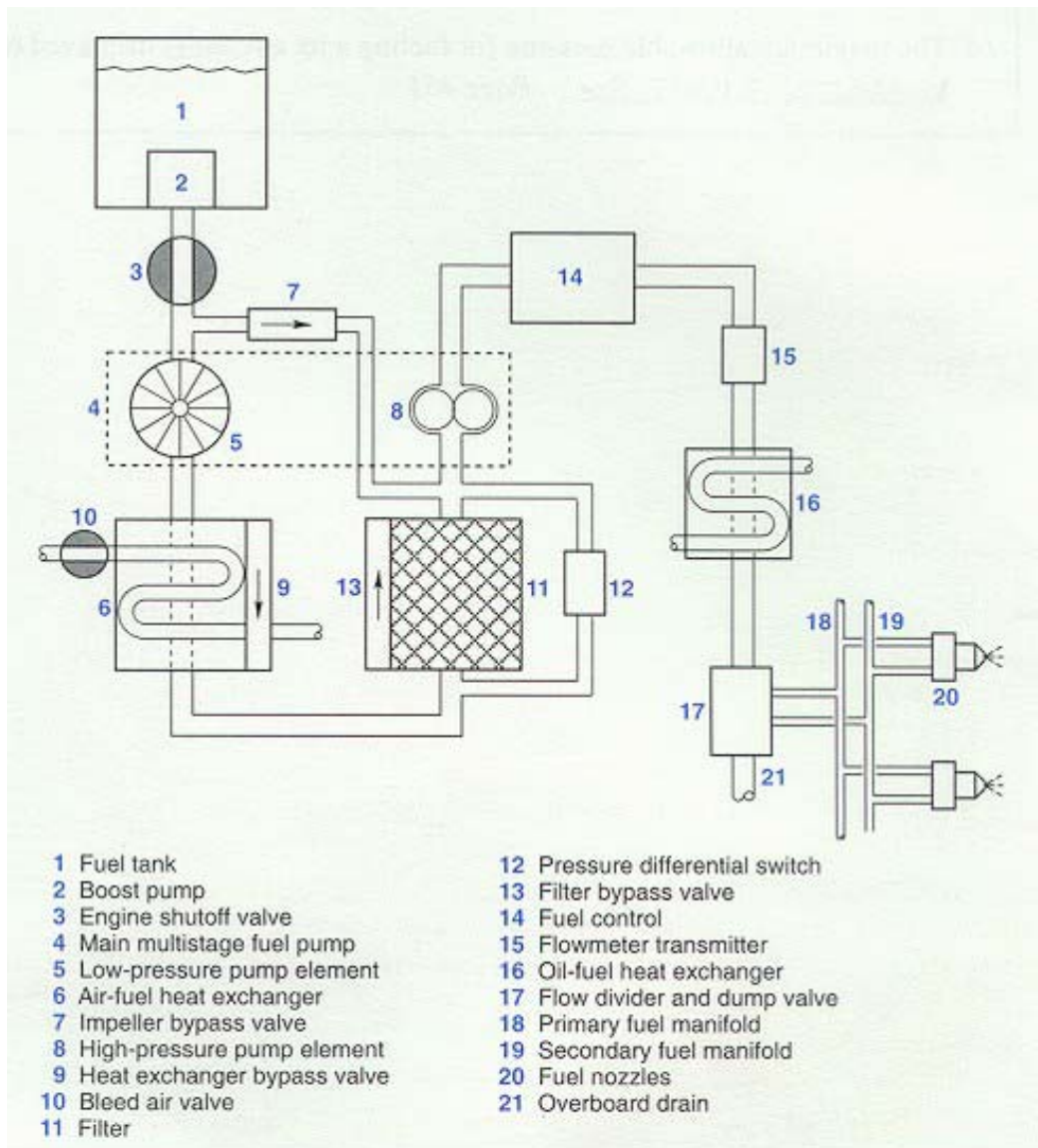


SISTEMAS DE COMBUSTIBLE DEL MOTOR DE TURBINA

Funcionamiento del motor

La función del sistema de combustible de un motor de turbina es suministrar la correcta cantidad de combustible limpio, libre de vapor y a la presión correcta, al control de combustible bajo todas las condiciones de funcionamiento. A continuación se muestra la parte del motor perteneciente al sistema de combustible.



Tipico sistema de combustible para un motor turbopropulsor

Fig. 11-1

El combustible desde el depósito de combustible (1) se entrega por medio de la bomba sumergida (2). Fluye a través de la válvula de corte del motor (3) dentro de la bomba principal de combustible de múltiples etapas (4). Primero fluye a través de una etapa primaria de bomba centrífuga (5), y luego a través de un cambiador de calor aire-combustible (6). Una válvula de derivación (7) derivará el combustible directamente desde la bomba sumergida en el depósito de combustible a la etapa secundaria de la bomba de alta presión tipo engranajes (8) si el flujo de combustible se bloquease en la etapa centrífuga.

La temperatura del combustible se mantiene lo suficientemente alta por medio de aire caliente sangrado del compresor que fluye a través del cambiador de calor aire-combustible para evitar la formación de cristales de hielo. Una válvula de derivación (9) cargada con muelle incorporada en el cambiador abrirá y permitirá que el combustible fluya alrededor del núcleo, si el núcleo, por cualquier razón se obstruyese. La temperatura del combustible se muestra en el panel de instrumentos del mecánico de vuelo, y la válvula (10) que controla el flujo de aire sangrado se activa eléctricamente desde el panel del mecánico de vuelo.

El combustible fluye desde el cambiador de calor a través del filtro (11). Si el filtro se obstruyese parcialmente con cristales de hielo, un interruptor de presión diferencial Δp (12) a través del filtro cerrará los contactos y encenderá una luz de aviso de hielo en el combustible sobre el panel del mecánico de vuelo. Entonces el mecánico de vuelo puede abrir la válvula de sangrado de aire, que permite que aire caliente fluya a través del cambiador de calor y caliente el combustible hasta derretir el hielo y evitar posterior formación de hielo. Si el filtro se obstruyese completamente, el combustible fluiría alrededor de él a través de una válvula de derivación del filtro (13) incorporada.

Desde el filtro, el combustible fluye a través de la etapa de alta presión (8) de la bomba (4), y luego dentro de la unidad de control de combustible (14). La unidad de control de combustible está montada en el motor y contiene sensores de presión y temperatura y el governor de N_2 tipo masas centrífugas. Las palancas de corte y control de combustible en la cabina actúan las válvulas en el control de combustible.

Desde el control de combustible, el combustible pasa a través del transmisor de flujo de combustible (15) y el cambiador de calor aceite-combustible (16). Desde allí va a través de la válvula de presurización y descarga (17). El combustible para el arranque y la operación a baja velocidad fluye dentro del colector primario (18), y la mayor parte del combustible fluye a través del colector secundario (19).

Desde los dos colectores, el combustible fluye a los inyectores (20), y desde allí es pulverizado en las cámaras y quemado.

Cuando el motor se para, el combustible que queda en los colectores drena a través de la porción de descarga de la válvula de presurización y descarga y sale al exterior a través de la línea de drenaje (21).

Sistemas de Medición y Control de Combustible Incluyendo el Control Electrónico del Motor (FADEC)

Unidad de Control de Combustible del Motor de Turbina

La temperatura de entrada en turbina, o la TIT, es la temperatura mas crítica de un motor de turbina de gas y normalmente es el factor que limita la cantidad de empuje que un motor puede producir.

La unidad de control de combustible de un motor de turbina está diseñada para sentir un número de parámetros y combinarlos para calibrar el combustible que ha de enviarse hacia la cámara de combustión durante cualquier conjunto de condiciones, de manera que el motor producirá el empuje o potencia deseados mientras asegura que la TIT no excede sus límites permisibles.

La unidad de control de combustible calibra el combustible para la cámara solo cuando el flujo de aire a través del motor es adecuado y otras condiciones son correctas.

Los parámetros básicos sentidos por una unidad de control de combustible típica son:

- Angulo de la palanca de potencia (PLA)— Esta es la señal de entrada efectuada por el piloto que especifica la cantidad de potencia o empuje deseado.

- Temperatura total de entrada al compresor (Tt_2)— Esto se refiere a la densidad del aire que entra en el motor.
- RPM del compresor (N o N_2)— Esto es importante para controlar el combustible para el funcionamiento continuo y para limitar el régimen de aceleración y desaceleración.
- Presión en la cámara de combustión (P_b)— Esto se refiere al peso del aire que fluye a través del motor.

Para muchos motores turbo reactores y turbo fanes las unidades de control de combustible varían el empuje controlando las RPM del rotor. En algunos turbo reactores, está permitido que el empuje y la TIT varíen inversamente a la temperatura de entrada al compresor. A medida que la temperatura del aire de entrada se eleva y el aire se hace menos denso, la carga del compresor disminuye y las RPM aumentan. La unidad de control de combustible envía menos combustible a las cámaras, y el empuje y la TIT disminuyen.

En los días fríos cuando el aire de entrada es denso, la carga del compresor es alta y se calibra combustible adicional para alcanzar la velocidad de compresor deseada. Esto como consecuencia aumenta el empuje y la TIT.

Las unidades de control de combustible usadas en los modernos motores de flujo axial sienten la presión de entrada al compresor y la presión en la cámara de combustión y protegen al motor de las excesivas presiones internas, particularmente durante el despegue en un día frío a baja altitud. Al mismo tiempo permiten al motor producir tanto empuje como sea posible en los días cálidos para mantener la TIT a un valor constante y permitiendo que las RPM varíen.

En tanto que la palanca de gases permanezca en una cierta posición, la unidad de control de combustible variará el flujo de combustible a medida que cambian las condiciones a la entrada del compresor, y se mantendrá el tanto por ciento aproximado del empuje total del motor demandado por el piloto. La TIT para cualquier incremento de empuje dado permanecerá aproximadamente constante.

El máximo rendimiento térmico y el empuje se obtienen cuando la TIT se mantiene próxima a su límite permisible. Esto se hace calculando la TIT que se producirá bajo distintas condiciones. La unidad de control de combustible está programada para variar el flujo de combustible de acuerdo a un programa predeterminado que asegura que el motor operará siempre dentro de los límites seguros de temperatura. Esta programación compleja se hace en la mayoría de las unidades de control de combustible hidromecánicas por medio de una leva tridimensional dentro de la unidad computadora del control de combustible.

La temperatura de combustión varía directamente con el flujo de combustible. Cuando el flujo de combustible aumenta, la temperatura del aire que sale de las cámaras aumenta, y esto aumenta la presión que actúa sobre la turbina y el compresor. Esto le da a la turbina energía adicional calorífica y de presión, pero al mismo tiempo, la contra presión actúa sobre el compresor. A pesar de esta contrapresión el compresor se acelera, y la velocidad del compresor aumentada fuerza al aire adicional a través del motor, y como resultado, el empuje aumenta. La reducción del flujo de combustible baja la temperatura de combustión y disminuye el empuje.

La unidad de control de combustible cambia automáticamente el flujo de combustible a medida que cambian las condiciones de entrada al compresor. el flujo de combustible disminuye cuando la presión de entrada al compresor disminuye según se gana altura, y aumenta durante el descenso.

Para acelerar el motor, debe suministrarse mas energía a la turbina además de la necesaria para mantener unas RPM constantes. Sin embargo, si el flujo de combustible se aumenta demasiado rápidamente, puede resultar en una mezcla demasiado rica, que causará una TIT excesiva o producirá una inestabilidad del compresor. Incluso puede haber un apagado de motor debido a una condición conocida como apagado por mezcla rica.

También es posible reducir el flujo de combustible a un régimen más rápido de lo que el compresor pueda reducir el flujo de aire hacia las cámaras. Si el flujo de combustible se reduce demasiado rápidamente durante la desaceleración, el motor puede experimentar una parada por mezcla pobre. La unidad de control de combustible debe suministrar la cantidad correcta de combustible para mantener una relación aire combustible que evitará que el motor se apague durante la aceleración o desaceleración.

El *Surge* es una condición de flujo de aire inestable a través del compresor en el que los álabes del compresor tienen un ángulo de ataque excesivo. La susceptibilidad para el *surge* aumenta con la baja densidad a gran altitud.

A ciertas velocidades de compresor y temperaturas de entrada del aire, debe tenerse cuidado para no ajustar el flujo de combustible hacia el motor demasiado rápidamente, ya que puede producir una alta presión en las cámaras de combustión antes que las RPM y el flujo de aire puedan aumentar proporcionalmente. Si la presión en la cámara aumenta demasiado rápidamente, el flujo de aire a través del compresor disminuirá su velocidad, el ángulo de ataque de los álabes del compresor aumentará y los álabes entrarán en pérdida (*stall*), haciendo que el motor se desestabilice (*surge*). Para evitar esto, la unidad de control de combustible debe limitar la aceleración del flujo de combustible.

Existen muchas variaciones de unidades de control de combustible usados en los motores de turbina de gas, pero pueden dividirse en dos grupos básicos: hidromecánicos y electrónicos. La mayoría de los controles de combustible son del tipo hidromecánico, con algunos parámetros de sensación del motor mas que otros. Los grandes aviones de líneas aéreas y muchos aviones militares de gran actuación usan controles de combustible electrónicos por su capacidad para sentir más parámetros y realizar una mayor función de control de la que es posible con un control de combustible hidromecánico.

Las unidades de control de combustible del motor de turbina de gas son dispositivos extremadamente complicados. Los tipos hidromecánicos contienen muchos elementos tal como reguladores de velocidad, servosistemas, levas tridimensionales, válvulas piloto y de manguito (correderas), dispositivos de retroacción o seguidores, y sistemas de calibración. Las unidades de control de combustible electrónicas son un laberinto de placas de circuitos impresos, termopares, amplificadores, relés, sistemas servoeléctricos, interruptores, y solenoides.

Aquí no intentaremos seguir el funcionamiento de ninguna unidad de control de combustible en particular, pero consideraremos las funciones básicas de una típica unidad de control de combustible hidromecánica y dos categorías de unidades de control de combustible electrónicas.

Unidad de Control de Combustible Hidromecánica

El principio básico de la calibración del combustible en el motor de turbina es variar el flujo de combustible a descargar en los inyectores a base de mantener una caída de presión constante a través de un orificio calibrado cuya área se varía por la posición del mando de gases del piloto y por las condiciones de funcionamiento del motor.

Una unidad de control de combustible hidromecánica básica consta de estos elementos:

- Una bomba para aumentar la presión del combustible.
- Una válvula de corte para detener el flujo de combustible hacia el motor.
- Una válvula de alivio para proteger la unidad de control de combustible cuando la válvula de corte está cerrada.
- Una válvula medidora para regular el flujo de combustible hacia el motor.
- Un ajuste de mínimo flujo para evitar que la válvula medidora detenga totalmente el flujo de combustible.

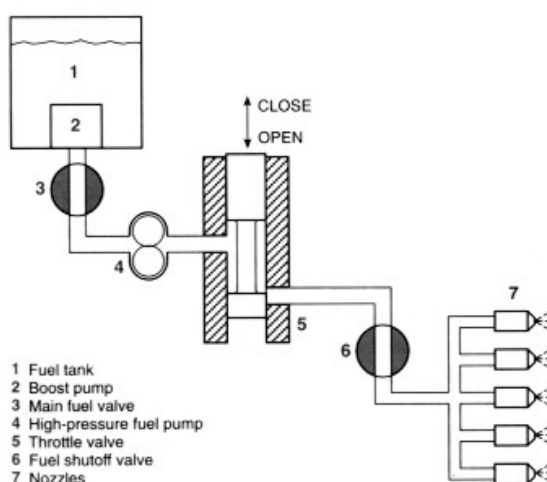


Fig. 11-2 Control de combustible básico

En la figura 11-2, *Control de combustible básico*, el combustible a la unidad de control de combustible se suministra desde el depósito (1), por medio de la bomba sumergida de ayuda (2), a través de la válvula de combustible (3). Su presión es aumentada por medio de la bomba (4), y su volumen controlado por el movimiento hacia arriba o hacia debajo de la válvula de aceleración (5). Una válvula de corte (6) detiene todo flujo hacia los inyectores(7) cuando el motor se para.

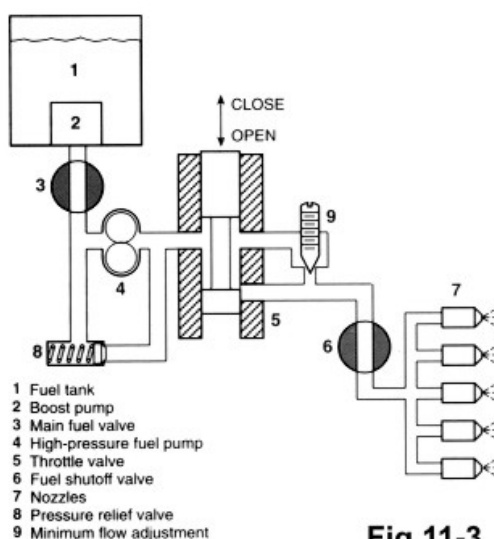
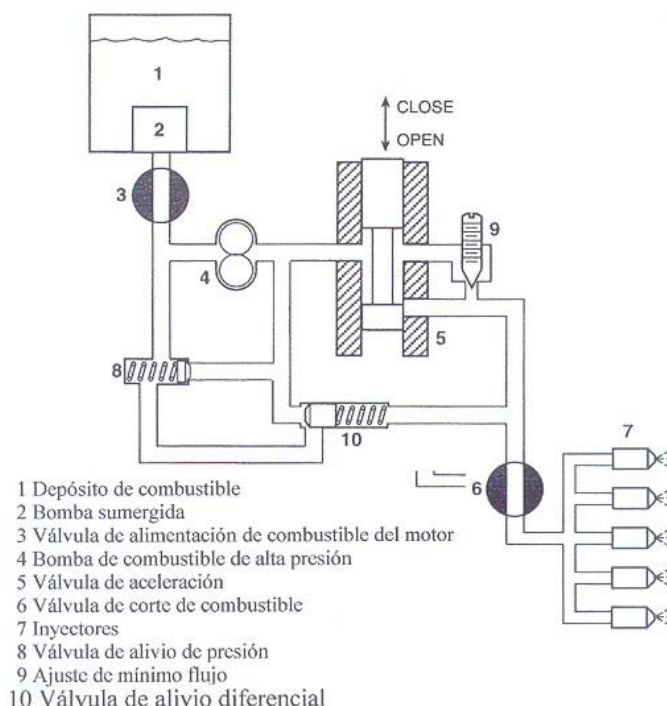


Fig.11-3

Control de combustible básico con la válvula de alivio de presión (8) y el ajuste de mínimo flujo (9)

Esta unidad de control de combustible básica puede mejorarse añadiéndole una válvula de alivio de presión (8) en paralelo con la bomba para limitar la cantidad de presión que la bomba pueda producir cuando la válvula de aceleración esté cerrada. Un ajuste de mínimo flujo (9) asegura que los inyectores recibirán siempre por lo menos la cantidad mínima de combustible para mantener al motor funcionando bajo condiciones de ralentí. Las dos formas de controlar la cantidad de combustible entregado a los inyectores son: variando la caída de presión a través de un orificio de calibración de flujo de área fija y manteniendo una caída de presión constante a través de un orificio de área variable. En la figura 11-4, el área del orificio de calibración de flujo está determinado por la posición de la válvula de aceleración, la cual está controlada por los parámetros sentidos por la unidad de control de combustible. Una válvula de alivio de

presión diferencial (10) está instalada a través de la válvula de aceleración para mantener una caída de presión constante a medida que varía el área del orificio.



La caída de presión a través de la válvula de aceleración se mantiene constante por medio de la válvula de alivio diferencial

Fig. 11-4

Cuando la válvula de aceleración está casi cerrada, el flujo a través de la válvula es bajo. La presión es baja en el lado de salida y alta en el lado de entrada. La alta presión en el lado de entrada desplaza a la válvula de alivio de presión diferencial (10) hacia la derecha, comprimiendo su muelle y permitiendo que parte del combustible fluya de vuelta a la entrada de la bomba.

Cuando la válvula de aceleración se abre para aumentar el flujo de combustible hacia los inyectores, la presión en el lado de entrada a la válvula de aceleración cae, y el muelle detrás de la válvula de alivio de presión diferencial la mueve hacia la izquierda para restringir el combustible que vuelve a la entrada de la bomba. Entonces la presión en el lado de entrada sube para mantener una caída de presión constante a través de la válvula de aceleración.

La unidad de control de combustible básica siente la posición de la palanca de gases, las RPM del motor, y la presión en el quemador para controlar la cantidad de combustible calibrada hacia los inyectores. En la figura, se ha añadido al sistema básico un regulador (*governor*) de masas centrífugas (11) para controlar la posición de la válvula de aceleración. Las masas centrífugas (12) están arrastradas por el motor a una velocidad proporcional a las RPM del motor, y la compresión del muelle de velocidad (13) está controlada por la posición de la palanca de gases.

Una válvula sensora de la presión del quemador Pb (14) actuada por fuelles entre el lado de descarga de la válvula de aceleración y el lado de entrada de la bomba de combustible siente la diferencia entre la presión del quemador y la presión ambiente de manera que la presión de combustible en los inyectores puede variar a medida que cambia la presión del quemador o de descarga del compresor.

El piloto mueve la palanca de gases hacia delante para aumentar el empuje del motor. Este movimiento aumenta la compresión del muelle de velocidad (13). Las masas centrífugas (12) se mueven hacia dentro, y la válvula de aceleración (5) se mueve hacia abajo, enviando mas

combustible al motor. El motor se acelera, y la fuerza centrífuga hace que las masas (12) se lancen hacia fuera hasta que vuelven a su condición de posición vertical, o de velocidad. La válvula de aceleración (5) ha aumentado el tamaño del orificio de calibración, y la válvula de alivio diferencial (10) mantiene constante la caída de presión a través de la válvula de aceleración (5) en su nueva posición.

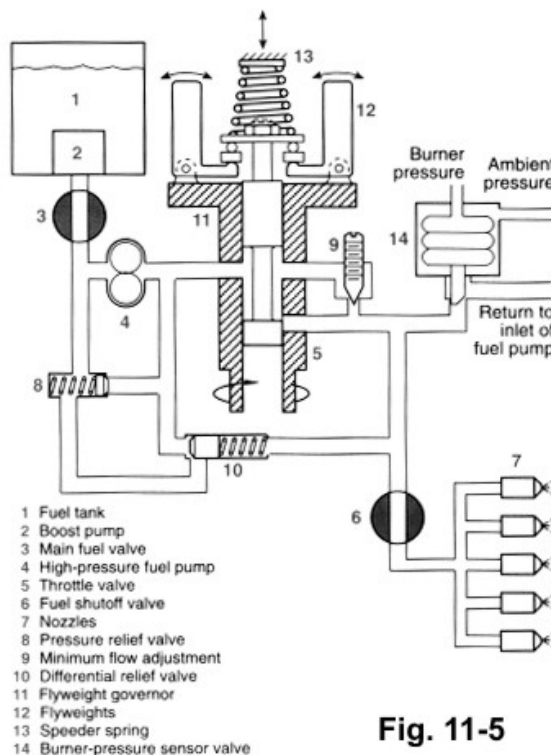


Fig. 11-5

Cuando el flujo de combustible se aumenta inicialmente, es posible que la mezcla aire-combustible se enriquezca lo suficiente como para ocasionar un apagado por mezcla rica antes de que el motor se acelere lo bastante como para mover suficiente aire a través del compresor y proporcionar la mezcla correcta de aire-combustible. Pero esto está previsto por el sensor de presión del quemador (14).

El flujo de combustible a través de la válvula de aceleración (5) aumenta antes que la presión de descarga del compresor, o presión del quemador P_b , aumente lo suficiente. Para evitar un apagado por mezcla rica, el fuelle en el sensor de presión del quemador (14) abre la válvula de derivación, y parte del combustible es derivado de vuelta a la entrada de la bomba en vez de ir hacia los inyectores. Tan pronto como el motor acelere a la velocidad deseada, la presión del quemador aumenta lo bastante para cerrar la derivación del combustible, y todo el combustible calibrado va hacia los inyectores.

Casi todas las unidades de control de combustible hidromecánicas usan algún tipo de regulador de masas centrífugas (*governor*) para mantener las condiciones requeridas por el piloto. Estos reguladores tienen una característica llamada decaimiento (*droop*).

Cuando el motor funciona bajo una carga constante, la fuerza centrífuga que actúa sobre las masas (12) se equilibra por la fuerza de compresión del muelle de velocidad (13). La válvula de aceleración (5) se sitúa para medir la cantidad correcta de combustible.

Si la carga aumenta, el motor se desacelera y las masas centrífugas (12) tiran hacia dentro. Esto le permite a la válvula de aceleración (5) bajar y dejar pasar mas combustible hacia los inyectores. La velocidad del motor aumenta de nuevo, pero ahora la válvula de aceleración (5) está mas abierta de lo que originalmente estaba (la válvula está bastante mas abajo), y en esta condición de velocidad, las masas centrífugas (12) están ligeramente mas hacia dentro de lo que estaban cuando no había carga sobre el motor. El muelle de velocidad (13) ejerce un poco

menos de fuerza, y la velocidad del motor es ligeramente mas baja que cuando el motor estaba funcionando sin carga. A medida que la carga aumenta, la velocidad estabilizada disminuye progresivamente; y a esta condición se le llama decaimiento (*droop*).

Unidad de Control de Combustible de Emergencia

Algunas unidades de control de combustible están provistas para actuar al motor en el modo de emergencia si acaso fallasen las características de control automático. El piloto todavía puede controlar la velocidad del motor, pero puesto que no hay programación automática del combustible, debe tenerse mucho cuidado de no cambiar el mando de aceleración demasiado rápidamente, ya que esto podría provocar un apagado de llama en el motor.

Unidad de Control de Combustible del Motor Turbohélice

La unidad de control de combustible para un motor turbohélice o turboeje recibe la señal del piloto para un determinado nivel de potencia. Entonces el control toma en consideración ciertas variables y ajusta el flujo de combustible del motor para proporcionar la potencia deseada, sin exceder no obstante, las limitaciones del motor de RPM y TIT.

El sistema de control de un motor turbohélice o turboeje tiene un trabajo adicional no compartido con sus colegas turborreactor y turbofan; debe controlar la velocidad de la hélice o de la turbina libre, y normalmente regula el paso de las palas de la hélice.

Sistemas Electrónicos de Control del Motor

Los avances tecnológicos de la turbina de gas han exigido un control mas preciso de los parámetros del motor de lo que por si solas podrían hacer las unidades de control de combustible hidromecánicas. Estas exigencias están afrontadas por los controles electrónicos del motor, o EEC, de los cuales existen dos tipos: el supervisorio (*supervisory*) y el de autoridad total (*full-authority*).

Control Electrónico del Motor Supervisorio

El primer tipo de EEC es un control supervisorio que funciona con una unidad de control de combustible hidromecánica probada.

Los componentes principales en el sistema de control supervisorio incluyen al propio control electrónico, la unidad de control de combustible hidromecánica en el motor, y la unidad de control de los álabes de estátor variables y del aire de sangrado para estabilidad del motor. El elemento hidromecánico controla la operación básica del motor incluyendo el arranque, la aceleración, la desaceleración, y la parada. La velocidad del rotor de alta presión (N2), los ángulos de los álabes de estátor del compresor, y el sistema de sangrado para estabilidad del motor también están controlados hidromecánicamente. El EEC, actuando en una capacidad supervisoria, modula el flujo de combustible del motor para mantener el empuje designado. El piloto simplemente mueve la palanca de gases hasta una posición de ajuste de empuje deseado, tal como empuje total de despegue, o máximo en ascenso (*maximum climb*). El control ajusta la relación de presión del motor (EPR) según se requiera para mantener el régimen de empuje, compensando los cambios en vuelo y condiciones medioambientales. El control también limita la velocidad de funcionamiento del motor y la temperatura, asegurando una operación segura a través de toda la envolvente del vuelo.

Si se desarrolla un problema, el control automáticamente se revierte al sistema hidromecánico, sin interrupción en el empuje. Una señal de aviso se muestra en la cabina, pero no se requiere una acción inmediata por parte del piloto. En cualquier momento el piloto puede también revertir al control hidromecánico.

Control Electrónico Digital de Autoridad Total (FADEC)

El control supervisorio fue un paso hacia la autoridad total, el EEC totalmente excesivo. Controla todas las funciones del motor y elimina la necesidad de apoyo del control hidromecánico usado en el sistema supervisorio. El moderno EEC es un dispositivo electrónico digital llamado control electrónico digital de autoridad total, o FADEC.

Uno de los propósitos básicos del FADEC es reducir la carga de trabajo de la tripulación. Esto se consigue por el circuito lógico de control del FADEC, que simplifica los ajustes de potencia para todas las condiciones operativas del motor. La posición de la palanca de gases se usa para conseguir ajustes de motor coherentes sin considerar las condiciones del vuelo o medioambientales.

El FADEC establece la potencia del motor por medio del control directo tipo lazo cerrado de la relación de presión del motor (EPR), que es el parámetro de referencia del empuje. El EPR requerido se calcula como una función del ángulo de la palanca de gases, la altitud, el número de Mach, y la información de la temperatura total del aire, y los sensores proporcionan las mediciones de las temperaturas del motor, las presiones, y las velocidades. Estos datos se usan para proporcionar control automático del empuje, protección de los límites del motor, control transitorio, y arranque del motor.

El FADEC usa un cuestionario programado para obtener el EPR correcto para los distintos ángulos de palanca de gases, y proporciona el EPR correcto para cualquier ángulo elegido durante las condiciones en constante cambio del vuelo y medioambientales.

Para conseguir el empuje deseado, el piloto solo tiene que colocar la palanca de gases en una posición que alinee la orden de EPR en el control con el indicador de referencia en el computador de gestión del empuje del avión. El sistema de control automáticamente acelera o desacelera el motor al nivel de EPR deseado sin que el piloto tenga que controlar continuamente el indicador de EPR. Una vez que se ha seleccionado un ajuste de potencia, el FADEC lo mantiene hasta que se cambia la posición de la palanca de gases.

Se puede usar un ajuste constante de ángulo de la palanca de gases para el despegue y subida. Además, puesto que el piloto ajusta el empuje del motor de acuerdo al EPR, y el sistema controla el EPR usando un ángulo de palanca de gases dado, en cada motor se obtendrá el mismo valor de empuje para la misma posición del mando de gases. Esto elimina el titubeo en el ajuste de gases.

El FADEC tiene muchas ventajas sobre ambos EEC, el hidromecánico y el supervisorio. Algunas de ellas son:

- No requiere ajuste de motor (trimado)
- Asegura arranques de motor mejorados
- Proporciona una velocidad de ralentí constante con los cambios de las condiciones atmosféricas y los cambios en los requerimientos del aire de sangrado para servicios.
- Ahorra combustible proporcionando una gestión mejorada del aire sangrado del motor.
- Modula totalmente el sistema de control activo de holgura (ACC) en lugar del sistema de modulación escalonada más convencional.
- Debido a la mayor precisión de su computador digital asegura unas fases de motor más reiteradas
- Proporciona protección del límite de motor limitando automáticamente las presiones y velocidades críticas del motor.

El FADEC tiene canales electrónicos dobles, cada uno con su propio procesador, alimentación de corriente, programa de memoria, sensores de señales de entrada seleccionados, y actuadores de señales de salida. La corriente para cada canal electrónico de control se proporciona por un alternador dedicado arrastrado por la caja de accesorios. Esta redundancia proporciona una alta fiabilidad operacional. Ni un solo fallo electrónico será la causa de un problema de funcionamiento del motor. Cada canal de control incorpora identificación de fallo, aislamiento, y diseño lógico.

Mientras que los controles electrónicos son altamente fiables, las averías pueden ocurrir. Un rango de lógica de tolerancia — fallo cuidará de cualquier fallo simple o múltiple. La lógica también identifica al canal de control, automáticamente el FADEC conmuta al canal secundario. Si se pierde un sensor en el canal primario, el canal secundario suministrará la información. Si los datos del canal secundario se pierden, el FADEC producirá información sintetizada utilizable de los parámetros que están disponibles. Si no hay suficientes datos disponibles para la sintetización, los modos de control se conmutan. Por ejemplo, si se pierde el EPR, el motor funcionará por sus valores de N1.

En el caso improbable de que ambos canales del control electrónico se perdiesen, los motores de torsión están cargados con muelle a sus posiciones de seguridad por fallo. El flujo de combustible se irá al mínimo flujo, los álabes de estátor variables se moverán a completamente abiertos (máximo ángulo), el radiador de aire — aceite se abrirá totalmente, y el ACC se cerrará.

El FADEC incluye amplias rutinas de auto — pruebas que están continuamente en acción. La prueba BITE (built-in test equipment) equipo de prueba incorporado, puede detectar y aislar fallos dentro de la EEC y sus dispositivos de señales de entradas y salidas. Las palabras de fallos del control están codificadas en mensajes en inglés por medio de un monitor de mantenimiento, e identifican la LRU (line replaceable unit) unidad reemplazable en línea que ha fallado. Los datos de fallos en vuelo se registran de manera que puedan ser leídos en el taller de reparación. El FADEC es capaz de aislar los problemas e indicar si el fallo está dentro de él mismo o en un sensor o actuador. En el taller, la localización de averías con la ayuda del ordenador puede identificar un fallo al nivel de placas de circuito.

Ajustes de la Unidad de Control de Combustible

La EGT, y de la misma manera el empuje, producido por algunos de los primeros motores turboreactores se ajustaba variando el área de la tobera de escape. Esto se hacía recortando (*trimming*) el extremo del tubo de escape para aumentar el área de la tobera o instalando pequeñas lengüetas metálicas llamadas “ratones” para disminuirla. El ajuste de las condiciones del motor todavía se llama “trimado” (*trimming*), aunque este procedimiento ya no se sigue.

No hay mucho mantenimiento sobre la unidad de control de combustible que pueda realizar el técnico de mantenimiento de avión mas que desmontar y sustituir las unidades y hacer los ajustes especificados por el fabricante.

No existen ajustes a realizar sobre una EEC, ya que el control se ajusta automáticamente para cualquier deterioro de la actuación. Los ajustes permitidos para una unidad de control de combustible hidromecánica normalmente son el ajuste de la gravedad específica del combustible, las RPM de ralentí, y las RPM de gases a tope.

El procedimiento para hacer estos ajustes está indicado en el manual de servicios del motor. La información y procedimientos más recientes deben seguirse al detalle.

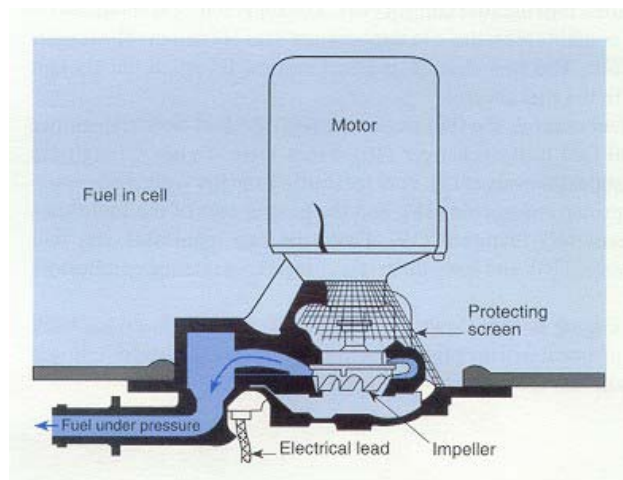
Los motores turboreactores y turbofanos son dispositivos de precisión , y cuando se fabrican, cada uno se rueda y se calibra en el banco de pruebas. Las RPM a las cuales cada motor individual produce su empuje evaluado están estampadas sobre la placa de datos del motor, y el técnico puede comprobar la actuación del motor comparando el EPR, la EGT, y las RPM obtenidos durante un rodaje de motor con las especificaciones de la placa de datos.

El motor está preparado según lo especifica el fabricante, e instrumentos de calibración exacta están conectados al motor para medir temperatura, EPR, EGT, y RPM.

La calibración debería hacerse cuando no sopla el viento, pero si sopla, el avión debería aproximarse hacia él. El motor debería operarse según lo especificado en las instrucciones del fabricante y todos los ajustes hacerse de acuerdo con estas instrucciones.

Descripción del Sistema y Componentes

En un sistema de combustible de motor de turbina se usan algunos de los tipos básicos de componentes como en un sistema de motor alternativo, pero los componentes son bastante diferentes debido al gran volumen de combustible que debe moverse y las temperaturas bajas encontradas en las altitudes a las que vuelan los aviones propulsados por turbinas.



Las bombas "booster" centrífugas sumergidas sacan el combustible del depósito y lo envían a la entrada de la bomba arrastrada por el motor.

Fig. 11-6

descargarse.

Bombas de Combustible

Las bombas centrífugas sumergidas sacan el combustible de los depósitos. Estas bombas están controladas desde el panel del mecánico de vuelo y se usan para tres propósitos:

Para presurizar el combustible en la línea entre el depósito y la bomba arrastrada por el motor, asegurando así una alimentación positiva a la bomba de combustible.

Para trasvasar combustible de un depósito a otro para equilibrar la carga de combustible.

Para bombear el combustible desde el depósito al conducto de descarga cuando el combustible tiene que

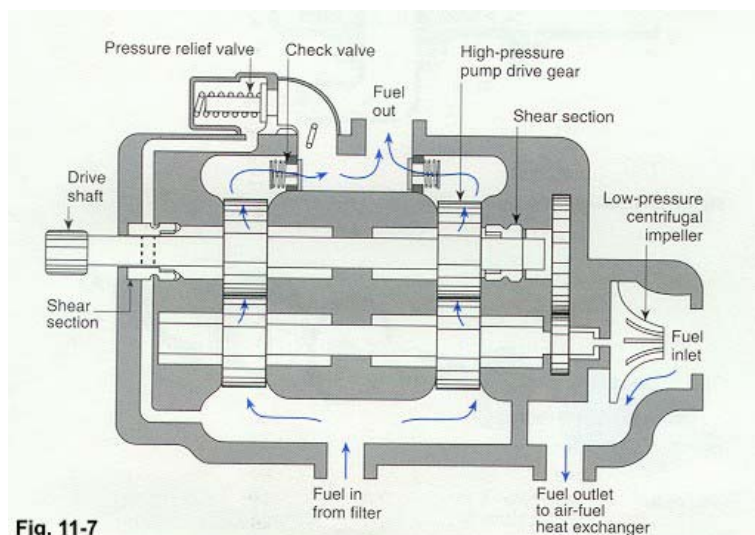


Fig. 11-7

Bomba de combustible de múltiples etapas para motor de turbina. Esta bomba tiene un impulsor centrífugo para la primera etapa y una etapa de alta presión de doble juego de engranajes. La válvula de alivio de presión controla la presión de salida de la bomba.

Las bombas arrastradas por el motor normalmente son del tipo multietapas como la mostrada en la figura 11-7. El combustible fluye desde el depósito bajo la presión de la bomba sumergida (de aproximadamente 30 psi) hacia dentro del impulsor centrífugo. Este elemento eleva la presión hasta unos 100 psi, y el combustible deja la bomba y fluye a través del calentador de combustible y del filtro para volver a la bomba de alta presión de dos etapas tipo engranajes.

Obsérvese que ambas etapas de la bomba de alta presión están protegidas por secciones de cizallado. Si los engranajes en cualquier

sección se agarrotasen, la sección de cizallado se romperá e inutilizará esa sección mientras que la otra continuará funcionando. Las válvulas antirretorno en las líneas de descarga desde los piñones evita que el combustible fluya hacia atrás dentro de una sección no operativa.

Luego el combustible deja los engranajes. Fluye a través de las válvulas antirretorno y sale hacia la unidad de control de combustible. La válvula de alivio de presión a la salida de la bomba mantiene la presión de descarga de la bomba a su valor ajustado. Si la presión se sube por encima de este valor, la válvula se desplazará de su asiento, permitiendo que el combustible que origina el exceso de presión vuelva a la entrada de los engranajes.

Filtros de Combustible

Las unidades de control de combustible de los motores de turbina tienen unos componentes con unas tolerancias tan estrechas que incluso los más pequeños contaminantes pueden originar serios problemas. Por esta razón, los sistemas de combustible de los motores de turbina con frecuencia tienen un microfiltro que usa un elemento filtrante de celulosa reemplazable capaz de retener partículas extrañas tan pequeñas como de 10 a 25 micrones. Para ver este tamaño, un cabello humano tiene un diámetro de aproximadamente 100 micrones. Este tipo de filtro se ve en la figura 11-8.

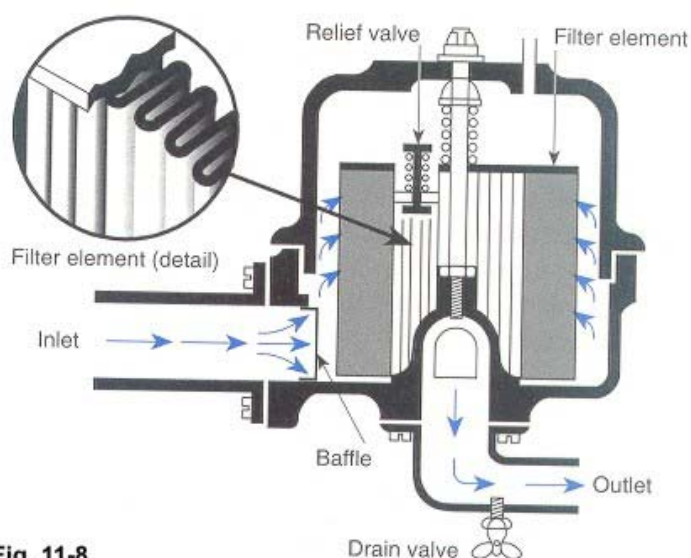


Fig. 11-8

Microfiltro usado en el sistema de combustible de un motor de turbina de gas

Otro tipo de filtro muy usado por los sistemas de combustible de los motores de turbina es el filtro de pantalla tipo galleta como el mostrado en la figura 11-9. El elemento filtrante consiste en un paquete de discos que forman la pantalla tipo galletas hecha de unas 200 mallas de bronce, latón, o acero inoxidable. Este tipo de filtro tiene la posibilidad de retener partículas del combustible muy diminutas, y al mismo tiempo, soportar las altas presiones encontradas en un sistema de combustible de motor de turbina.

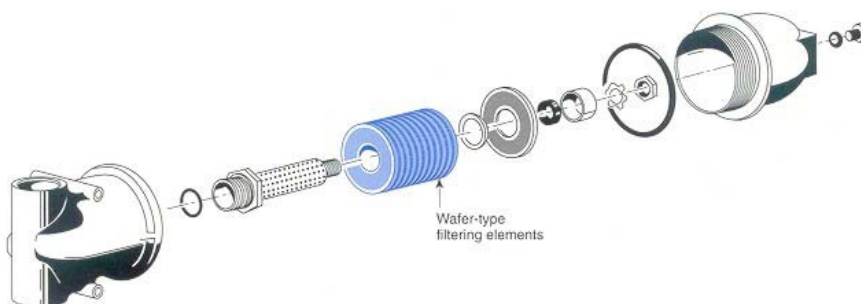


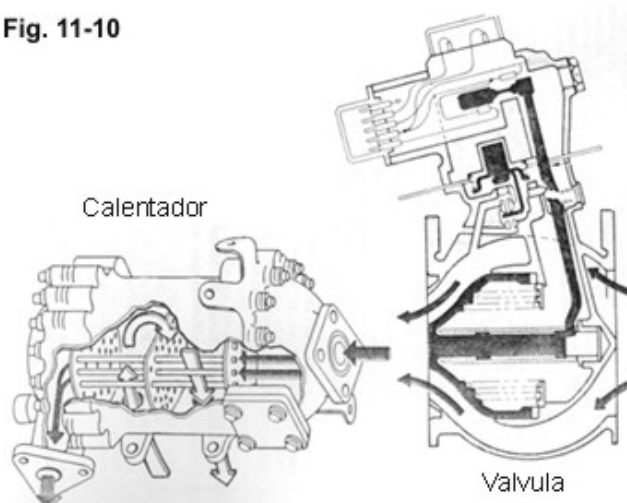
Fig. 11-9

Filtro de combustible tipo galletas

Calentador de Combustible

Este conjunto tiene por misión la de eliminar del combustible los pequeños cristales de hielo que como consecuencia de la baja temperatura, en algunas ocasiones se pudieran formar.

Fig. 11-10

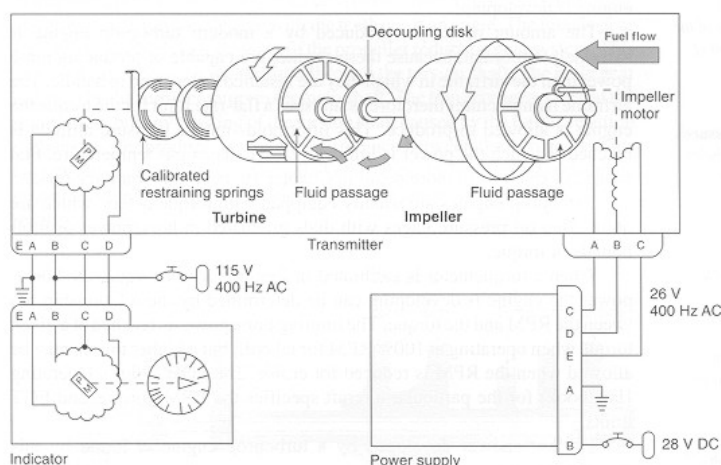


Estos cristales, lógicamente impedirán el correcto funcionamiento de unidades posteriores, y especialmente el control de combustible.

Esta unidad opera haciendo pasar aire caliente procedente del compresor por un cambiador de calor del tipo aire – combustible. Su operación no es continua sino que está mandada desde la cabina cuando es necesario.

Básicamente está formado por dos accesorios: una válvula de corte de aire y un cambiador de calor. La válvula está controlada por un solenoide, pero su accionamiento suele ser neumático, ya que tiene que ser capaz de resistir la acción de la alta presión del compresor, pues es el flujo de aire el que tienen que controlar, abriendo o cerrando su paso.

El cambiador de calor realiza el intercambio de calor entre el aire caliente procedente del compresor y el combustible. El aire va por el interior de los tubos mientras que el combustible lo hace por su exterior. Por él continuamente está pasando combustible, mientras que el aire solo lo hace cuando se lo permite la válvula de corte. El aire una vez que ha pasado por el cambiador se expulsa al exterior.



En este medidor de masa del flujo de combustible, la rotación de la turbina está afectada por el volumen y la densidad del combustible.

Fig. 11-11

Medidor del Flujo de Combustible (Fluxómetro)

Tras dejar la unidad de control de combustible, el combustible fluye a través del transmisor de flujo de combustible. En muchos motores el medidor de flujo de combustible suele estar colocado a la entrada del cambiador de calor aceite – combustible. Este dispositivo siente la masa del combustible que fluye hacia los inyectores e indica el número de libras por hora sobre el panel de instrumentos. El mecanismo

usado para medir el flujo de combustible consta de un impulsor y una turbina montados en la línea principal de combustible que se dirige al motor. El impulsor, arrastrado a una velocidad constante por un motor especial trifásico de CA, imparte un movimiento de giro al combustible que pasa a través de él, y este combustible girando mueve a la turbina. La turbina se frena por dos muelles de freno calibrados, y la cantidad que esta se frena está afectada por el volumen y la densidad del combustible.

La cantidad de giro negativo de la turbina se transmite a un indicador eléctrico en cabina por medio de un transmisor Magnesyn incorporado en el fluxometro

Cambiador de Calor Aceite - Combustible

El siguiente componente en el típico sistema de combustible del turbofan es el cambiador de calor aceite - combustible. Este es del tipo descrito en los sistemas de lubricación del motor de turbina. El combustible fluye directamente a través de los tubos en el radiador, y el aceite del motor fluye alrededor de los tubos. El calor del aceite calienta al combustible, y el combustible enfría al aceite. Para mas información véase el apartado Radiador de aceite en Sistemas de Lubricación.

Inyectores de Combustible

El extremo final del sistema de combustible del motor de turbina es los inyectores de combustible. El combustible líquido no arderá, y para que libere su energía, debe vaporizarse de manera que se mezclará con el aire para formar una mezcla combustible. Existen dos tipos de inyectores usados para descargar el combustible: los ampliamente usados inyectores de atomización y los menos usados inyectores de vaporización. Aquí solamente trataremos los inyectores de atomización.

Los dos tipos de inyectores de atomización son los simplex y los dúplex. El inyector simplex fue uno de los primeros inyectores con éxito. Este inyector se rosca directamente en el colector de combustible dentro de la cámara de combustión, y el combustible a presión procedente de la unidad de control de combustible fuerza a la válvula antirretorno del inyector fuera de su asiento y entra en el inyector. Este combustible luego pasa a través de una serie de surcos tangenciales, o ranuras, y sale pulverizado a través del único orificio de descarga en pequeñas gotas muy finas formando una pulverización como un cono. Tan pronto como el motor se para y la presión del combustible cae por debajo del valor al cual la válvula antirretorno del inyector está ajustada, esta cierra y corta todo flujo hacia el orificio de descarga. Esto evita que el combustible gotee y continúe ardiendo.

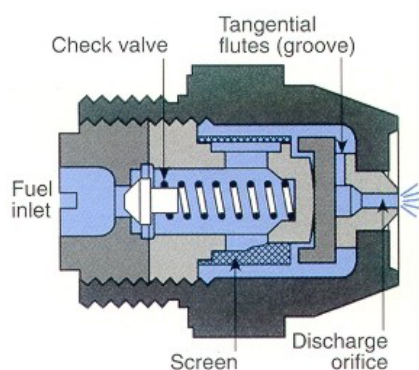


Fig. 11-12
Inyector de combustible tipo simplex

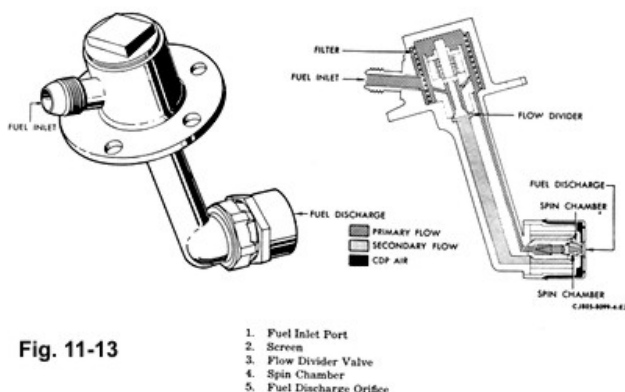


Fig. 11-13

Inyector de un solo colector

Los problemas básicos con los inyectores simplex son su inadecuada atomización e impropio espectro pulverizador a baja velocidad y baja presión. Están diseñados para ser eficaces a altas presiones.

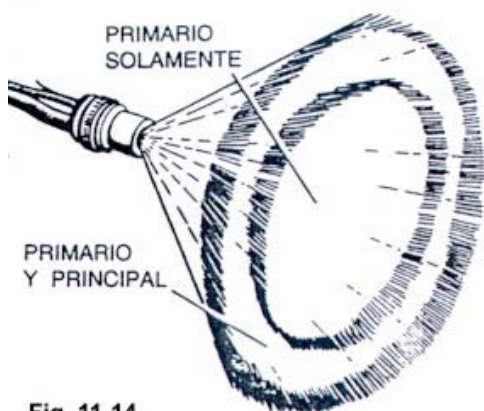


Fig. 11-14

Se usan dos tipos de inyectores duplex en los motores modernos: inyectores de un solo colector (Fig. 11-13) e inyectores de doble colector (Fig. 11-15).

A los inyectores duplex de un solo colector les llega el combustible desde la unidad de control de combustible a través de una sola línea o colector. Estos inyectores incorporan una válvula divisora de flujo que permite al combustible pulverizar desde un orificio central en un espectro amplio de pulverización para el arranque y ralenti. Cuando la unidad de control de combustible calibra suficiente presión para abrir el divisor de flujo, el combustible

fluye al orificio secundario. El gran volumen del combustible secundario y la alta presión a la cual sale del inyector estrechan el espectro de pulverización y fuerzan al combustible mas corriente abajo en la cámara de combustión.

Algunos motores están equipados con inyectores de combustible duplex de doble colector. Estos inyectores tienen pasos independientes a través de los cuales fluyen los combustibles primario y secundario. Para el arranque y condiciones de bajo flujo, solo el combustible primario llega desde la válvula de presurización, y se pulveriza desde el orificio central primario en una pulverización ancha.

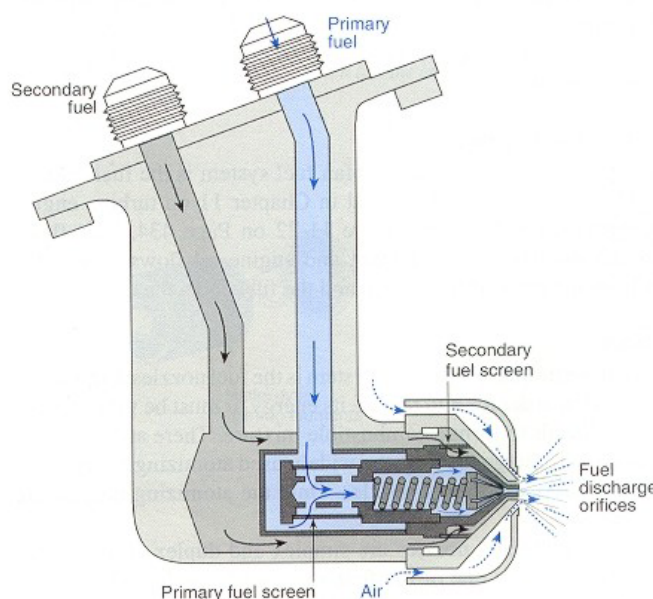


Fig. 11-15 Inyector de doble colector

Válvula de Presurización y Descarga

Los inyectores duplex de doble colector deben tener un divisor de flujo entre la unidad de control de combustible y los inyectores. A esta válvula con frecuencia se le llama válvula de presurización y descarga. Cuando el motor se está arrancando, el combustible procedente de la unidad de control de combustible incrementa la presión lo suficiente para abrir la válvula hacia el colector primario de combustible. Este combustible fluye dentro del inyector y se

pulveriza a través del orificio de descarga primaria en un espectro de pulverización ancho. Cuando el motor acelera y la presión del combustible procedente de la unidad de control de combustible aumenta, la válvula de presurización cargada con muelle se abre mas y permite que el combustible también fluya a través del colector de combustible secundario dentro del inyector y salga a través del orificio de descarga secundario. Este orificio rodea al orificio primario, y el combustible pulverizándose por él estrecha el espectro y lo lanza bastante mas hacia atrás en la cámara de combustión.

Cuando el motor se para y no hay mas presión de combustible desde la unidad de control de combustible, una válvula cargada con muelle dentro de la válvula de presurización y descarga abre y permite que todo el combustible de los colectores hacia los inyectores drene.

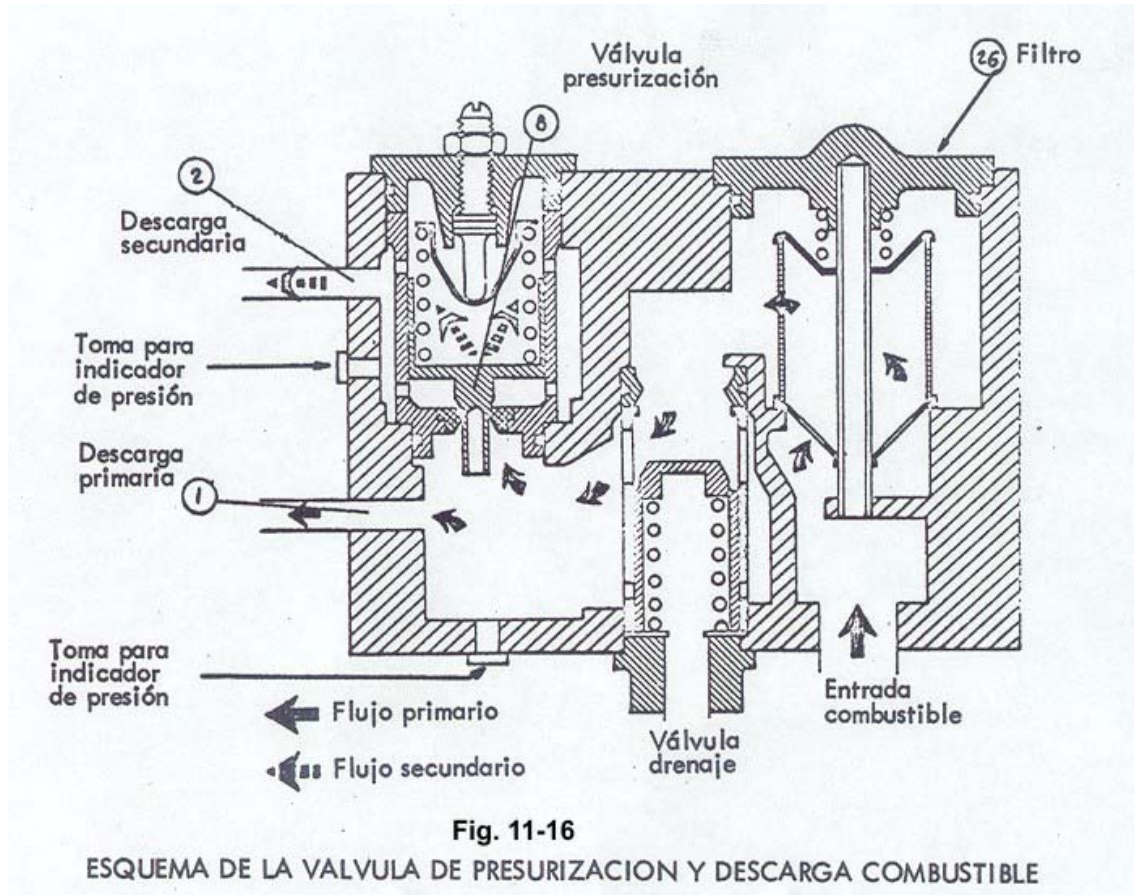


Fig. 11-16

ESQUEMA DE LA VALVULA DE PRESURIZACION Y DESCARGA COMBUSTIBLE