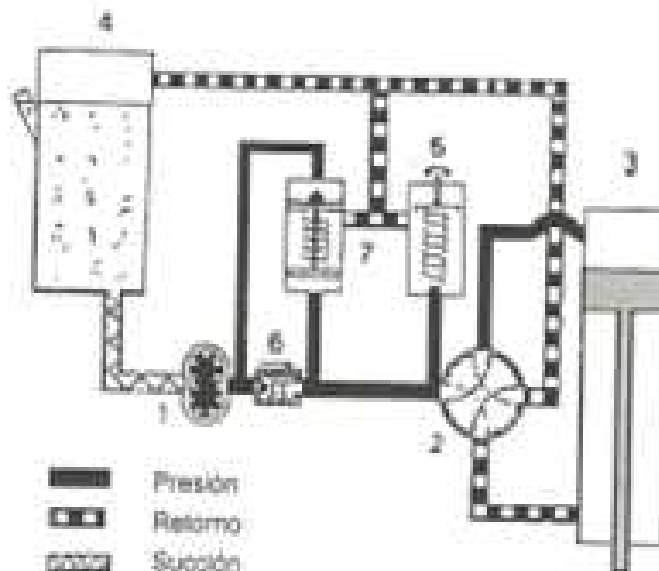


Fig. 33.2 Sistema hidráulico con válvula antirretorno (6) y regulador de presión (7)  
 1 Bomba; 2 Válvula selectora; 3 Martinete hidráulico; 4 Depósito de líquido hidráulico;  
 5 Válvula de alivio de presión.

<sup>1</sup> El término presión diferencial se refiere a la diferencia de presión que existe entre un lado y el otro de la bola, o sea a un lado y otro del orificio que obtura.

Por tanto, si la presión hidráulica en el lado de la bola que da a la bomba es superior a la del lado opuesto, en el valor de 0,2 a 0,35 kg/cm<sup>2</sup>, la fuerza resultante sobre la bola es suficiente para vencer la carga del resorte más la carga que representa la presión opuesta. De esta forma, el líquido que expulsa la bomba entra en el circuito hidráulico general, pues tiene paso libre.

Por el contrario, cuando la presión hidráulica del lado de la bomba es inferior al caso citado anteriormente, entonces la bola se ajusta perfectamente en su asiento y el líquido queda atrapado a presión en el circuito. El circuito hidráulico se ha sellado y mantiene la presión nominal de servicio del sistema.

3.6 El regulador de presión es, en realidad, una válvula de descarga de presión de la bomba hidráulica. Su función es mantener la presión del sistema entre límites predeterminados.

El regulador de presión descarga la bomba cuando no se mueve un mecanismo, esto es, cuando no se necesita servicio hidráulico.

La Fig. 33.3 es un detalle del regulador de presión. Con el fin de estudiar su funcionamiento consideremos que el sistema hidráulico inicia el movimiento de un mecanismo del avión.

En el momento inicial, cuando se pone en marcha la acción de movimiento, la bomba suministra presión al sistema de modo que la válvula antirretorno (2) permite el paso de líquido a presión al interior del circuito. Observe que se suministra la misma presión al pistón (4) que a la bola del regulador (6). Entonces, la carga del resorte más la fuerza de presión que actúa sobre la bola es mayor que la

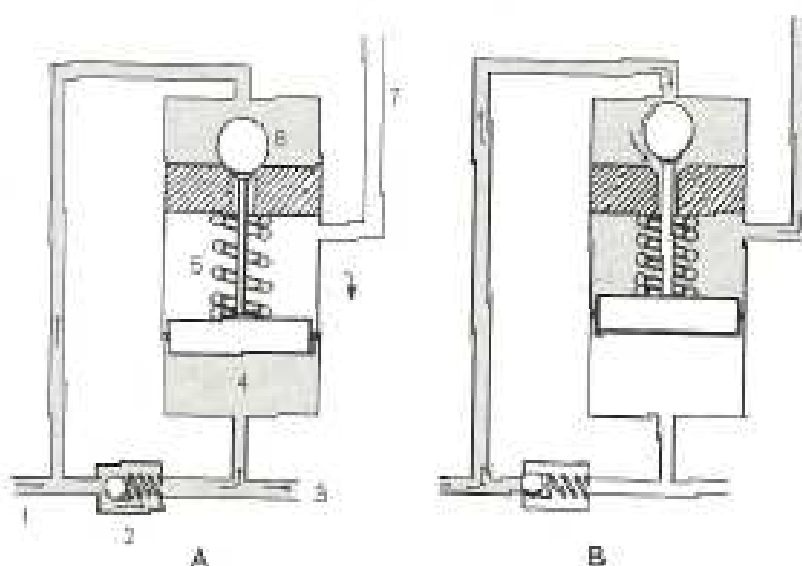


Fig. 33.3 Posiciones operativas del regulador de presión en el sistema hidráulico.  
1 Entrada de líquido hidráulico procedente de la bomba; 2 Válvula antirretorno; 3 Tubería de salida al sistema; 4 Pistón del regulador; 5 Resorte; 6 Bola del regulador; 7 Tubería de retorno al depósito.



fuerza de presión que actúa sobre el pistón (4). La bola del regulador, pues, está en contacto con su asiento, justo la posición que muestra en la figura A. La línea de retorno (7) está cerrada al paso de fluido.

Cuando se completa el recorrido del mecanismo que está en movimiento, la presión hidráulica del sistema empieza a aumentar pues ya no existen desplazamientos volumétricos de líquido en las tuberías del sistema.

En estas condiciones, la fuerza de presión en el pistón (4) es mayor que la carga que impone el resorte más la fuerza de presión que actúa sobre la bola del regulador. Ésta se separa de su asiento (véase Fig. 33.3 B) y permite el paso de líquido a la tubería de retorno, a través del orificio de su vástago.

Con la caída de presión que se produce en la línea de entrada de la bomba se cierra la válvula antirretorno y el sistema se mantiene presurizado.

Por el contrario, la presión en la línea de retorno es baja, circunstancia que permite la marcha prácticamente en vacío de la bomba.

Debe observarse que, al añadir el regulador de presión al sistema hidráulico elemental, el modo funcional de la válvula de alivio (5, Fig. 33.2) se puede convertir, y de hecho así es, en una válvula de emergencia. Su función, ahora, es salvaguardar la integridad del sistema, debido a la sobrepresión que puede imponerse en los casos que exista alguna avería en el regulador de presión.

3.7 Es posible apreciar todavía un inconveniente en el sistema hidráulico elemental en estudio.

Si se produce una pequeña fuga de líquido hidráulico en el sistema se obliga a la bomba a entrar en pleno servicio para mantener la presión del circuito. Una vez alcanzada ésta, como los líquidos son incompresibles<sup>1</sup>, la presión vuelve a caer, debido a la fuga, y de nuevo entra la bomba en impulsión.

Las pequeñas fugas de líquido hidráulico son inevitables en estos sistemas, de manera que este proceso de carga y descarga de la bomba produce su rápido desgaste y un acortamiento de su vida de servicio.

Por ello es esencial en estos sistemas el acumulador hidráulico.

El acumulador hidráulico tiene dos funciones básicas: a) prevenir el ciclaje de carga y descarga de la bomba hidráulica por posibles fugas de líquido en el sistema; b) amortiguar las oscilaciones de presión en las líneas por medio del gas del acumulador (disminuye la fatiga de las tuberías debida a pulsaciones de presión).

La Fig. 33.4 muestra, en detalle parcial, la posición del acumulador hidráulico en la línea de presión de la bomba. En la ilustración se observa una válvula antirre-

---

<sup>1</sup>Debe entenderse que son incompresibles a los efectos prácticos que estamos describiendo. Sin embargo, desde el punto de vista físico, los líquidos se comprimen a presiones muy altas.

torno adicional (2), que estudiaremos a continuación al introducir la bomba manual del sistema.

3.8 Antaño, el sistema hidráulico del avión contaba con una bomba manual, de emergencia para uso en caso de fallo de las bombas mecánicas y eléctricas.

La bomba manual en los modernos aviones cumple fines auxiliares. Por lo común, la bomba manual se emplea para el movimiento en tierra de puertas de carga, rampas, etc. Con este fin presuriza únicamente las tuberías que conducen a estos mecanismos. En todo caso, con la Fig. 33.4a se completa el sistema con la adición de la bomba manual. Nótese

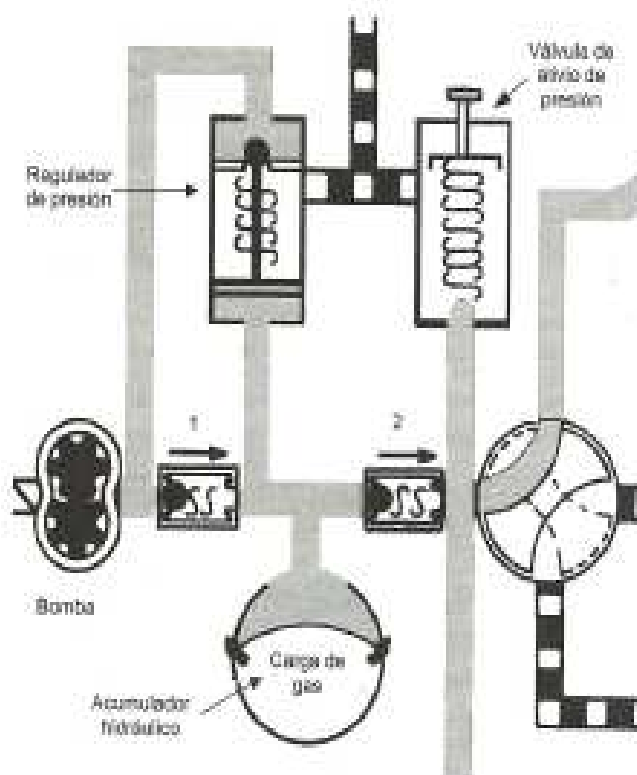


Fig. 33.4 Detalle de la posición del acumulador hidráulico en el sistema. (1) y (2) válvulas antirretorno.

que es el mismo esquema de la Fig. 33.2, pero con el aditamento de la bomba manual (8) y válvula cortafuego VC.

La bomba manual consiste en un cilindro con pistón, maneral y dos válvulas antirretorno, una situada junto a la boca de entrada procedente del depósito y otra en el mismo pistón de la bomba. Cuando el pistón se desplaza hacia la derecha del dibujo, en lo que sería una impulsión de líquido, resulta que la válvula del pistón se mantiene contra su asiento de cierre. Las dos cámaras de la bomba son en este momento herméticas, independientes. El volumen de líquido que hay en la cámara derecha del cilindro sale por la tubería de impulsión para presurizar el sistema hidráulico. A la vez, la succión que se ejerce en la cámara izquierda abre la válvula antirretorno

que conecta con el depósito de fluido hidráulico y se llena esa parte del cilindro.

A continuación, cuando el maneral se desplaza en sentido contrario, hacia la izquierda, aumenta la presión en la cámara izquierda del cilindro. La presión creciente del líquido vence el resorte de la válvula del pistón y permite que, a su través, se llene la cámara derecha de la bomba. Este parte de fluido queda preparado para ser impulsado a presión en cuanto se desplace el pistón hacia la derecha.

El proceso se repite con cada movimiento del maneral de la bomba.

Ahora puede explicarse la función de la válvula antirretorno (2) de la Fig. 33.4, anterior.

Cuando la bomba manual del sistema cumple funciones de presurización de emergencia es obvio que el fluido a presión se debe destinar para mover el mecanismo del avión y no

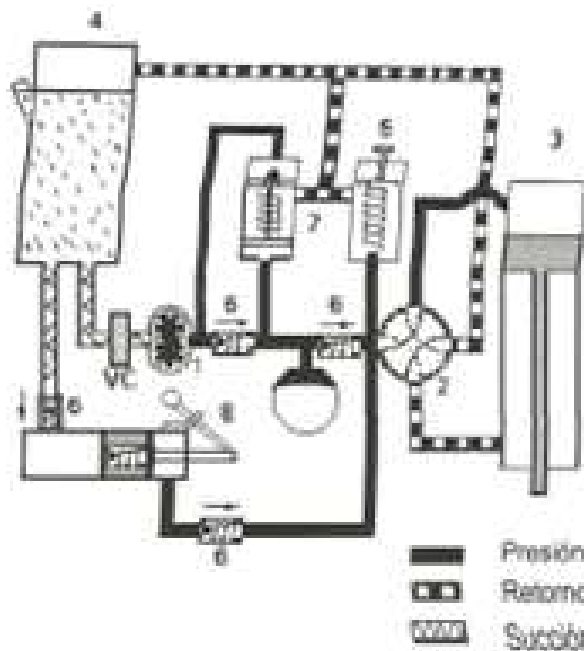


Fig. 33.4a Sistema hidráulico con válvulas antirretorno (6), regulador de presión (7), bomba manual (8) y válvula cortafuego VC.

- 1 Bomba mecánica; 2 Válvula selectora; 3 Martinete hidráulico; 4 Depósito de líquido hidráulico; 5 Válvula de alivio de presión.

para otros fines, como cargar el acumulador hidráulico. Esta válvula (2) aísla el acumulador y los dispositivos aguas arriba en tanto que hay presión hidráulica suficiente a la salida de la bomba manual.

Nótese también, Fig. 33.4a, que la bomba manual se abastece del depósito por tubería independiente de la bomba mecánica. La toma para este fin está a nivel inferior de depósito. En caso de pérdida importante de fluido hidráulico la conexión a ras de depósito permite aprovechar mínimas cantidades de líquido presentes en el depósito. Volveremos sobre este punto más adelante, al estudiar los depósitos para fluidos hidráulicos.

## 4. TIPOS DE SISTEMAS HIDRÁULICOS

4.1 La clasificación de los sistemas hidráulicos del avión se efectúa a partir de sus dos secciones fundamentales: sección de potencia y actuadora.

Se llama *sección de potencia* la parte del sistema que produce, limita y dirige la presión hidráulica necesaria para efectuar los movimientos de los mecanismos del avión. Por definición, la sección de potencia incluye las bombas, depósitos, válvulas y elementos de control.

La *sección actuadora* es la parte del sistema que contiene los elementos de actuación de los mecanismos y sus unidades de transmisión.

4.2 Según la arquitectura de la sección de potencia, los sistemas hidráulicos se clasifican en dos clases, sistemas abiertos y cerrados.

Un sistema hidráulico es abierto cuando la sección de potencia mantiene un valor muy bajo de la presión hidráulica operativa durante las fases en que no se actúa mecanismo del avión, es decir, durante las fases inactivas.

Por el contrario, los sistemas hidráulicos cerrados mantienen siempre la presión hidráulica en su valor máximo operativo.

4.3 Según la arquitectura de la sección actuadora, los sistemas hidráulicos se clasifican de esta forma: a) Sistemas de control manual; b) Sistemas de control automático.

Es característico del sistema de control manual que, una vez puesto en funcionamiento, no existe control sobre el desplazamiento del martinete. Por tanto, si el operador quiere detener el movimiento del elemento móvil del martinete, antes de que alcance el final de su recorrido, es necesario situar la válvula selectora en la posición neutra. Con la válvula selectora en posición neutra se cierra el paso de líquido a presión hacia el martinete.

Por el contrario, en los sistemas de control automático existen mecanismos con capacidad para desplazar los martinetes en proporción al movimiento de la palanca de mando. Son los mecanismos “seguidores” o mecanismos provistos con realimentación.

Los mecanismos de realimentación supervisan los desplazamientos y detectan en qué posición de recorrido se encuentra el actuador en un momento determinado.

### **Sistemas hidráulicos abiertos**

4.4 El sistema hidráulico abierto se suele usar en aviación general. Es un sistema poco complicado y de mantenimiento más simple que el sistema cerrado.

Como hemos dicho, el sistema hidráulico abierto se caracteriza porque la presión hidráulica se mantiene en un valor reducido cuando el sistema está en estado de espera (el sistema no efectúa servicio hidráulico).

La Fig. 33.5 es el diagrama de este sistema.

El gráfico de la parte superior muestra el sistema en estado de espera, presto para realizar un servicio. En el diagrama inferior se muestra el sistema en estado de impulsión de un mecanismo. Cuando el sistema se encuentra en estado de espera el líquido hidráulico sale del depósito y retorna a él sin pasar por mecanismo alguno. Nótese que las válvulas selectoras están en posición neutra.

Ahora bien, cuando se pone en línea una de las válvulas selectoras, porque se quiere desplazar un mecanismo del avión, el líquido hidráulico se dirige al martinete seleccionado. La oposición al desplazamiento del líquido que hace el martinete permite el aumento de la presión hidráulica, forzada por la bomba.

Si se comparan ambas actuaciones se observa que el estado de espera sitúa la bomba hidráulica en una condición de trabajo muy favorable, prácticamente sin carga o es muy pequeña. La única resistencia que la bomba tiene que vencer en estado de espera es la que opone el rozamiento del líquido en las tuberías y en los mecanismos de la conducción.

4.5 Dos comentarios adicionales sobre el sistema abierto, uno referente a su definición y otro a sus características de operatividad:

a) Con mayor precisión, se dice que un sistema hidráulico es abierto cuando tiene las válvulas selectoras conectadas en serie.

b) Si bien el sistema abierto es sencillo de diseño, presenta no obstante una limitación operativa importante: no se puede accionar más de un mecanismo al mismo tiempo. Limitación importante para aviones de cierta envergadura y prestaciones medias o altas.

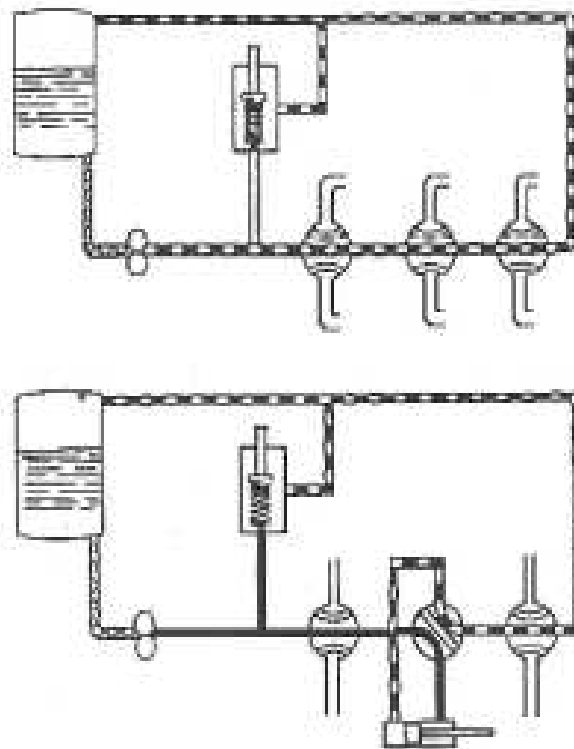


Fig. 33.5 Estados de funcionamiento de un sistema hidráulico abierto: arriba en estado de espera, abajo en estado de impulsión.

## Sistemas hidráulicos cerrados

4.6 El sistema hidráulico cerrado, en contraposición con el anterior, mantiene la presión operativa nominal en todo el sistema. Esto quiere decir que la presión en las tuberías de distribución general es máxima en todo momento.

El sistema cerrado facilita la rapidez de actuación de los mecanismos. Además, la posibilidad de conectar mecanismos a la línea de distribución general, donde se mantiene la presión nominal, permite multiplicidad de servicios hidráulicos a un mismo tiempo. Por tanto es un sistema con capacidad para operar distintos mecanismos a la vez. La Fig. 33.6 muestra un diagrama de sistema hidráulico cerrado. Debe observarse que ahora es posible situar los martinets de los mecanismos en paralelo, de forma que se puede actuar más de uno a la vez.

4.7 Vimos a propósito del sistema hidráulico de tipo abierto que el estado de espera se obtiene gracias a la colocación en posición neutra de todas las válvulas selectoras. Esta situación permite aliviar la carga de trabajo de la bomba, puesto que la única restricción al flujo que se presenta es el rozamiento interno del líquido por las canalizaciones. Es necesario encontrar también solución equivalente en los sistemas de tipo cerrado, para no sobrecargar la bomba hidráulica.

Existen dos alternativas para descargar la bomba hidráulica:

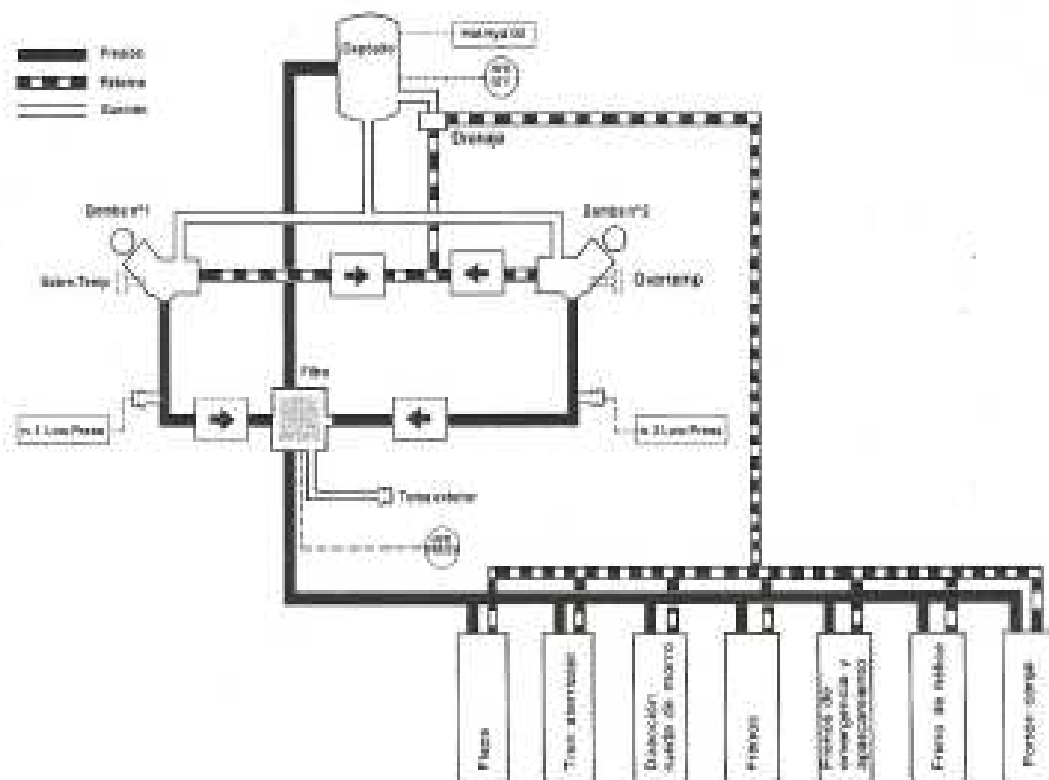


Fig. 33.6 Esquema de sistema hidráulico cerrado. Observe la disposición en paralelo de los martinetes actuadores.

- En los sistemas que emplean bomba de caudal constante, es decir, bombas cuyo caudal de líquido depende de las revoluciones por minuto de la misma, es necesario incorporar un regulador de presión para derivar el líquido al depósito una vez que se ha alcanzado la presión nominal. Véase a estos efectos la posición del regulador en la Fig. 33.3, posición en la que el líquido hidráulico se deriva hacia el depósito, via la línea de retorno.
- Más usual es el empleo de bombas de caudal variable (bombas de desplazamiento variable). Se denominan así porque el caudal de salida puede oscilar desde el máximo requerido por el sistema hasta un valor mínimo, donde el único flujo que proporciona la bomba es el interno a ella. Se trata de un flujo pequeño e interno que sirve como lubricación y refrigeración de la bomba y que retorna más tarde al depósito. La condición de flujo mínimo coincide con la obtención de la máxima presión hidráulica del sistema, cuando no es necesario dirigir más presión al circuito.

Por tanto, repasando el cuadro de combinaciones posibles, quedaría de la forma siguiente:

1. Con la bomba de caudal fijo, tal como la bomba de engranajes, es necesario el regulador de presión para descargar la bomba, pues el circuito no admitirá, en muchas ocasiones, la cantidad de líquido que impulsa la bomba. El

regulador se ocupa de la tarea de derivar hacia el colector de retorno la cantidad de líquido que no necesita el sistema en un momento determinado.

2. Con la bomba de caudal variable no se necesita el regulador de presión. La razón es que el control del flujo lo efectúa la propia bomba.
3. Si existe regulador de presión es esencial el acumulador hidráulico; de otra forma, ante una pequeña fuga de líquido, la bomba entraría en una fase de carga y descarga cíclicas.
4. Ahora bien, el acumulador hidráulico es prescindible si existe bomba de caudal variable. La presencia o no del acumulador en un sistema con este tipo de bomba depende de otras consideraciones, en particular de la demanda volumétrica de líquido del sistema.

### Sistemas hidráulicos secuenciales

4.8 Hay mecanismos en el avión cuyo desplazamiento debe ser secuencial, o por etapas, lo que complica algo el esquema hidráulico. El movimiento secuencial se obtiene por procedimientos mecánicos, hidráulicos y eléctricos. El movimiento secuencial de tipo mecánico se consigue por medio de las llamadas válvulas de secuencia. Las válvulas pertenecen a los mecanismos que ejecutan los movimientos etapa por etapa. Así, sólo cuando se completa el movimiento inicial o precedente del mecanismo, o de alguna de sus partes, se ejecuta el siguiente.

La Fig. 33.6a es un ejemplo de sistema hidráulico con secuencia mecánica. Se trata del circuito de extensión y retracción de pata del tren.

Supongamos que se sitúa la válvula selectora (1) en el sentido de retracción del tren. Es obvio que las compuertas que cierran el alojamiento del tren se deben replegar una vez que el tren está arriba. Con este fin la selectora (1) envía presión hidráulica a la cara principal del émbolo del martinete (2) del tren de aterrizaje. También llega presión a la entrada de la válvula secuencial A de la pata del tren.

Sin embargo, en este instante, la presión que actúa sobre la bola de la válvula A mantiene

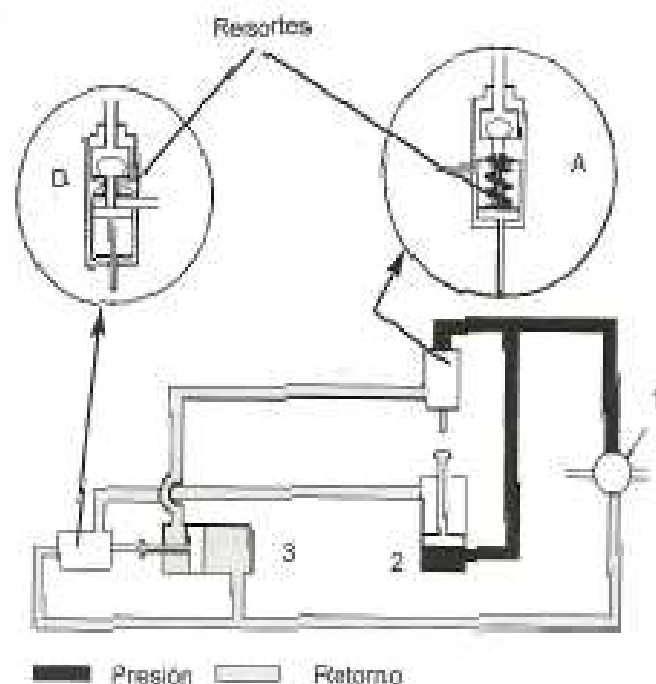


Fig. 33.6a Sistema hidráulico con secuencia de tipo mecánico. Ejemplo de circuito de extensión y retracción de tren de aterrizaje.

cerrada la boca de entrada de la válvula secuencial, de manera que sólo recibe presión hidráulica la superficie principal del émbolo (2). Por su parte, la otra válvula de secuencia de las compuertas (válvula B) está abierta. Permite el paso de fluido desde el cilindro del tren (2) a la tubería de retorno y al depósito, por una de las vías de la válvula selectora (1).

Cuando la pata del tren se ha replegado y termina su recorrido, el extremo del vástago del cilindro (2) hace contacto con la varilla de la válvula de secuencia A, de tal modo que empuja la barra y desplaza la bola de su asiento. La bola asciende, empujada por la varilla, y la presión hidráulica puede pasar al cilindro de las compuertas (3) para iniciar su retracción.

Completada la retracción de las compuertas, el émbolo de su martinete está a la derecha de su recorrido, según el dibujo. En esta posición el vástago del martinete de compuertas pierde contacto con la varilla empujadora de la válvula secuencial B. El resorte de la válvula, ahora sin oposición, se extiende y ajusta la bola en su asiento, cerrando la válvula.

4.9 Se emplea también el sistema de secuencia por presión hidráulica. En este tipo se utilizan válvulas de prioridad (ver apartado 5.20b). Están ajustadas para abrir a presión superior que la operativa necesaria del mecanismo que precede en el movimiento. Así, sólo cuando finaliza el recorrido del mecanismo precedente y aumenta la presión, se abre la válvula de alivio y conecta el paso de líquido hidráulico al siguiente subsistema.

### **Sistemas hidráulicos de control automático**

4.10 La característica de estos sistemas es la capacidad de control de los martinetes hidráulicos, de forma automática. Se debe a los sistemas de seguimiento del movimiento (sistemas de realimentación), que limitan su desplazamiento de forma proporcional al ajuste hecho por el piloto.

El modo de operación es el siguiente: el movimiento del mecanismo, impulsado por el martinete, se inicia cuando se mueve la palanca de control y se pone en línea la válvula selectora. El sistema de seguimiento controla en todo momento cuál es la posición de recorrido del mecanismo, de manera que sitúa la válvula selectora en la posición neutra una vez que éste se ha hecho un recorrido proporcional al movimiento de la palanca de control.

### **Sistemas compactos**

4.11 Con el nombre de sistema hidráulico compacto se conoce el equipo en el que todos los componentes, a excepción de los martinetes, están contenidos en un mismo cárter o unidad, o en un sentido más descriptivo, en un paquete modular. Por esta razón el sistema compacto se llama también paquete hidráulico. Hay unidades compactas que no siguen exactamente esta regla, y habría que decir que cada día más. Así, por ejemplo, es posible que las bombas hidráulicas no estén contenidas en el mismo paquete, pero esta circunstancia no desvirtúa el concepto de integración del sistema en una unidad compacta.



El sistema compacto puede ser abierto o cerrado, desde el punto de vista hidráulico. Por consiguiente, no es una nueva clase de sistema hidráulico, sino un concepto distinto de instalación.

La Fig. 33.7 es el esquema típico de un paquete hidráulico, que se emplea en el caso del dibujo para bajar y subir el tren de aterrizaje.

El acumulador del paquete hidráulico suministra la presión necesaria para mover el martinete. El acumulador se recarga por medio de la bomba, que es movida por un motor eléctrico.

En funcionamiento, cuando se actúa sobre el mando de la válvula selectora para mover el tren de aterrizaje, la presión hidráulica del acumulador disminuye. En estas condiciones, el vástago del acumulador se eleva hasta hacer contacto con el interruptor del motor eléctrico. El contacto cierra el circuito eléctrico que alimenta la bomba y se pone en funcionamiento. La presión hidráulica aumenta de nuevo, de manera que el vástago empieza a descender. El contacto toca con el interruptor del motor eléctrico, abre el circuito, y desconecta la bomba.

Observe que la presión hidráulica se mantiene entre valores que se corresponden con las posiciones de conexión y desconexión del motor eléctrico de la bomba.

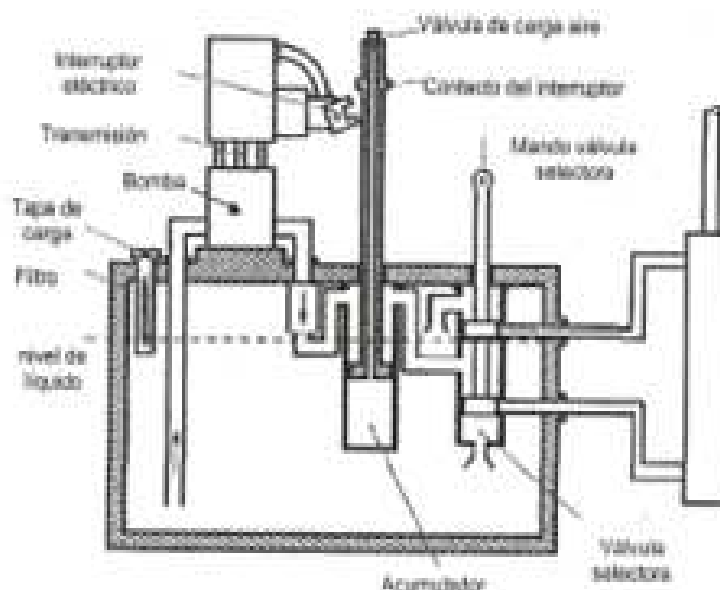


Fig. 33.7 Paquete hidráulico

El interruptor eléctrico de la bomba se desconecta cuando las tres ruedas del tren de aterrizaje están bloqueadas y arriba. El tren se mantiene en esta posición por la presión hidráulica de los martinetes, de manera que este sistema no necesita pestillos u otros elementos mecánicos para bloquear el tren en la posición "arriba", ver Capítulo 34.

La ventaja principal de los paquetes hidráulicos es el ahorro de peso que suponen, pues se pueden situar en las proximidades de los mecanismos que tienen que mover.

El sistema compacto puede ser abierto o cerrado, desde el punto de vista hidráulico. Por consiguiente, no es una nueva clase de sistema hidráulico, sino un concepto distinto de instalación.

La Fig. 33.7 es el esquema típico de un paquete hidráulico, que se emplea en el caso del dibujo para bajar y subir el tren de aterrizaje.

El acumulador del paquete hidráulico suministra la presión necesaria para mover el martinete. El acumulador se recarga por medio de la bomba, que es movida por un motor eléctrico.

En funcionamiento, cuando se actúa sobre el mando de la válvula selectora para mover el tren de aterrizaje, la presión hidráulica del acumulador disminuye. En estas condiciones, el vástago del acumulador se eleva hasta hacer contacto con el interruptor del motor eléctrico. El contacto cierra el circuito eléctrico que alimenta la bomba y se pone en funcionamiento. La presión hidráulica aumenta de nuevo, de manera que el vástago empieza a descender. El contacto toca con el interruptor del motor eléctrico, abre el circuito, y desconecta la bomba.

Observe que la presión hidráulica se mantiene entre valores que se corresponden con las posiciones de conexión y desconexión del motor eléctrico de la bomba.

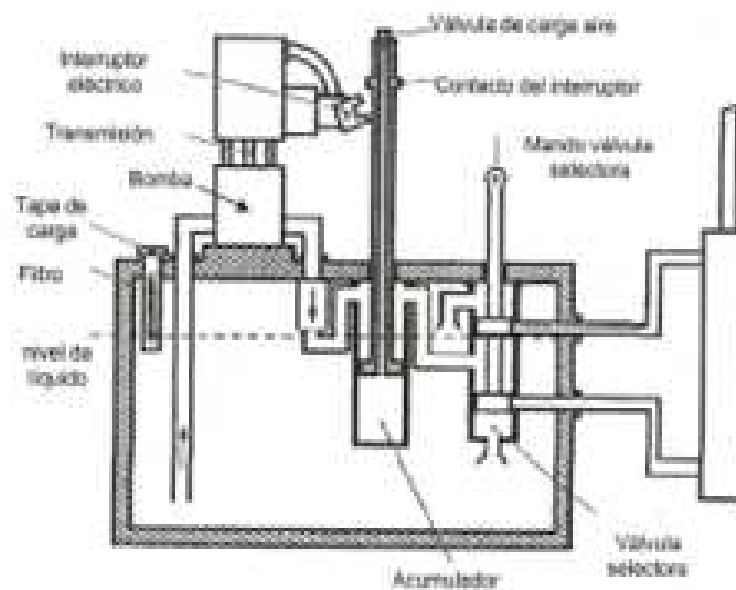


Fig. 33.7 Paquete hidráulico

El interruptor eléctrico de la bomba se desconecta cuando las tres ruedas del tren de aterrizaje están bloqueadas y arriba. El tren se mantiene en esta posición por la presión hidráulica de los martinetes, de manera que este sistema no necesita pestillos u otros elementos mecánicos para bloquear el tren en la posición "arriba", ver Capítulo 34.

La ventaja principal de los paquetes hidráulicos es el ahorro de peso que suponen, pues se pueden situar en las proximidades de los mecanismos que tienen que mover.

## 5. COMPONENTES DEL SISTEMA HIDRÁULICO

Iniciamos el estudio individual de los componentes principales del sistema.

### Válvula cortafuego

5.1 Una válvula cortafuego (VC en la Fig. 33.4a) está situada en la línea de entrada de la bomba hidráulica mecánica. La válvula corta el paso del fluido hidráulico cuando se activa el pulsador contra-incendio del motor afectado. Ver Fig 33.17b.

### Bombas

5.1a La bomba aumenta la presión hidráulica hasta el valor nominal que precisa el sistema.

Las bombas se impulsan por medios externos. La energía necesaria para impulsar las bombas se obtiene por: a) motores eléctricos; b) motor del avión, a través de una toma de potencia; c) turbina de aire de impacto (RAT, Capítulo 41) movida por la presión dinámica del aire. Este último sistema de accionamiento de la bomba hidráulica es un sistema de emergencia, y se emplea cuando hay avería en el sistema o sistemas principales. En los grandes aviones existen hasta tres sistemas hidráulicos independientes, cuyas bombas se accionan mediante combinación de los medios citados con anterioridad. De esta forma la fiabilidad de los sistemas hidráulicos es excepcionalmente alta, pues resulta muy improbable un fallo total, esto es, un fallo que puede afectar a todos los sistemas a un mismo tiempo.

### *Clasificación de las bombas hidráulicas*

5.2 Las bombas hidráulicas son de dos tipos: 1. Bombas de caudal constante, o de desplazamiento constante; 2. Bombas de caudal variable, o de desplazamiento variable.

Se dice que una bomba es de desplazamiento constante cuando el caudal de líquido que suministra es proporcional al régimen de giro de la bomba (revoluciones por minuto). Por tanto, la cantidad de líquido desplazada es fija y constante por cada revolución de la bomba.

Por el contrario, se dice que una bomba es de desplazamiento variable cuando el caudal de líquido que suministra a la salida es independiente del número de revoluciones por minuto de la bomba. La cantidad de líquido desplazada por revolución depende de las necesidades del sistema. De hecho, hay situaciones en las que el único flujo de líquido es el que pasa por el interior de la bomba, con fines de lubricación y refrigeración.

5.3 La variedad de bombas hidráulicas para aviación existentes en el mercado es muy extenso, pero todas ellas se sitúan dentro de dos categorías principales:

- Bombas de engranajes

- bombas de pistones

Estos grupos de bombas tienen un campo de aplicación específico.

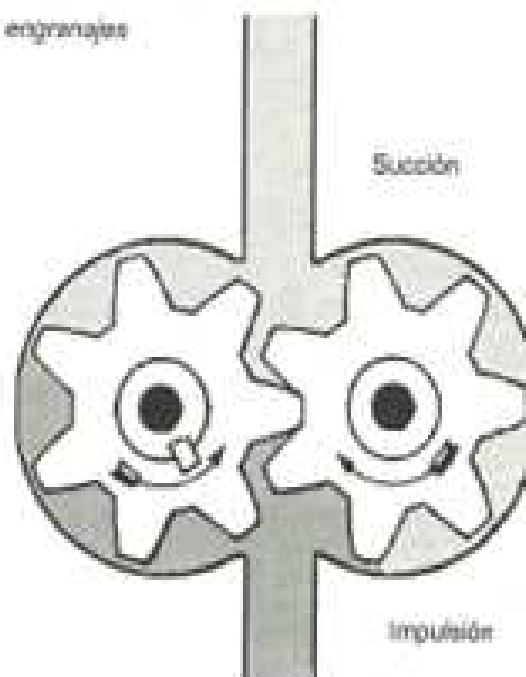
El orden citado se corresponde con el de aplicación en relación con la presión máxima de impulsión, de menor a mayor presión hidráulica de servicio.

*a) Bomba de engranajes*

Se emplea en muchos sistemas hidráulicos de presión intermedia. La bomba proporciona excelentes resultados cuando se emplea en líneas de recuperación de líquido, de retorno, o en líneas donde la presión no es excesivamente alta.

El rendimiento volumétrico de la bomba de engranajes es relativamente bajo, pero tiene la ventaja de su fabricación sencilla.

Fig. 33.7a Bomba de engranajes



(Nota: el rendimiento volumétrico de la bomba es el cociente entre el caudal de líquido que comprime la bomba y el que teóricamente debería de comprimir, conforme a su geometría y dimensiones. Dicho en otros términos, el rendimiento volumétrico expresa las fugas de líquido que hay en la bomba durante el proceso de compresión, fugas que se deben a las holguras existentes en el interior de los componentes de la bomba).

Los engranajes son de dientes cilíndricos rectos, Fig. 33.7a. Por tanto, las ruedas de los engranajes están talladas con dientes rectos en la periferia, herméticamente cerrados en el cuerpo de la bomba.

El cuerpo de bomba se llama cárter, y dispone de una boca u orificio de entrada de líquido, y otra de salida (las llamadas puertas de succión y de presión).

El líquido llega a la entrada de la bomba a la presión del depósito y penetra en el orificio de entrada. El arrastre de líquido es posible porque los dientes al girar dan lugar a volúmenes crecientes en la zona de entrada de la bomba. El líquido pasa entre las cavidades que forman los dientes de los engranajes y la carcasa interior del cuerpo de la bomba. Finalmente, es impulsado desde la cavidad de salida de los engranajes hasta la boca de expulsión, y de aquí a la conducción general del sistema.

#### *b) Bomba de pistones*

Es la bomba estándar para sistemas hidráulicos de alta presión. Hay diversas modalidades de estas bombas.

Funcionalmente, la bomba de pistones puede ser de caudal constante o variable.

Mecánicamente se clasifican por la disposición de los pistones: 1. bombas de pistones axiales; 2. bombas de pistones radiales. Nos referimos sólo, por brevedad, a la bomba de pistones axiales, que es la más empleada (ver esquemas de la Fig. 33.8a y 33.8b).

El principio de funcionamiento es el siguiente: los pistones (6), Fig. 33.8a, en número de siete o nueve, según los casos, se alojan en otros tantos cilindros, taladrados en un bloque. Dicho bloque se une al eje de arrastre de la bomba mediante una junta universal. Así, pues, eje y bloque de cilindros giran juntos. Puesto que el eje de la bomba y el bloque de cilindros forman un cierto ángulo, resulta que los pistones se desplazan hacia dentro y hacia fuera una vez por cada revolución de la bomba.

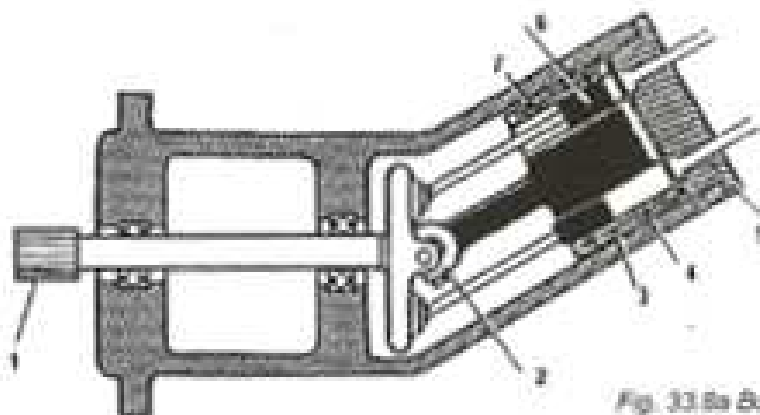


Fig. 33.8a Bomba hidráulica de pistones axiales. 1 Pistón de arrastre; 2 Junta universal; 3 Cámara de admisión de líquido del pistón; 4 Bloque de cilindros; 5 Bloque de cabeza; 6 Pistón; 7 Cámara de expulsión de líquido.

Comprobemos estos desplazamientos de forma gráfica, con la ayuda del esquema (Fig. 33.8b, parte superior).

Cuando el pistón de la izquierda en A gira  $180^\circ$  y pasa a ocupar la posición de la derecha (tal como en B) se produce la embolada de líquido. De B a A se produce

la carrera de admisión. Los dos gráficos de abajo muestran que la carrera de los pistones y por tanto el caudal de líquido impulsado por la bomba depende del ángulo horizontal  $\alpha$  que forma el bloque de cilindros.

La cabeza del bloque es una parte fija y tiene dos ranuras circulares, que se enfrentan y conectan la entrada y salida de líquido con la parte superior del bloque de cilindros. De esta manera los pistones, en su movimiento de giro, se ponen en comunicación periódicamente con la boca de admisión o de expulsión de líquido.

### Acumuladores hidráulicos

5.4 El acumulador hidráulico es un depósito que está dividido en dos cámaras por medio de un diafragma de material flexible sintético (membrana).

Una de las cámaras contiene el líquido hidráulico a la presión del sistema, y la otra cámara tiene una carga de gas a presión. El gas es nitrógeno, que es poco activo desde el punto de vista químico.

La Fig. 33.9 muestra los tipos básicos de acumuladores hidráulicos que se emplean en aviación.

Señalemos que el acumulador tipo (a), tipo de contacto gas-líquido, sin separador, es obsoleto por el peligro que representa la posible disolución del gas en el líquido. Esto daría lugar a la presencia de burbujas de gas en las conducciones, que no son deseables.

5.5 Las funciones que cumplen los acumuladores hidráulicos son las siguientes:

1. Prevenir el ciclaje de carga y descarga de la bomba hidráulica, ante las posibles fugas de líquido en el sistema.

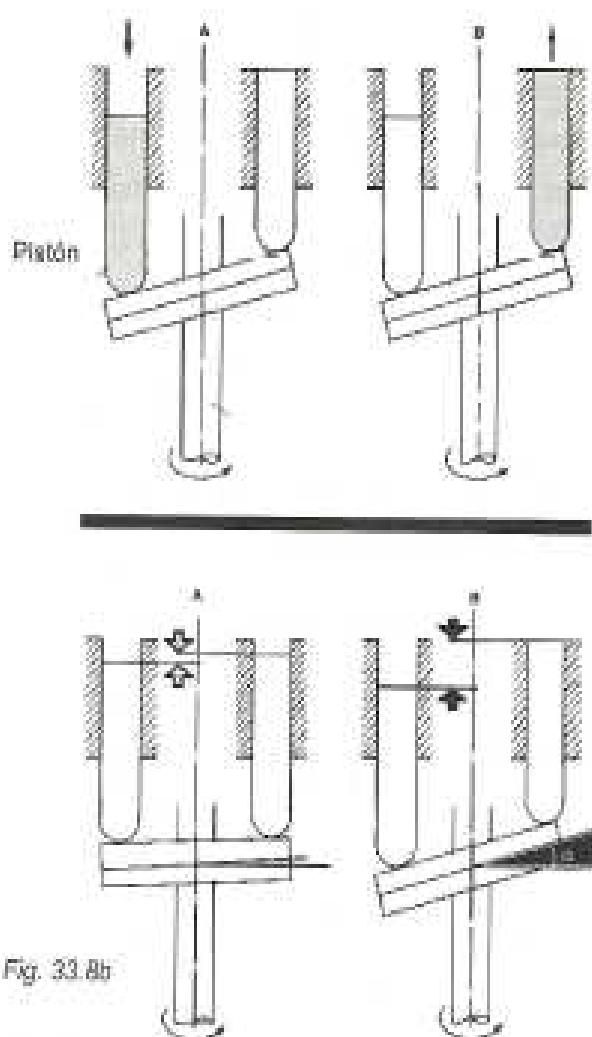


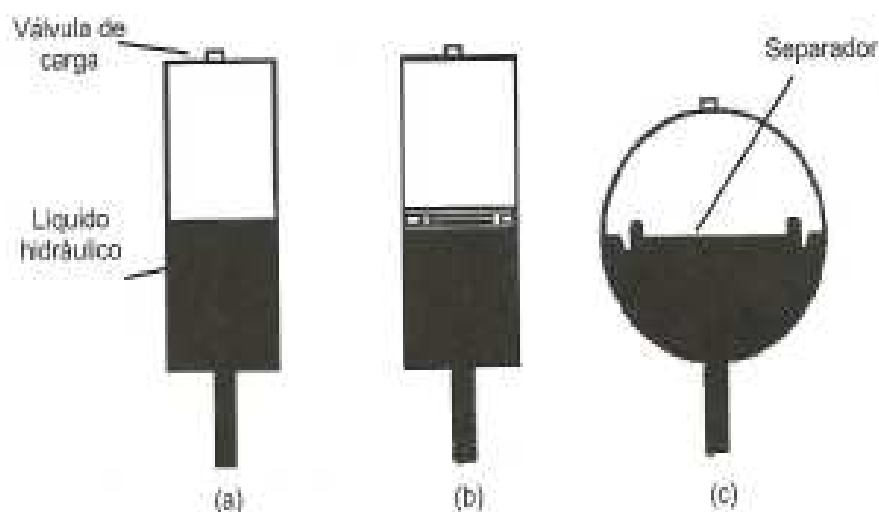
Fig. 33.8b

2. Amortiguar las oscilaciones de presión en el sistema. Esto se efectúa por medio de la compresibilidad del gas del acumulador.
3. Suministrar presión de emergencia en caso de avería de la bomba hidráulica.
4. Permitir la expansión térmica del líquido hidráulico.

Las funciones (2) y (3) son las que requieren comentarios adicionales.

Respecto a la amortiguación de las oscilaciones de presión tenga presente que cuando el émbolo de un martinete llega al final de su recorrido, la presión dentro del sistema tiende a crecer muy rápidamente. En efecto, el regulador de presión, al igual que sucede con todos los mecanismos, tiene cierta inercia y tarda un tiempo en abrir la válvula de retorno. Esta sobrepresión, casi instantánea, es amortiguada por la carga de gas del acumulador. El separador de membrana se desplaza con las oscilaciones de presión, y amortigua la pulsación mediante la compresión del gas de la cámara del acumulador.

La cuestión (3) es de interés en aviación general que no disponga de sistemas hidráulicos de respaldo. Con la presencia del acumulador en el sistema hay presión



*Fig. 33.9 Tipos de acumuladores hidráulicos*

hidráulica suficiente para desplazar un mecanismo, al menos, antes que la presión se venga completamente abajo.

### **Depósitos de líquido hidráulico**

5.6 El depósito de líquido hidráulico es el recipiente que almacena el líquido. La cantidad de líquido que se almacena es suficiente para las necesidades del sistema, con existencia de una reserva que sirve para compensar las fugas que se producen.

En términos generales se puede decir que la reserva oscila en torno al 10% de las necesidades de líquido totales.

Las funciones generales que cumplen los depósitos hidráulicos son:

1. Almacenar el líquido que se emplea como medio transmisor de potencia.
2. Compensar las pérdidas debidas a las pequeñas fugas.
3. Actuar de regulador térmico.
4. Permitir la desemulsión del líquido<sup>1</sup>.

5.7 Los depósitos que se emplean en aviación son de dos tipos: presurizados y no presurizados.

Los depósitos no presurizados se emplean cuando la altitud máxima de vuelo prevista para la aeronave es pequeña.

En este caso, la presión ambiente, a la altitud máxima de vuelo, es suficiente para: (a) la alimentación de la bomba hidráulica es correcta y la presión de depósito suficiente para impulsar el líquido hasta la entrada de la bomba; (b) que no se formen burbujas debido a la baja presión.

Los depósitos presurizados se emplean en aviones que operan a alta altitud.

Como valor orientativo, digamos que la presurización de los depósitos oscila entre 0,25 kg/cm<sup>2</sup> y 4 kg/cm<sup>2</sup>, según el tipo de sistema.

Hay distintos métodos para la presurización de depósitos. De acuerdo con el sistema de presurización empleado, los depósitos pueden ser:

- Depósitos presurizados por efecto venturi.
- Depósitos presurizados por aire a presión.
- Depósitos presurizados por émbolo.

5.8 La Fig. 33.10 es el esquema de depósito convencional. El líquido retorna al depósito a través de la boca de conexión (4) y sale del depósito hacia el sistema por la boca (9), hacia la línea de alimentación de la bomba. La boca señalada con el número (8) corresponde a la salida para emergencia y se conecta a la tubería de entrada de la bomba de emergencia.

Aunque el depósito tiene una rejilla filtrante en la boca de carga, la acción positiva de filtrado se obtiene a la entrada de la línea de retorno, cuando el líquido hidráulico ha pasado por el sistema. La salida normal hacia la bomba —la señalada con el número (9)— se efectúa a través de tubería de nivel (6).

---

<sup>1</sup> El agua puede introducirse en el sistema hidráulico por vías muy diversas. Quizás, la forma más usual se refiere a la falta de precaución en taponar bien las líneas cuando se está realizando la sustitución de una tubería o de un componente del sistema, de manera que puede haber entrada de humedad en el circuito. Cierta presencia de humedad, por lo demás, es inevitable.



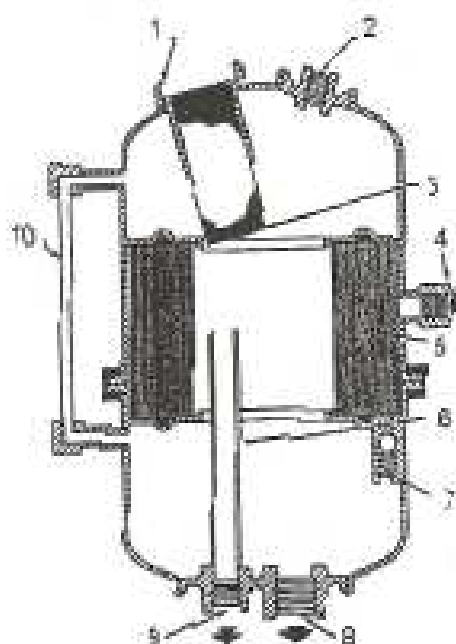


Fig. 33.10 Depósito de líquido hidráulico

- 1 Boca de carga
- 2 Entrada de aire presurización depósito
- 3 Filtro rejilla
- 4 Boca de línea de retorno
- 5 Filtro
- 6 Tubería de nivel
- 7 Válvula de alivio de presión
- 8 Salida de emergencia
- 9 Conexión a línea de la bomba
- 10 Mirilla de nivel de líquido hidráulico

La tubería de nivel es un tubo que se prolonga hacia el interior del depósito. Esta disposición asegura que, en el supuesto de rotura o fuga masiva de líquido a través de algún punto del sistema, la pérdida cesa cuando el líquido alcanza el extremo del tubo de nivel, permaneciendo un remanente en el depósito.

Por último digamos que la válvula de alivio (7) se abre en caso de obturación (colmatación) del filtro (5), para permitir la entrada de líquido en el depósito aunque no pase por el filtro.

¿Qué capacidad debe tener el depósito de líquido hidráulico?

El proyectista del sistema debe calcular, en primer lugar, el volumen de líquido necesario para que funcionen, por una vez, toda los mecanismos de emergencia. Como se aprecia en la Fig. 33.10a suele ser una cantidad significativa de la presente en el depósito.



Fig. 33.10a Volúmenes aproximados de fluido hidráulico para distintas funciones y necesidades.

Después debe tener en cuenta los cambios volumétricos del líquido debido a la variación de su temperatura y el volumen de aire para presurización. A continuación debe estimar los desplazamientos volumétricos de fluido como resultado del movimiento de los mecanismos del avión (líquido operativo). Asimismo, como las fugas son inevitables, debe tener en cuenta esta circunstancia. Advierta por último el lector dos detalles adicionales. En primer lugar que la entrada

de la tubería de retorno de líquido se efectúa en sentido tangencial a la superficie de la pared. Esto se hace con el fin de que el líquido pierda la totalidad de su energía cinética de entrada mediante un movimiento de rotación por la pared del depósito. Es una buena medida para separar el aire presente en el líquido a la par que evita la formación de mucha espuma.

En segundo lugar nótese la presencia de tabiques anti-olas. Desde luego su presencia refuerza mecánicamente el depósito, pero la función principal es evitar que el fluido hidráulico de retorno, sometido a la fuerte rotación de entrada, deje sin líquido la boca de la tubería de nivel de alimentación de la bomba (efecto núcleo de tornellino).

## Elementos de control

5.9 Los sistemas hidráulicos tienen componentes que controlan y dirigen el líquido a los distintos subsistemas. Hay un número considerable de estos elementos.

### Válvulas selectoras

5.10 Tiene la función de dirigir el líquido hidráulico a la parte adecuada del sistema. Las válvulas selectoras se llaman también válvulas de control o válvulas distribuidoras.

La válvula estándar es de cuatro orificios, que conecta las líneas de presión y de retorno a los dos lados del martinete (ver Fig. 33.11).

Los tres gráficos de la izquierda muestran el modo de funcionamiento de la válvula en sistema hidráulico cerrado. A la derecha se muestra el modo de operación en sistema abierto.

El modo de operación de la válvula selectora es el mismo en ambos sistemas, excepto en la posición neutra.

Nótese que la válvula selectora en el sistema hidráulico cerrado cierra el paso de líquido cuando está en posición neutra. La situación permite el incremento de la presión en el sistema si la bomba está en funcionamiento, al existir gran contrapresión.

Las válvulas selectoras se pueden clasificar en dos grandes grupos: válvulas de corredera y radiales.

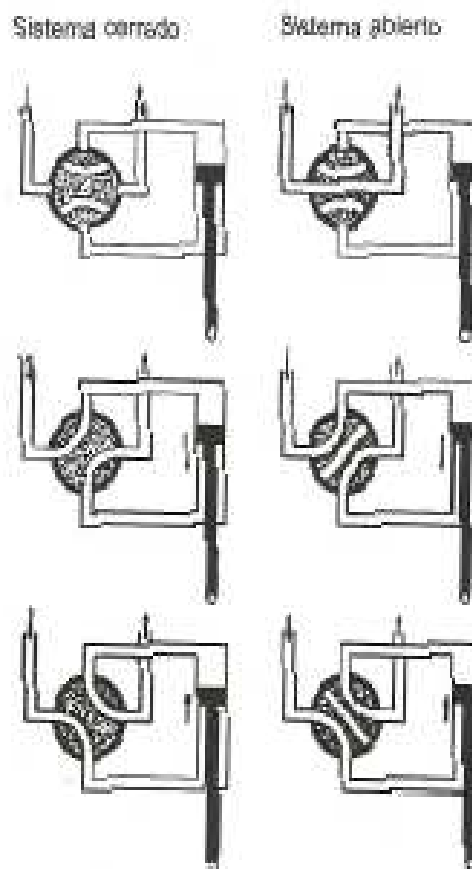


Fig. 33.11 Funcionamiento de la válvula selectora en sistema hidráulico cerrado o abierto.

a) *Válvula selectora de corredera*

La Fig. 33.12 es el esquema de válvula de corredera de cuatro orificios. Se trata, entonces, de una válvula de dos vías, porque hay dos vías posibles de paso.

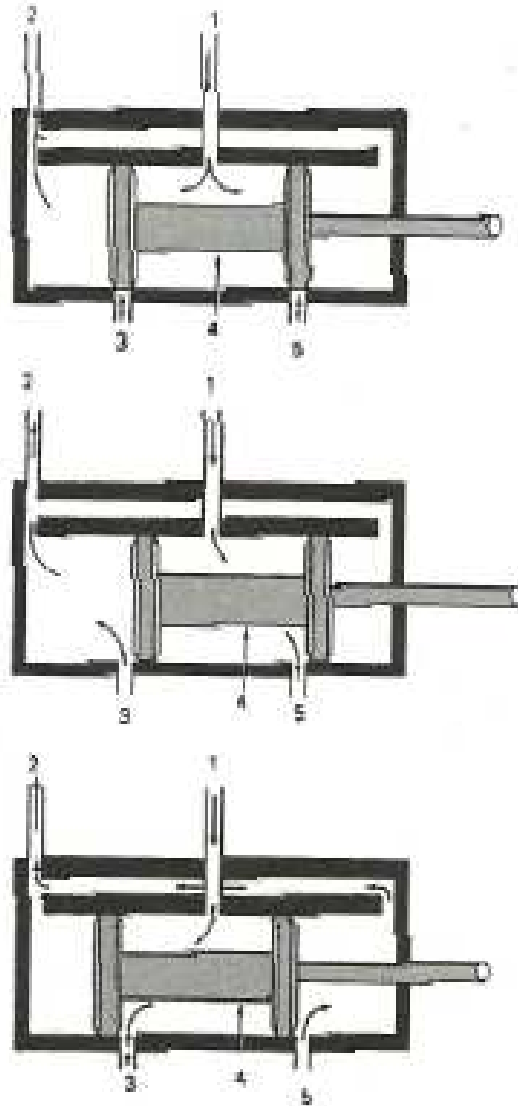


Fig. 33.12 Válvula de corredera de dos vías.

- 1 Orificio para línea de presión
- 2 Orificio para línea de retorno
- 3 y 5 Orificios para línea alternativa
- 4 Carrete de la corredera.

El cuerpo de válvula tiene los orificios necesarios para el paso del líquido. En el interior del cuerpo de la válvula se puede desplazar un eje corredera, que tiene un cierto número de émbolos en forma de carretes (en la ilustración hay dos émbolos en forma de disco).

Las tres posiciones dibujadas del carrete de la válvula ponen de manifiesto las posibilidades prácticas de abertura y cierre de los orificios de paso de líquido.

Las válvulas de corredera encuentran numerosas aplicaciones en los sistemas hidráulicos de las aeronaves. Se puede afirmar que no hay sistema actual sin la presencia de válvula de corredera.

Debemos señalar, no obstante, que hay múltiples variantes de este tipo de válvula para cubrir necesidades específicas y concretas.

La válvula de corredera pertenece a la categoría de las válvulas medidoras. Esta últimas ejercen funciones de control del caudal de líquido que pasa a las líneas alternativas, tapando o descubriendo de forma gradual los orificios de paso de la válvula. Esta función no la poseen todas las válvulas. En el caso que comentamos, el desplazamiento proporcional de la corredera,

y la abertura también proporcional de los orificios de paso, permite la graduación de la velocidad de actuación del mecanismo enganchado. Basta para ello controlar la cantidad de líquido que pasa por la válvula.

### b) *Válvula selectora radial*

La válvula radial es más simple que la de corredera. Normalmente es de accionamiento manual, y se emplea en sistemas hidráulicos y de combustible, sobre todo en aviación general.

La válvula consta del cuerpo de válvula, en uno de cuyos lados laterales están las bocas de entrada y salida de líquido. La válvula tiene una leva central que se hace girar por medio de un pasador de aleta, situado justo encima del cuerpo de la válvula. El pasador es sencillamente una llave de cono. El giro de la leva acciona unos empujadores que abren o cierran los orificios de paso de líquido.

## **Válvulas electrohidráulicas y servoválvulas**

5.11 Según la forma de mover las válvulas éstas se clasifican en dos grupos:

- Válvulas de accionamiento mecánico (o manual)
- Válvulas de accionamiento eléctrico.

La válvula de accionamiento eléctrico se emplea cuando la distancia entre la cabina de mando y la posición física de la válvula en el avión es significativa, de modo que no es práctico disponer de articulaciones mecánicas de accionamiento.

Según la precisión de movimiento que es posible obtener con las válvulas hidráulicas eléctricas, se pueden distinguir dos tipos:

1. Válvulas electrohidráulicas
2. Servoválvulas

Se llama *válvula electrohidráulica* la válvula que alcanza sus posiciones de control en función de la señal eléctrica de entrada que introduce el operador.

Se llama *servoválvula* la válvula electrohidráulica que posee la capacidad de re-alimentación, esto es, remitir al circuito de control del mecanismo señal de la posición alcanzada en cada momento. La precisión de la servoválvula es máxima, puesto que permite la modulación del movimiento del mecanismo enganchado. En fin, es característico de la servoválvula su acción progresiva de control, en el sentido de que puede modular la velocidad, la aceleración y la posición del mecanismo enganchado al martinete. Estas propiedades se basan en la capacidad medidora del caudal de líquido.



En la práctica, y resumiendo un tema amplio, la operación de un tipo u otro de válvula se manifiesta del modo siguiente:

a) La válvula electrohidráulica alcanza su posición de ajuste en función de la señal eléctrica de mando efectuada por el piloto. Lo determinante en la operación de la válvula electrohidráulica es la posición final de ajuste que alcanza durante su movimiento.

b) La servoválvula, además de cumplir la condición anterior, suministra un caudal hidráulico a los martinetes que es proporcional a la señal eléctrica de mando efectuada por el piloto.

La capacidad operacional de la servoválvula refleja que es un mecanismo de mayor precisión (y coste más elevado). Por esta razón la servoválvula tiene, hasta el presente, un marcado carácter de exclusividad aeronáutica, aunque su empleo se extiende recientemente a otros campos industriales al abaratarse los costes de producción.

## Orificios restrictores

5.12 Los orificios restrictores se encuentran en los sistemas hidráulicos como tales unidades simples, o formando parte integral de las válvulas antirretorno.

La función de los restrictores es controlar la velocidad de movimiento o desplazamiento de los mecanismos.

La acción de control se consigue mediante la regulación del caudal de líquido que puede circular por la sección de paso del restrictor, más estrecha que la canalización donde se instala.

Los restrictores pueden ser de sección fija o variable.

El restrictor con sección de paso variable permite graduar y variar la velocidad de movimiento de los mecanismos situados en estos circuitos hidráulicos.

Por ejemplo, las líneas de bajada del tren de aterrizaje cuentan con restrictores para controlar la velocidad de caída del tren.

## Válvulas antirretorno restrictoras

5.13 Es frecuente combinar los restrictores con las válvulas antirretorno, dando origen a una válvula hidráulica que se llama válvula antirretorno restrictora, ver Fig. 33.12a. La función de esta válvula es permitir la velocidad normal de operación de los mecanismos en un sentido, cuando actúa como tal válvula, y velocidad restringida o limitada en el sentido opuesto cuando la válvula está cerrada. Esta última velocidad es impuesta por la cantidad de líquido que puede pasar por el orificio.

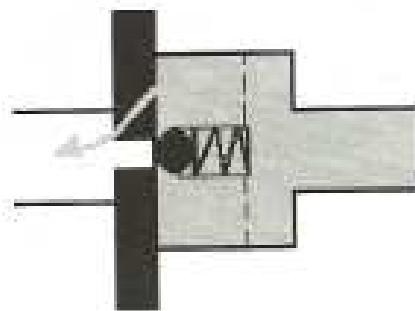


Fig. 33.12a Válvula restrictora de orificio

La válvula antirretorno restrictora se emplea normalmente en las líneas alternativas.

## Válvulas de lanzadera

5.14 El sistema hidráulico de emergencia de los aviones, o el auxiliar que actúa como tal, es independiente del principal o principales del avión.

Esto es cierto hasta un determinado punto, ya que lo normal, por razones obvias de economía y de peso, es que se empleen los mismos martinets en ambos siste-

mas. Si bien el sistema hidráulico auxiliar tiene su propio depósito, bomba, etc., el conjunto de martinete es el mismo para uno y otro.

La válvula de lanzadera es uno de los mecanismos que se emplean para separar los sistemas normal y de emergencia en la proximidad del martinete, único punto común de ambos sistemas.

La Fig. 33.13 (gráfico A) muestra el esquema de válvula de lanzadera, y la parte (B) la sección recta de la misma.

La válvula es una unidad de tres orificios. Tiene una parte móvil llamada carrete o lanzadera.

El modo de funcionamiento es el siguiente, ver el gráfico A: por la línea (4) entra el líquido hidráulico y por la línea de servicio (3) se conecta al martinete. La lanzadera (2) obtura el orificio de entrada del sistema de emergencia cuando hay presión en la línea (4).

Si se produce pérdida de presión hidráulica, por avería en el sistema hidráulico normal o utilitario, y se activa el sistema de emergencia, la presión que actúa sobre el carrete lateral de la lanzadera es suficiente para desplazarla al otro lado. De esta forma se abre la línea de emergencia, a la vez que se cierra la del sistema utilitario normal para que el líquido no escape por dicha boca.

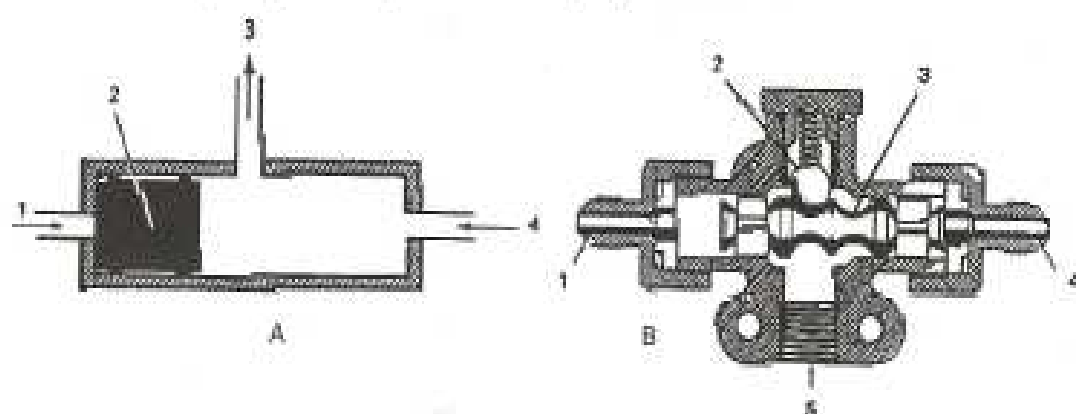


Fig. 33.13 Esquema y sección de válvula de lanzadera

## Interruptores de presión

5.15 Los interruptores de presión hidráulica se emplean en los sistemas con bombas accionadas por motores eléctricos.

Los interruptores cumplen los mismos fines que los reguladores de presión en los sistemas con bombas de impulsión mecánica.

Además, es muy frecuente emplear los interruptores de presión con fines de protección y de indicación de averías, pues permiten fácilmente activar la luz o señal de aviso en la cabina de mando.

Se basan en la deformación que la presión hidráulica produce en una lámina metálica que se expone a la presión del líquido. El movimiento físico que se produce en la lámina se transmite a los contactos de un interruptor eléctrico, para abrir o cerrar el circuito eléctrico de operación de la bomba.

Mencionar para referencia que los interruptores más empleados son del tipo Bourdon.

### Válvulas reductoras de presión

5.16 Existen varios sistemas del avión que no necesitan la presión hidráulica nominal que suministran las bombas. Suele suceder, por ejemplo, con el servicio de frenos. También, a veces, un martinete determinado, instalado en el sistema, no se ha diseñado para trabajar a presión tan alta porque no es necesario para los fines de movimiento del mecanismo que soporta. Otras veces, simplemente, por motivos de ahorrar peso. En ocasiones, conviene disminuir la presión hidráulica operativa de un sistema determinado con el fin de no sobrecargar de forma continua la estructura de soporte de los martinetes.

En todos estos casos la válvula reductora disminuye la presión, aguas abajo del punto donde está instalada, y la ajusta al valor previsto para los mecanismos enganchados a esa línea.

### Fusibles hidráulicos

5.16a Los fusibles hidráulicos funcionan igual que los eléctricos, es decir, cortan el paso de fluido hidráulico cuando detectan caudal excesivo en la tubería, propio de una rotura aguas abajo. De esta forma impiden que todo el fluido hidráulico escape al exterior.

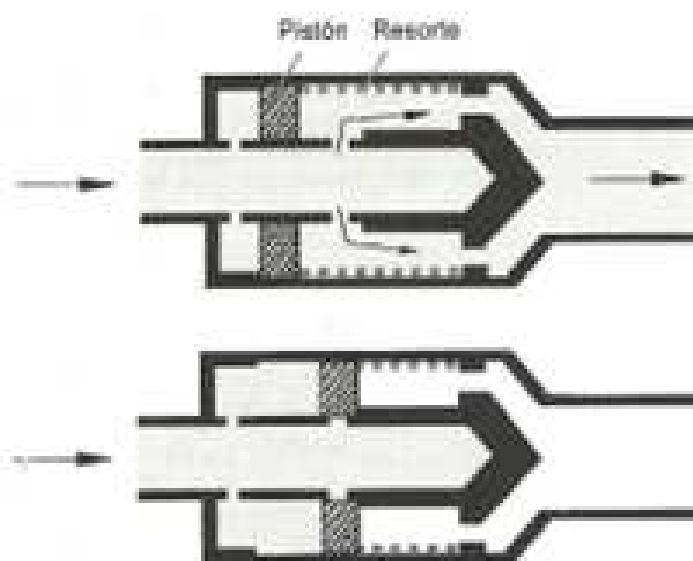


Fig. 33.13a Fusible hidráulico tipo detector de caída de presión

Hay dos tipos de fusibles hidráulicos, que se distinguen por su modo de funcionamiento. Uno de ellos detecta la caída de presión que se produce a través del fusible cuando hay fuga masiva de fluido aguas abajo. Otro detecta el excesivo caudal que pasa por el fusible.

La Fig. 33.13a es el esquema operativo del primer tipo, fusible detector de caída de presión. Supongamos que se produce fuga de líquido masiva aguas abajo del punto

de instalación del fusible. La presión estática del líquido detrás del fusible disminuye, de forma que aumenta la presión diferencial que actúa sobre el pistón. Éste se desplaza a la derecha, venciendo la tensión del resorte antagonista, acción que corta los orificios de paso de líquido hidráulico a través del fusible.

### Martinetes hidráulicos

5.17 Martinetes, receptores hidráulicos, y también actuadores hidráulicos, son los mecanismos cuya función es transformar la presión hidráulica en fuerza mecánica.

Los tipos de martinetes se muestran en la Fig. 33.14.

Los elementos fundamentales del martinete son cilindro, émbolo o pistón y vástago del pistón. El cilindro tiene los orificios de entrada y de salida de líquido.

La fuerza que desarrolla el pistón del martinete permite mover los mecanismos de los aviones. Para ello es necesario acoplar o enganchar los mecanismos a los elementos móviles del martinete. El elemento móvil del martinete puede ser el vástago (si el cilindro está anclado en la estructura) o el cilindro (si el vástago está fijo y es el cilindro el que se desplaza a un lado y otro impulsado por la presión hidráulica). Estos últimos martinetes se llaman de camisa móvil y de vástago fijo. Pero funcionalmente los martinetes se clasifican en dos clases, de acuerdo con sus características de trabajo: martinetes de efecto simple o de doble efecto.

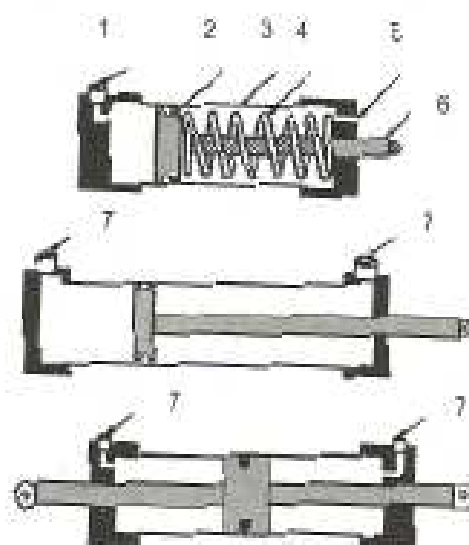


Fig. 33.14 Tipos de martinetes hidráulicos  
1 Orificio de línea de presión; 2 Pistón; 3 Cilindro;  
4 Resorte; 5 Orificio de ventilación; 6 Vástago del pistón; 7 Boca de presión o de retorno.

5.18 Se dice que un martinete es de efecto simple cuando el émbolo recibe presión hidráulica sólo por una de sus caras. Por tanto, el martinete de efecto simple tiene una carrera de trabajo. El movimiento de recuperación se debe efectuar con ayuda de un medio externo, normalmente por la tensión de un resorte.

El martinete de efecto simple es el primero (arriba) en la Fig. 33.14.

Se emplea básicamente como mecanismo de bloqueo. La tensión del resorte se encarga de frenar el cilindro y con ello el mecanismo enganchado al martinete. Por su parte, la presión hidráulica, aplicada al émbolo, se ocupa de desbloquear el cilindro. Un ejemplo típico es el bloqueo de tren arriba.



5.19 El martinete de doble efecto es de empleo general.

La expresión “doble efecto” quiere decir que la presión hidráulica se puede aplicar tanto a un lado como al otro del émbolo del martinete, para conseguir movimientos en uno y otro sentido.

El martinete de doble efecto tiene, pues, dos carreras de trabajo.

Los martinetes de doble efecto se clasifican así:

- a) Martinetes de vástago simple
- b) Martinetes de vástago pasante
- c) Martinetes de camisa móvil y de vástago fijo.

#### ***Martinete de vástago simple***

5.20 Presenta la particularidad de que las áreas de las dos caras del pistón son distintas, debido precisamente a la presencia del vástago por una de sus caras.

El martinete produce más fuerza cuando se aplica presión en la cara que no tiene el vástago, de mayor superficie efectiva.

Por esta razón se dice que los martinetes de vástago simple son descompensados. Ver gráfico intermedio, Fig. 33.14.

#### ***Martinete de vástago pasante***

Pertenece a la categoría de los martinetes compensados. Permite aplicar igual fuerza en ambas direcciones (ver el último esquema de cilindro en la Fig. 33.14). En esta variedad de martinete de doble efecto, el vástago del pistón se prolonga en ambas direcciones para conseguir la misma superficie efectiva en el pistón.

#### ***Martinete de camisa móvil y de vástago fijo***

Desde el punto de vista funcional es un martinete compensado. Su característica principal es que los extremos del vástago están anclados en la estructura de la aeronave, de manera que la camisa del cilindro es la que se desplaza en respuesta a los cambios de la presión hidráulica.

El mecanismo de la aeronave que se desea mover se engancha, pues, a la camisa del cilindro, y no al vástago del pistón como en los casos anteriores.

5.20a Los martinetes especiales cumplen funciones específicas en los aviones. Entre ellos señalamos los siguientes:

- Martinetes de amortiguación interna.
- Martinetes de bloqueo interno.
- Cilindros de cremallera.

Los *martinetes de amortiguación interna* se emplean para amortiguar y suavizar la parte final de recorrido de un mecanismo. El fin que se persigue es que el contacto del mismo con el tope final de recorrido no imponga fuerzas importantes sobre la estructura del avión. También sobre el propio martinete.

Los *martinetes de bloque interno* se emplean para fijar un mecanismo en la posición extrema de su recorrido, sin necesidad de acudir a medios externos de fijación para el bloqueo.

Los *martinetes de cremallera* se emplean cuando el movimiento de giro que necesita el mecanismo enganchado es limitado, por ejemplo, en mecanismos con movimiento circular en abanico, como actuadores de limpiaparabrisas, dirección de rueda de proa, etc.

### Motores hidráulicos

5.20b El motor hidráulico es la contrapartida de la bomba hidráulica: ver la Fig. 33.15, donde se muestra el esquema del motor hidráulico de pistones.

Si en la bomba hidráulica de este tipo es el bloque de cilindros el que gira y arrastra los pistones, para impulsar el líquido hidráulico a las tuberías del sistema, en el caso del motor hidráulico es el fluido a presión el que llega a los pistones. El movimiento oscilante de los pistones se transmite a las cabezas de los pistones, que hacen girar el bloque de cilindros y en definitiva el eje del motor hidráulico acoplado al bloque.

El principio de funcionamiento, pues, es el mismo que el explicado en el apartado 5.3, a propósito de la bomba de pistones, punto al que nos remitimos. El motor hidráulico de pistones es preferible muchas veces al motor eléctrico, por su menor peso y capacidad para producir un par de giro constante.

Aplicaciones del motor hidráulico se encuentran en los modernos aviones comerciales, por ejemplo en *Airbus A340*, donde dos motores hidráulicos, impulsados por sistema hidráulico diferente, mueven el estabilizador horizontal.

### Válvulas de prioridad

5.20c En muchos aviones hay líneas hidráulicas que impulsan mecanismos distintos, pero con la característica de que hay uno, o más, que tiene prioridad en ciertos momentos de la operación. Por ejemplo, es el caso de una línea de servicio que

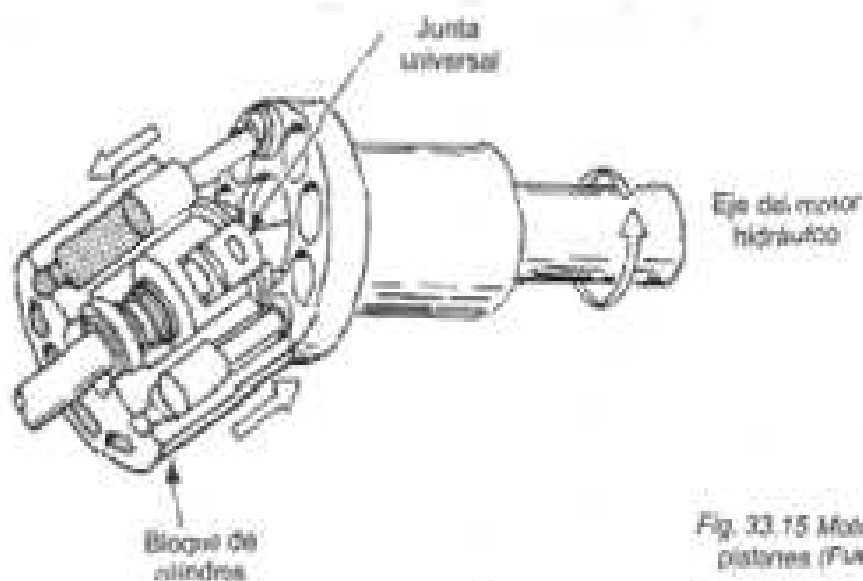


Fig. 33.15 Motor hidráulico de pistones (Fuente: IAP Inc.)

impulsa los flaps y atiende también el circuito de frenos. En este caso hay que asegurar la existencia de presión de frenada cuando el avión está en el suelo.

Las válvulas de prioridad son mecanismos que actúan por presión hidráulica. Su función es mantener un valor mínimo de presión hidráulica en circuitos que tienen establecida dicha prioridad.

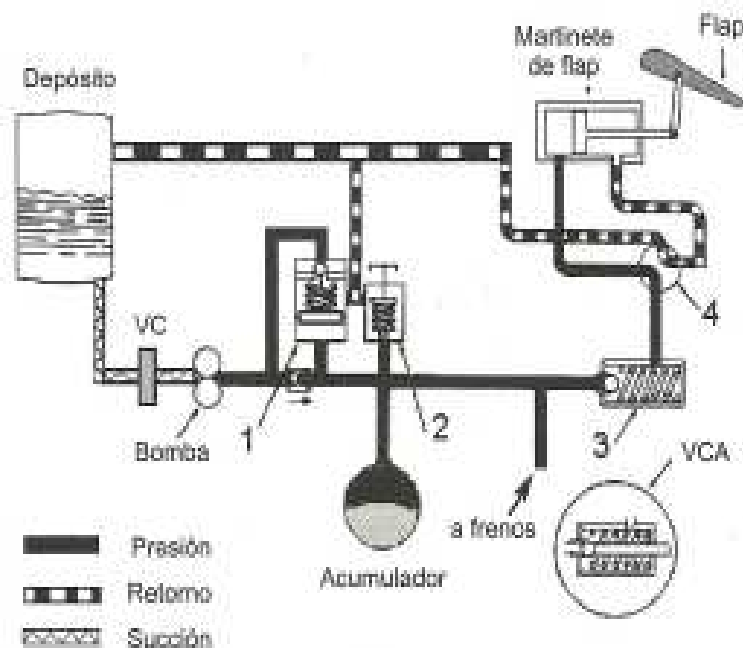


La Fig. 33.16 muestra el modelo en estudio.

Obsérvese la línea que conduce el fluido hidráulico a los frenos, pero en la línea superior tenemos el martinete que mueve un flap. Cuando se sube el flap después del aterrizaje se produce una caída brusca de presión hidráulica en la línea, como consecuencia de la gran cantidad de líquido desplazado para mover el flap. La válvula de prioridad (3) cumple una función importante en este momento: presurizar el circuito de prioridad hasta un determinado valor mínimo, antes de presurizar otras partes del sistema. En este caso, pues, la válvula de prioridad permite mantener presión operativa de frenada antes de presurizar el martinete del flap.

Fig. 33.16 Sistema hidráulico con válvula de prioridad (3) en la línea de frenos y de movimiento del flap

VC Válvula cortafuego  
1 Regulador de presión; 2 Válvula de alivio de presión del sistema; 3 Válvula de prioridad; 4 Válvula selectora.



La válvula de prioridad (3) es, en realidad, una válvula de alivio de presión. Sin embargo, en mecanismos de prioridad se emplea una variante denominada válvula compensada de alivio de presión, VCA en el gráfico de detalle. Tiene la particularidad de que la bola de la válvula está unida en su parte posterior a un vástago. Se hace así con el fin de que la contrapresión no actúe sobre la superficie posterior de la bola. En el caso en estudio será la presión procedente del martinete del flap la que actúa sobre la superficie posterior de la bola, fuerza en el sentido de ajustar la bola en su asiento de cierre.

Con el vástago unido a la bola, sin embargo, no hay contrapresión detrás, de modo que la presión necesaria para abrir la válvula de prioridad se corresponde exactamente con la presión mínima de ajuste del circuito de prioridad. La bola de la válvula de prioridad se

despega de su asiento si aumenta la presión en la línea de entrada, y permite el paso libre de fluido hacia el martinete del flap. Ahora bien, cuando se produce la caída de presión en la línea, debido a los cambios volumétricos de fluido durante el movimiento del flap, la bola se ajusta de nuevo contra su asiento cuando la presión desciende por debajo de su nivel de ajuste. La presión operativa en la línea de frenos está asegurada en todo momento.

## Canalizaciones hidráulicas del avión

5.21 Los elementos fundamentales de la canalización hidráulica del avión instalada son los siguientes:

- El mecanismo que impulsa el fluido, bomba hidráulica.
- La canalización del líquido, propiamente dicha, que es más o menos larga en función de la envergadura y longitud de la aeronave.
- Los elementos y mecanismos de control, regulación, etc., del fluido hidráulico, que también hemos estudiado anteriormente.

Se dice que una canalización de líquido es un circuito cuando incluye trayectos de ida y vuelta. El sistema hidráulico de los aviones es un circuito hidráulico porque existen rutas de ida y vuelta del fluido operativo. Hay ocasiones que una misma línea hidráulica conduce el líquido a presión, hacia una de las caras de los martinetes, y otras veces conduce el líquido de retorno de la cara opuesta. Recordamos que estas líneas se llaman líneas alternativas.

## Tuberías hidráulicas

5.22 Las tuberías hidráulicas son parte esencial de la canalización hidráulica.

Pueden ser de dos tipos: a) Tuberías rígidas, metálicas; b) Tuberías flexibles, de materiales tipo elastómero o de caucho sintético.

Se llama *tubería rígida* a un elemento, más o menos largo, formado por la unión de varios tubos metálicos, que se acoplan mediante tuercas de unión (racores) u otros procedimientos de empalme.

Se llama *tubería flexible* a un elemento tubular flexible, fabricado de goma natural o en productos plásticos sintéticos.

Finalmente, se llama *manguera* el elemento tubular flexible con extremos libres, es decir, desprovisto de los elementos terminales de unión a otro componente del sistema hidráulico. La manguera, como tal, no se suele emplear directamente en el sistema hidráulico del avión, salvo en aplicaciones auxiliares específicas; más bien, es un elemento pendiente del acoplamiento final.

5.23 Las tuberías rígidas que se emplean en los sistemas hidráulicos de los aviones pueden ser de aleación de aluminio, de acero, o de aleación de titanio. Las tuberías de aleación de aluminio se emplean normalmente para presiones hidráulicas

medias y bajas, y las de acero y de aleación de titanio se emplean para sistemas hidráulicos de alta presión.

5.24 Las tuberías flexibles se emplean en todas aquellas zonas de los sistemas en los que existe movimiento relativo entre los equipos o elementos del circuito, bien por desplazamientos mecánicos (articulaciones, bisagras), bien por desplazamientos ocasionados por las condiciones de servicio.

Un ejemplo típico de este último caso es la tubería de conexión a las bombas hidráulicas. Son flexibles con el fin de absorber los movimientos que produce la impulsión del líquido.

## Filtros

5.25 Los filtros son dispositivos de control situados en los sistemas hidráulicos para impedir la contaminación del fluido. De particular importancia es la protección frente a contaminación sólida.

La contaminación de sólidos es la presencia de partículas sólidas contaminantes, que pueden producir tres efectos en el sistema: a) impedir su funcionamiento; b) degradar la actuación; c) acelerar el desgaste.

5.26 Todos los filtros (circuitos hidráulicos, engrase, etc.) se sitúan dentro de dos categorías de filtración, ver Fig. 33.16a:

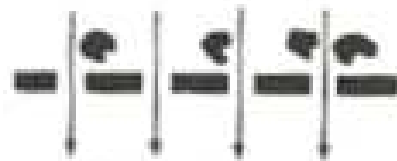


Fig. 33.16a Filtración en superficie (arriba) y en profundidad (ilustración inferior)

- Filtración en superficie
- Filtración en profundidad

Se dice que un filtro tiene filtración en superficie, o filtración de barrera superficial, cuando se retienen en la superficie de la malla filtrante las partículas cuyo tamaño supera el grado de filtración utilizado. Por tanto, la filtración en superficie disminuye siempre el caudal de líquido al paso por el filtro, ya que las partículas contaminantes forman una barrera superficial en la malla.

Por otra parte, se dice que el filtro tiene filtración en profundidad cuando

las partículas contaminantes deben pasar por varias capas de mallas cuya porosidad disminuye en el sentido que avanza el líquido. Por tanto, las impurezas se reparten a lo largo de las capas, de acuerdo con su tamaño.



Las definiciones anteriores se completan con las notas prácticas que siguen:

1. Obsérvese que la filtración en superficie es una filtración absoluta, es una filtración de seguridad, en el sentido que asegura un líquido con bajo contenido de partículas contaminantes. Da lugar a un filtro de tamaño pequeño (sólo tiene una barrera) que se puede limpiar con facilidad. Sin embargo, es de coste superior si se tiene en cuenta el control de porosidad estricto que se hace durante la fabricación. Presenta, sin embargo, una característica muy favorable, y es la resistencia a la migración de partículas (véase el párrafo siguiente, que explica este concepto).

2. La filtración en profundidad limpia el líquido al paso por varias capas o barreras filtrantes, cada una de ellas de distinta porosidad. De aquí el término de filtración en profundidad. Las impurezas pueden salvar una capa, pero quizás no la siguiente debido a la distinta porosidad de la barrera que encuentran y a los cambios de velocidad y de dirección que experimenta el líquido. Las impurezas tienen la tendencia a migrar de una barrera a otra inferior, sobre todo cuando hay pulsaciones de presión. Este hecho se produce porque las impurezas se desplazan a lo largo de la barrera que inicialmente las retuvo, y es posible que encuentren orificios de tamaño suficiente para pasar a la capa siguiente.

Las ventajas del filtro con filtración en profundidad es su capacidad para retener partículas muy finas, y también el hecho de que el coste de fabricación es menor, debido a que los controles de porosidad de la malla filtrante durante el proceso de fabricación son menores (poros de distintos tamaños).

5.23 No existe norma concreta sobre la situación de los filtros en un sistema hidráulico de avión, pero en términos generales, se distinguen cuatro tipos distintos, en función de su posición o situación en el sistema.

#### *Filtro de alimentación*

Es el filtro que se sitúa delante de la bomba hidráulica, en la línea de alimentación. A veces se trata de un filtro colocado justo a la salida del depósito hidráulico. Es un filtro del orden de 50 micras, normalmente fabricado con malla de alambre.

#### *Filtro de prealimentación*

Filtro similar al anterior, pero de mayor capacidad filtrante. Se coloca siempre que la bomba hidráulica requiera mayor capacidad filtrante.

#### *Filtros Micronic o filtros de derivación*

Se trata de un cartucho fabricado en papel plisado que tiene una imprimación de resina fenólica. En funcionamiento la presión del líquido a la entrada del filtro es normal cuando la malla filtrante deja pasar el caudal de líquido previsto; sin embargo, si el filtro se colmata, la presión a la entrada aumenta pues existe mayor contrapresión. La contrapresión vence una válvula de bola instalada en el filtro, que está retenida por un resorte. En este momento abre la válvula y deja pasar el líquido al circuito hidráulico. El líquido no pasa por la malla filtrante, al menos en su totalidad, pero siempre es mejor solución permitir la circulación de líquido sin filtrar que dejar el circuito con caudal de líquido inapropiado para sus funciones. Debido a la derivación del líquido, a través de la válvula, estos filtros se llaman filtros de derivación.

### ***Filtros de presión***

Filtros clásicos de salida de la bomba hidráulica. Su función es suministrar el líquido a todos los servicios hidráulicos de la aeronave con el grado de pureza previsto por el fabricante. Son filtros hechos con malla fina, de acero inoxidable, con el fin de soportar la alta presión de servicio. Cuando un filtro se colmata se suele hacer visible al exterior un tetón indicador de esta situación. Así, el técnico de servicio del sistema es alertado de la situación.

## **Contaminación de los sistemas hidráulicos**

5.28 Los sistemas hidráulicos de los aviones se someten a ensayos periódicos de detección de contaminación presente en el líquido hidráulico, de acuerdo con los requisitos y los periodos de tiempo que señalan los manuales de la aeronave.

Es normal definir en las operaciones aeronáuticas cuatro grados de contaminación del líquido hidráulico, de acuerdo con este baremo:

- Grado 0. Se refiere al fluido sin contaminar, tal como viene de fábrica.
- Grado I. Estado útil.
- Grado II. Estado aceptable.
- Grado III. Estado no aceptable.

## **6. REQUISITOS GENERALES DE LOS SISTEMAS HIDRÁULICOS**

6.1 De acuerdo con la normativa aeronáutica los sistemas hidráulicos de los aviones comerciales deben cumplir tres tipos requisitos, previos a la obtención de su Certificación de Tipo. Son los siguientes: requisitos de proyecto, de ensayo, y de protección contra incendios. Veamos brevemente estos apartados.

### ***a) Requisitos de proyecto***

Entre los requisitos de proyecto destacamos los siguientes:

1. Todos los componentes del sistema hidráulico deben soportar sin deformación la presión máxima operativa del sistema, más la carga máxima estructural prevista del avión.
2. Asimismo, deben soportar sin rotura la presión máxima operativa del sistema, multiplicada por 1,5, más la carga estructural máxima prevista del avión.
3. El sistema debe tener instrumentos para indicar a la tripulación de vuelo la presión del fluido en el sistema hidráulico y la cantidad del mismo que hay en el sistema. Es curioso que la normativa no obliga en este punto. Señala simplemente que la instrumentación es obligatoria si el sistema hidráulico cumple función esencial en la seguridad en vuelo del avión, o si necesita acción inmediata del piloto en caso de fallo del sistema. En realidad concurren ambos supuestos en la actual aviación comercial.

4. Deben existir los medios para asegurar que la presión del sistema hidráulico (incluidos los períodos transitorios) se mantiene entre el 90 y 110% de la presión media de descarga de la bomba hidráulica.
5. En todo caso, cualquier período transitorio de presión hidráulica no debe sobrepasar el valor de la presión operativa de diseño del sistema, multiplicada por el factor 1,25. En este punto se admite un valor superior siempre que el fabricante del avión demuestre que la integridad y resistencia del sistema es suficiente.

*b) Requisitos de ensayo*

El sistema hidráulico debe cumplir estos requisitos:

1. Ensayo completo del sistema para asegurar que todos los elementos soportan sin deformación la operación prevista con presión de 1,5 veces la presión operativa del diseño. (Nota. Para efectuar este ensayo puede hacerse inoperativa la válvula de alivio del sistema).
2. Que se mantengan, o son aceptables, las holgas y separaciones entre los componentes del sistema y la estructura del avión.
3. Ensayos completos de compatibilidad y funcionalidad con el resto de sistemas del avión.

*c) Requisitos de protección contra incendios*

En relación con el tercer grupo de requisitos, de protección contra el fuego en los sistemas hidráulicos, digamos que son aplicables todas las normas referidas a los fluidos inflamables de a bordo.

Este grupo de artículos, muy numerosos, trata de asegurar la inexistencia de fluidos o vapores inflamables en zonas no previstas del avión. Además, deben existir sistemas adecuados para minimizar la probabilidad de ignición de los fluidos o sus vapores.

Estas exigencias se cumplen de la siguiente forma: se efectúa el análisis de las fuentes potenciales de fuego (sistemas eléctricos, hidráulicos, calentadores, etc.), para localizar posteriormente las posibles trayectorias del fuego en caso de incendio; entonces se disponen los medios de detección y de protección adecuados en dichas zonas (válvulas corrafuego, detectores de humo, extintores, etc.).

## **7. ESQUEMA Y OPERACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO**

7.1 Es sabido que existen dos y hasta tres sistemas hidráulicos independientes en los aviones comerciales actuales. De esta forma la fiabilidad del sistema hidráulico es excepcionalmente alta, pues resulta muy improbable ( $< 10^{-9}$ ) el fallo total<sup>1</sup>, esto es, el fallo que puede afectar a todos los sistemas al mismo tiempo.



Por conveniencia, en la Fig. 35.27, Capítulo 35, se presenta la arquitectura básica de un sistema hidráulico para avión bimotor. El sistema completo consta de tres sistemas hidráulicos independientes, en este caso denominados sistemas Verde, Azul y Amarillo. Existen cuatro bombas de presión hidráulica que están impulsadas por los motores del avión. Ver más detalles en el Capítulo 35. Otras veces los sistemas se denominan A, B, y *Standby*, pero la cuestión es indiferente.

7.2 La Fig. 33.16b muestra la disposición general de los componentes del sistema en un avión bimotor. A destacar en este caso la Unidad de Transferencia de Potencia (PTU) que está montada entre los sistemas Amarillo y Verde. Digamos que la PTU está instalada en algunos aviones como mecanismo de redundancia. Su operación es automática y proporciona energía hidráulica a uno o más mecanismos del avión en caso de avería de la bomba hidráulica normal de servicio. Por ejemplo, en el Boeing 737-300 la PTU suministra potencia hidráulica a la hipersustentación de borde ataque en el caso de avería de la bomba del sistema "A", o baja presión en el mismo. En este caso concreto el avión tiene que estar en modo aire y, además, flaps de borde de salida ajustados entre 1 y 10 unidades. Desde el punto de vista operativo lo que se pretende aquí es tener presión máxima operativa para extensión de *slats* durante el ascenso con el motor derecho inoperativo.

7.3 La Fig. 33.17a y b introduce de forma gráfica el control y el sistema de indicación del sistema hidráulico para avión cuatrimotor, con los comentarios oportunos.

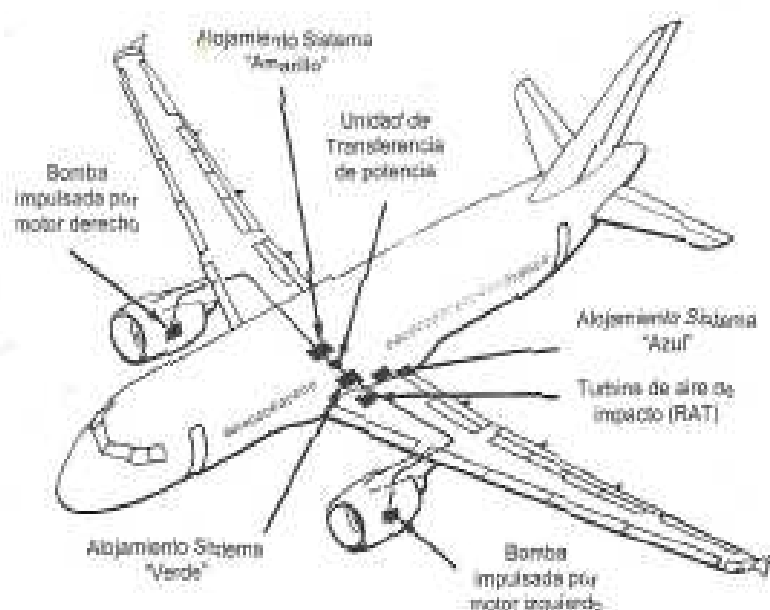


Fig. 33.16b Disposición general de sistema hidráulico (3 sistemas independientes) en avión bimotor.

tunos. En este caso se hace uso de pantallas de tubos de rayos catódicos CRT para presentación de información en cabina.

Los avisos que recibe la tripulación sobre el estado de operación del sistema hidráulico se relacionan, de modo fundamental, con la cantidad, presión y temperatura del líquido hidráulico, ver a título de ejemplo Figuras 33.18 y 33.19, además de las ya citadas Fig. 33.17a y b.

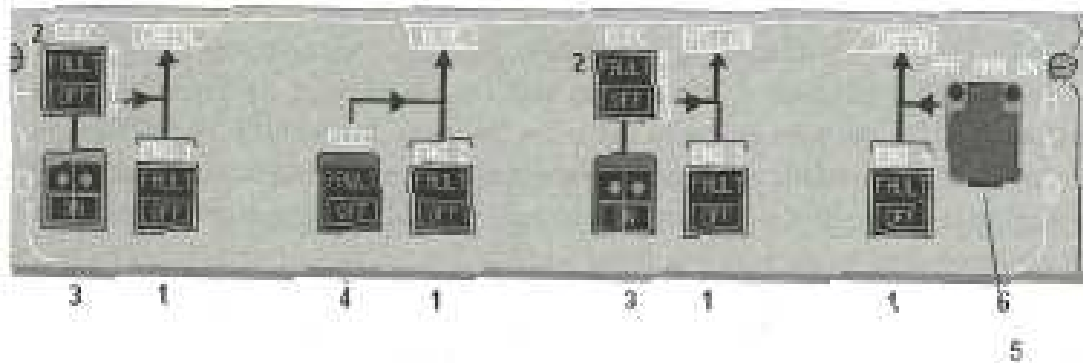


Fig. 33.17a Panel de control de sistema hidráulico de avión cuatrimotor con tres sistemas hidráulicos independientes (Verde, Azul y Amarillo) y turbina de aire de impacto (RAT).

1. Botón pulsador de bomba accionada por motor. En ON indica presurización del sistema si el motor está funcionando. La bomba se para cuando se pulsa para encender OFF. Se enciende FAULT por nivel de fluido bajo en el depósito, alta temperatura del fluido cuando retorna al depósito, o por baja presión de salida de la bomba.

2. Botones pulsadores de bombas eléctricas de los sistemas Verde-Amarillo. Apagado en AUTO la bomba funciona sólo cuando recibe orden de la unidad de control del sistema hidráulico. Pulsado para encender OFF, la bomba no recibe energía eléctrica. Está encendido en FAULT en los casos siguientes: a) baja presión de salida, b) bajo nivel de fluido hidráulico o baja presión de aire en el depósito, c) sobrecalentamiento del fluido hidráulico que retorna al depósito, d) sobrecalentamiento de la bomba.

3. Botones pulsadores de la bomba eléctrica del sistema Verde-Amarillo. Pulsado para encender ON, la bomba eléctrica se activa manualmente si el pulsador ELEC. situado encima, no está en OFF.

4. Botón pulsador de la bomba eléctrica del sistema Azul. Si está apagado, la bomba está parada. Pulsado para encender ON, la bomba recibe energía eléctrica. Se enciende FAULT por las mismas causas que se encendía en las bombas eléctricas de los sistemas Verde o Amarillo.

5. Botón (con guarda) RAT MAN ON. Cuando se pulsa se despliega la RAT en el viento relativo. La extensión de la RAT es automática por las causas citadas con anterioridad.

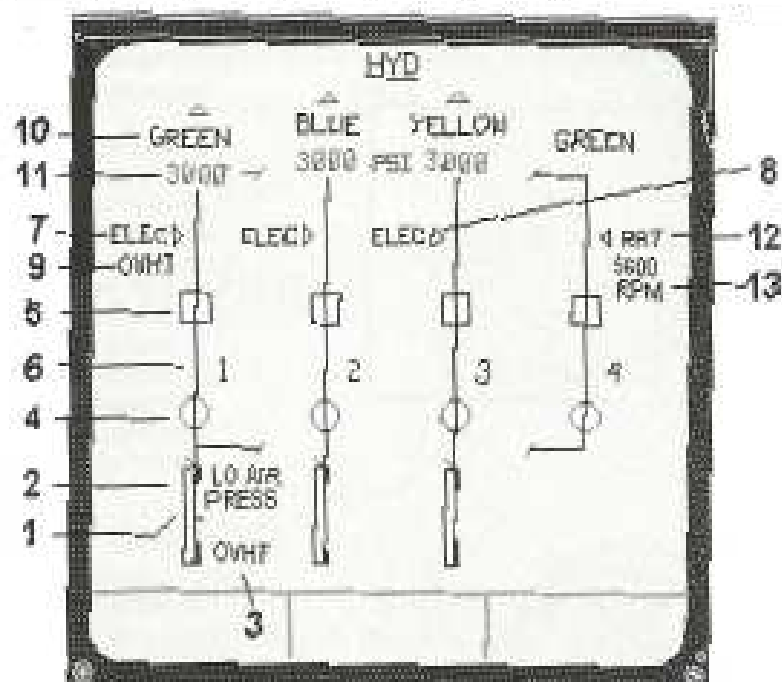


Fig. 33.17b Pantalla de datos del sistema hidráulico. Nota. Los rótulos y símbolos cambian de color y posición según operación normal o anormal del sistema. Observe a la derecha de la figura (12) el símbolo de la turbina de aire de impacto (ver Capítulo 41). La RAT en este sistema acciona una bomba hidráulica para presurizar el sistema Verde. La RAT se despliega en el viento relativo y entra en funcionamiento en una de estas situaciones: a) parada de los cuatro motores; b) pérdida de energía eléctrica con los motores números 1 y 4 parados; c) aviso de bajo nivel en los depósitos hidráulicos Verde y Azul. En el gráfico inferior se advierten las líneas (interumpidas) de conexión de la RAT con el sistema hidráulico Verde, que es donde actúa.

1. Cabeza de flecha que representa el nivel de fluido hidráulico en el depósito. El pequeño rectángulo superior representa el nivel normal, y el inferior es la señal de nivel bajo.
2. Rótulo que aparece cuando la presurización del depósito es baja.
3. Rótulo que aparece cuando la temperatura del fluido que retorna al depósito excede de cierto valor.
4. Posición de la válvula cortafuego. Si está alineada indica que está abierta; cruzada indica cerrada.
5. Bomba arrastrada por el motor. Si está alineada indica que la presión es normal; cruzada indica bomba en OFF.
6. Número de la bomba.
7. Indicación de bomba eléctrica.
8. Triángulo que, según el color, indica si la bomba funciona y lo hace con normalidad.
9. Rótulo que aparece cuando hay sobrecalentamiento de la bomba eléctrica.
10. Denominación del sistema que, junto con su pequeño triángulo superior, cambia a color ámbar si la presión es inferior a 1,450 psi.
11. Presión del sistema.
12. Turbina de aire de impacto (RAT) en funcionamiento. El triángulo cambia de color según que la presión hidráulica que suministra sea normal o anormal.
13. RPM de la RAT. (Fuente: "El avión A-340", S. Robledo. EMPLEJE n° 47)

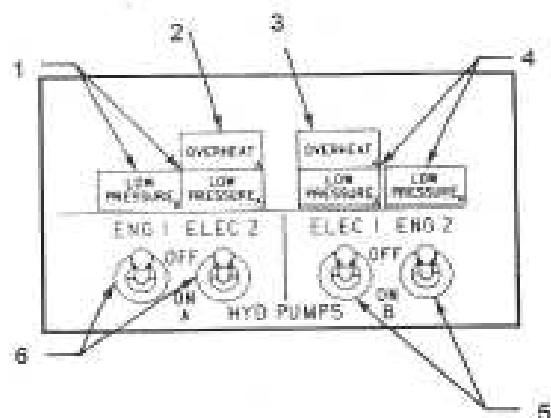


Fig. 33.18 Panel de control y avisos de operación de sistema hidráulico.

- 1 Luces (ámbar) de baja presión de hidráulico en sistema A
- 2 Luz (ámbar) de sobrecalentamiento de fluido hidráulico en sistema A
- 3 Luz (ámbar) de sobrecalentamiento de fluido hidráulico en sistema B
- 4 Luces (ámbar) de baja presión de hidráulico en sistema B
- 5 Interruptores sistema B bombas eléctrica y movida por el motor
- 6 Interruptores sistema A bombas eléctrica y movida por el motor

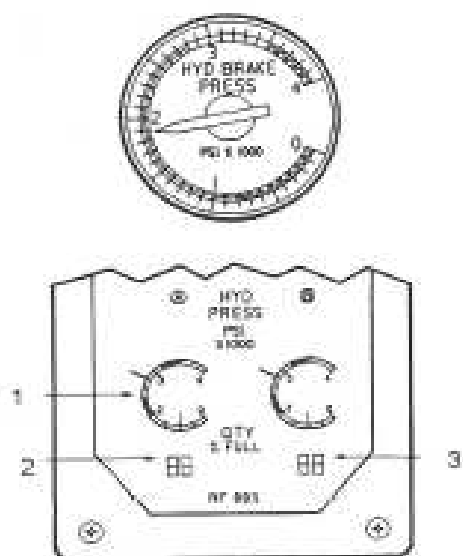


Fig. 33.19 Instrumentación secundaria de estado de sistema hidráulico.

Arriba:

Indicador de presión hidráulica de frenos.

Abejo:

1 Indicadores de presión hidráulica en los dos sistemas principales del avión.

2\*. Cantidad de líquido hidráulico en Sistema A.

3\*. Cantidad de líquido hidráulico en Sistema B.

\* Indicación digital en porcentaje sobre la capacidad total del depósito.