

SISTEMAS DE ARRANQUE E IGNICIÓN

Funcionamiento y Componentes del Sistema de Arranque del Motor

Para asegurar que un motor de turbina de gas arranque satisfactoriamente se requieren dos sistemas independientes. En principio, debe disponerse de los medios para que el compresor y la turbina giren hasta una velocidad a la cual pase la cantidad de aire adecuada al sistema de combustión para que se mezcle con el combustible procedente de los inyectores. Segundo, debe proporcionarse un medio para prender la mezcla aire/combustible en la cámara de combustión. Durante el arranque del motor los dos sistemas deben funcionar simultáneamente, no obstante, también debe existir la posibilidad de giro del motor sin la ignición para comprobaciones de mantenimiento, y de operar solo el sistema de ignición para un reencendido durante el vuelo.

Durante un ciclo de puesta en marcha el funcionamiento de ambos sistemas está coordinado, y su operación está automáticamente controlada tras el inicio del ciclo por un circuito eléctrico. En el diagrama de la figura 13-1 se muestra una secuencia típica de los pasos durante la puesta en marcha de un motor turbo reactor.

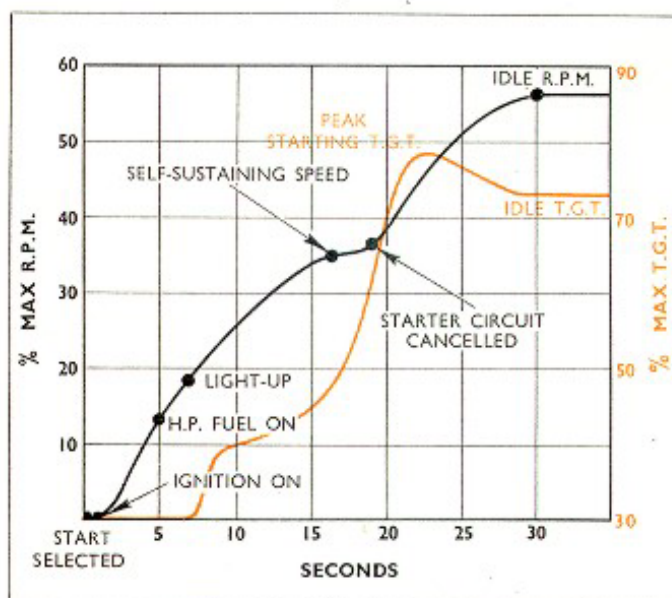


Fig. 13-1

Secuencia típica de puesta en marcha de un motor turbo reactor

Métodos de puesta en marcha

El procedimiento de puesta en marcha para todos los motores de reacción es básicamente el mismo, pero puede lograrse por varios métodos. El tipo y fuente de potencia para las unidades de puesta en marcha varía de acuerdo con los requisitos del motor y avión. Algunos usan energía eléctrica, otros usan gas, aire, o presión hidráulica, y cada uno tiene sus propios méritos. Por ejemplo, un avión militar requiere que el motor esté arrancado en el mínimo tiempo, y cuando sea posible, sea completamente independiente del equipo exterior. Sin embargo, un avión comercial, requiere que el motor se arranque con el mínimo de molestias para los pasajeros y por los medios más económicos. Cualquiera que sea el sistema usado, la fiabilidad es de importancia primordial.

La unidad de puesta en marcha debe producir un alto par de torsión y transmitirlo al conjunto rotatorio del motor de tal manera que proporcione una suave aceleración desde el reposo hasta la velocidad a la cual el flujo de gas a través del motor proporcione suficiente energía para que la turbina del motor se haga cargo del mismo.

Puesta en marcha eléctrica

La puesta en marcha eléctrica se usa en algunos motores turbohélices y turborreactores. Normalmente la puesta en marcha es un motor eléctrico de corriente continua acoplado al motor a través de un engranaje reductor y un mecanismo de trinquete o embrague, que desacopla automáticamente después de que el motor ha alcanzado la velocidad de automantenido.

El suministro eléctrico puede ser de bajo o alto voltaje, y pasa a través de un sistema de relés y resistencias para permitir que todo el voltaje se aplique progresivamente a medida que la puesta en marcha gana velocidad. También proporciona la energía para el funcionamiento del sistema de encendido. El suministro eléctrico se cancela automáticamente cuando la carga de la puesta en marcha se reduce después de que el motor ha arrancado satisfactoriamente o cuando el ciclo está completo. En la figura 13-2 se muestra un sistema de puesta en marcha eléctrica típico.

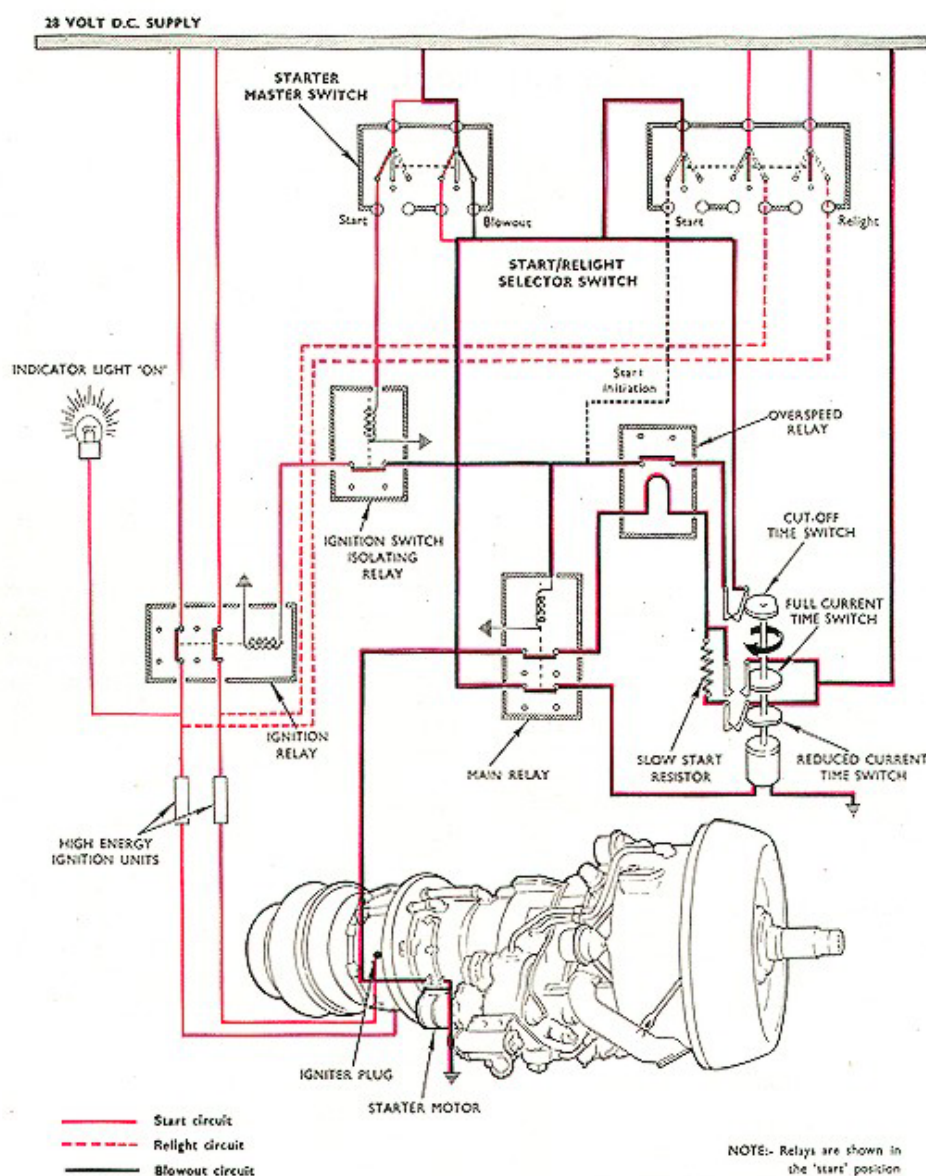


Fig. 13-2 Sistema de puesta en marcha eléctrica de bajo voltaje

Puesta en marcha de cartucho

En motores militares se usa algunas veces el arranque por cartucho, y proporciona un método de puesta en marcha rápido e independiente. El motor de puesta en marcha básicamente es una pequeña turbina tipo impulso la cual está arrastrada por los gases a alta velocidad procedentes de la ignición de un cartucho. La potencia de salida de la turbina pasa a través de un engranaje de reducción, y de un mecanismo automático de desconexión para hacer girar al motor. Un detonador disparado eléctricamente inicia la ignición de la carga del cartucho. A medida que una carga de *cordita* proporciona el suministro de potencia para este tipo de puesta en marcha, el tamaño de la carga requerida puede limitar el uso de las puestas en marcha de cartuchos. En la figura 13-3 se muestra una puesta en marcha de cartucho de tres recámaras.

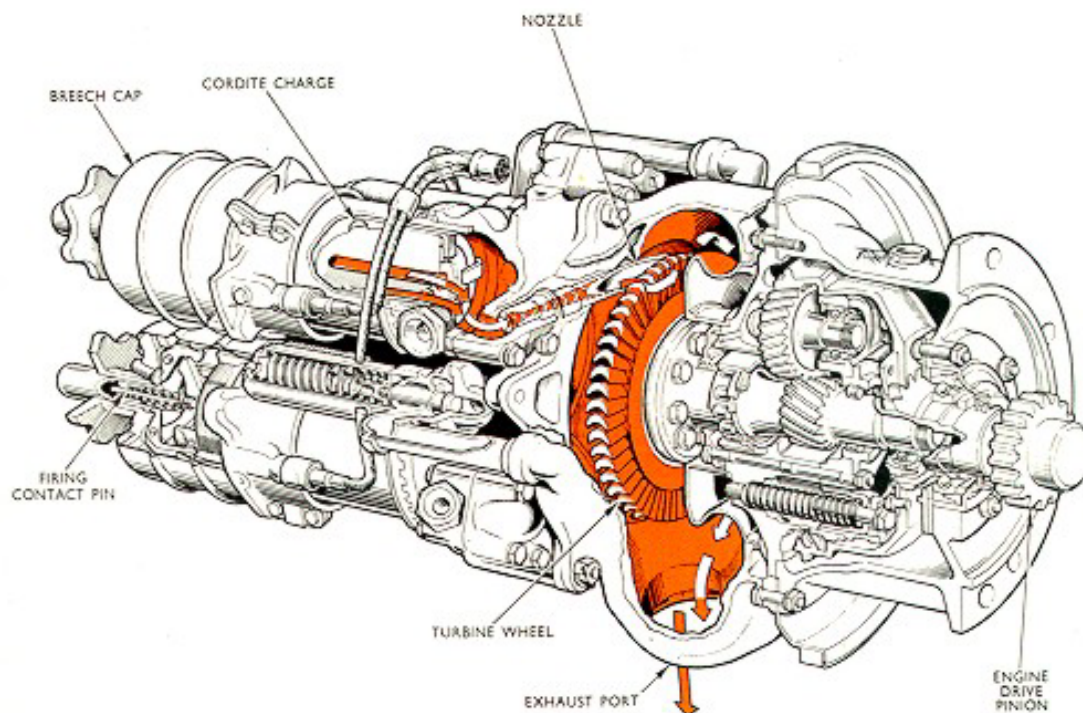


Fig. 13-3 Puesta en marcha de cartucho de triple recámara

Puestas en marcha neumáticas

Las puestas en marcha neumáticas se usan en la mayoría de los motores de reacción de los modernos aviones comerciales y algunos aviones militares. Tiene muchas ventajas sobre otros sistemas de puesta en marcha, ya que comparativamente es ligero de peso a la vez que económico y simple de operar.

Un motor neumático de puesta en marcha tiene un rotor de turbina que transmite la potencia de salida al eje de la puesta en marcha conectado al motor a través de un engranaje de reducción y embrague.

La turbina de la puesta en marcha se gira por aire a presión que se toma desde un suministro exterior en tierra, desde una unidad de potencia auxiliar (A.P.U.) que se lleva a bordo, o desde otro motor del propio avión que ya está en marcha. El suministro de aire para la puesta en marcha se controla por una válvula de control y reguladora de presión que se abre cuando se selecciona el arranque de un motor, y se cierra automáticamente cuando la unidad de puesta en marcha alcanza una determinada velocidad. El embrague también suelta automáticamente a medida que el motor acelera hasta las r.p.m. de ralentí y cesa la rotación de la puesta en marcha. En la figura 13-4 se muestra una unidad de puesta en marcha neumática típica.

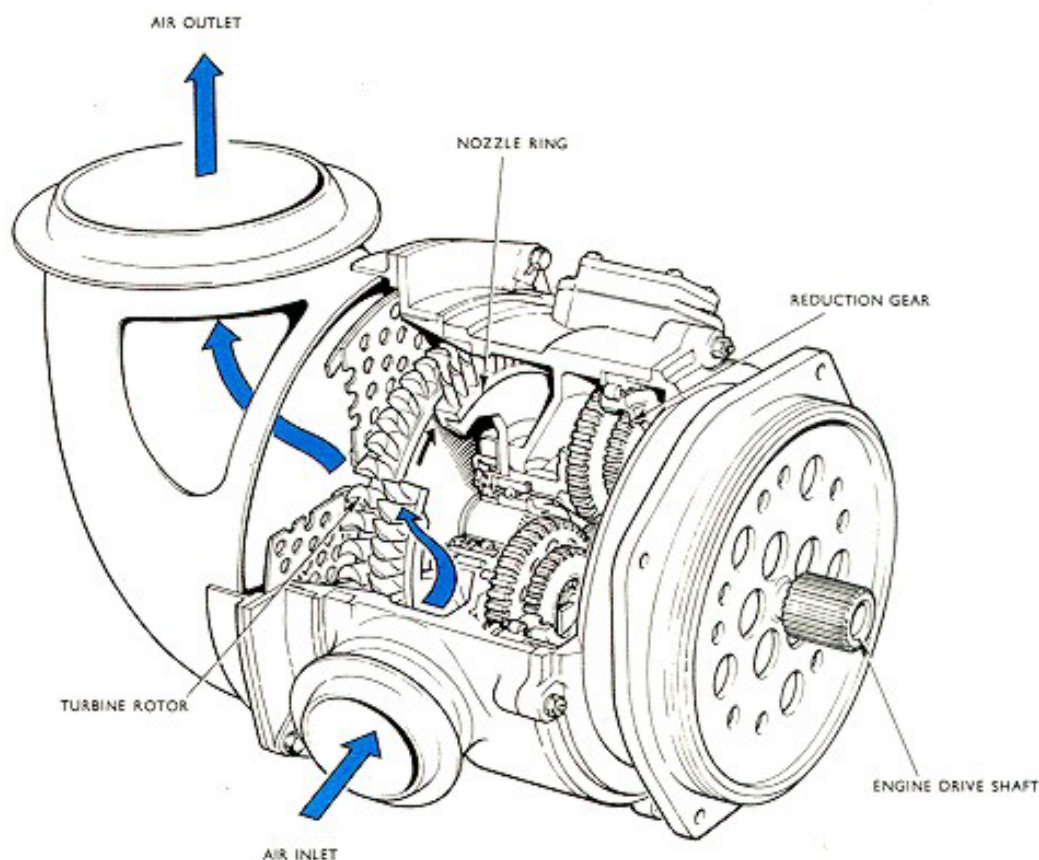


Fig. 13-4 Unidad de puesta en marcha neumática

A continuación se describe el principio de funcionamiento de una puesta en marcha de turbina neumática. El aire a una presión aproximadamente de 35 a 40 psi entra en la puesta en marcha por su extremo posterior y fluye a través de los pasos de álabes fijos de la turbina donde se altera su dirección de manera que entre en los álabes rotatorios de la turbina axial con el ángulo adecuado. El aire que fluye a través de la turbina la hace girar a una velocidad de alrededor de 50.000 RPM, y esta alta velocidad del eje de turbina es reducida a aproximadamente 2.400 RPM por medio del doble juego de engranajes de reducción. La salida de los engranajes de reducción se ajusta por medio de estrías al trinquete en el embrague de uñetas y lo arrastra en sentido de las agujas del reloj.

Las uñetas en el alojamiento del embrague están mantenidas contra los dientes del trinquete por una serie de resortes tipo ballestillas (véase la figura 13-6). Cuando las uñetas están enganchadas, el alojamiento del embrague gira con el trinquete. Cuando el motor arranca, el alojamiento gira mas rápido que el trinquete, y las uñetas se deslizan sobre los dientes del trinquete hasta que la velocidad se incrementa lo bastante para producir suficiente fuerza centrífuga para mantener las uñetas apartadas del trinquete oponiéndose a la fuerza de los resortes.

Cuando el motor se para, el alojamiento del embrague baja su velocidad de manera que la fuerza centrífuga ya no puede mantener las uñetas apartadas, y se montan sobre el trinquete, produciendo un ruido de golpeteo metálico a medida que la turbina y el compresor se van parando.

Las puestas en marcha de turbina neumática tienen una sección de cizallamiento sobre el eje de arrastre (véase figura 13-5). Si el mecanismo de trinquete no soltase, el motor arrastraría a la puesta en marcha a una velocidad mucho mayor de para la cual ha sido diseñada. Cuando la

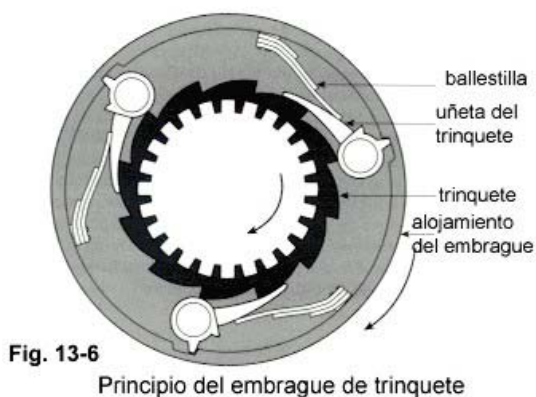
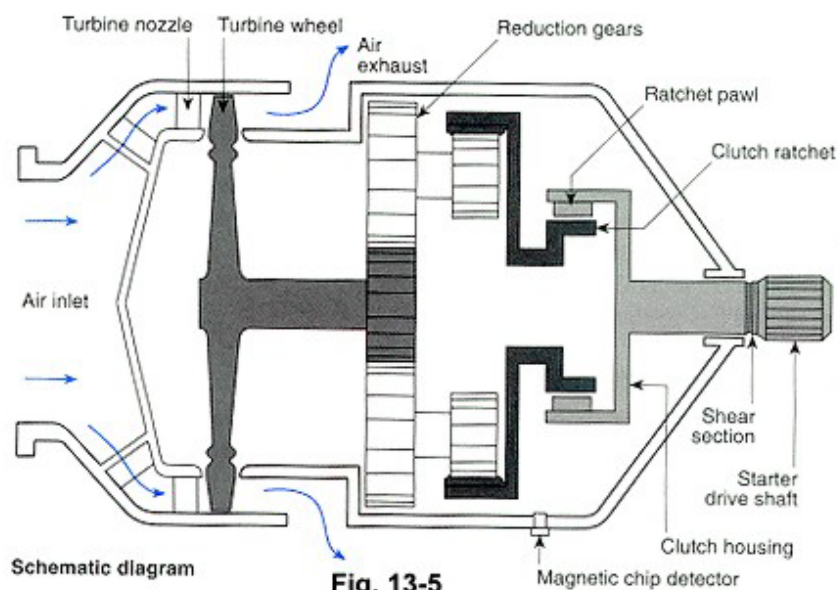
torsión se hace suficientemente alta, la sección de cizallamiento se romperá, protegiendo a la puesta en marcha de daños mayores.

El aire procedente de la APU fluye a través de una válvula de corte y regulación (véase figura 13-7 *air control valve*) tipo mariposa actuada por solenoide y controlada por el interruptor de puesta en marcha en la cabina de mando. La función del regulador de la válvula protege a la puesta en marcha de una presión de aire demasiado alta.

Cuando el motor arranca y alcanza una velocidad automantenida, un interruptor centrífugo o señal de RPM abre y desenergiza al solenoide. Entonces un muelle cierra la válvula de aire.

En esta puesta en marcha existe una característica de seguridad secundaria que evita que la turbina sin carga alcance su velocidad de desintegración si, por cualquier razón, el aire suministrado no cortase después del arranque del motor. Cuando el flujo de aire a través de los álabes fijos (figura 13-5 *turbine nozzle*) alcanza la velocidad del sonido, el paso a través de ellos se estrangula, lo que evita un posterior incremento del flujo. La turbina se estabiliza en una condición de sobrevelocidad.

Las puestas en marcha de turbina neumáticas tienen su propio sistema de lubricación autocontenido con el aceite en la carcasa de la puesta en marcha. Un detector de partículas magnéticas (figura 13-5 *magnetic chip detector*) está incorporado en el tapón de drenaje para avisar al técnico de mantenimiento de cualquier daño en los engranajes que produzca copos o virutas metálicas.



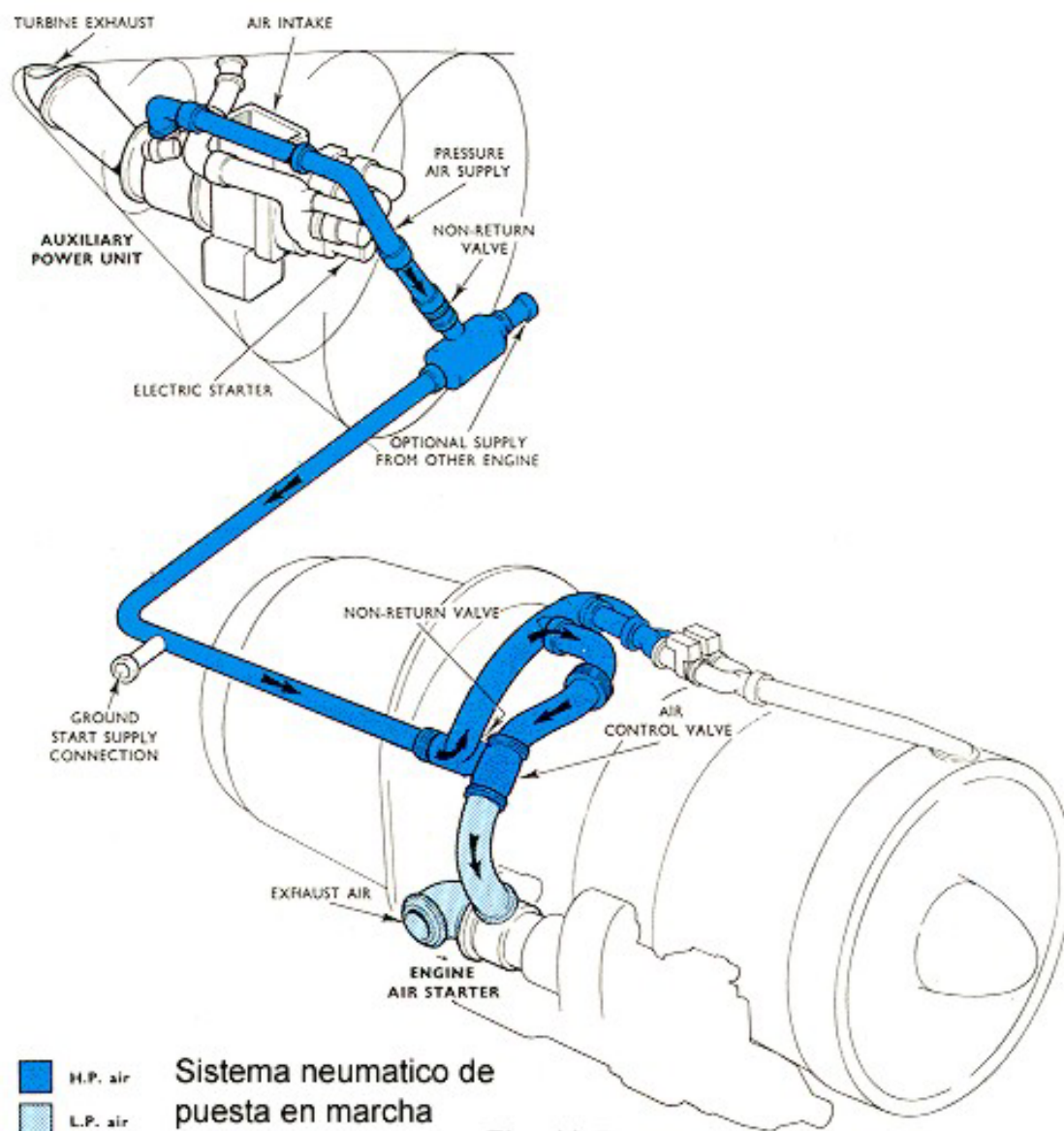
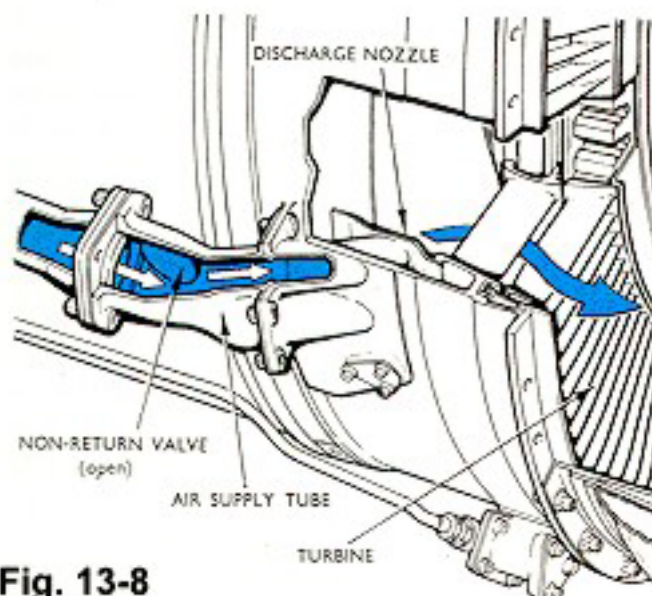


Fig. 13-7

Arrancador de Intrusión de Aire

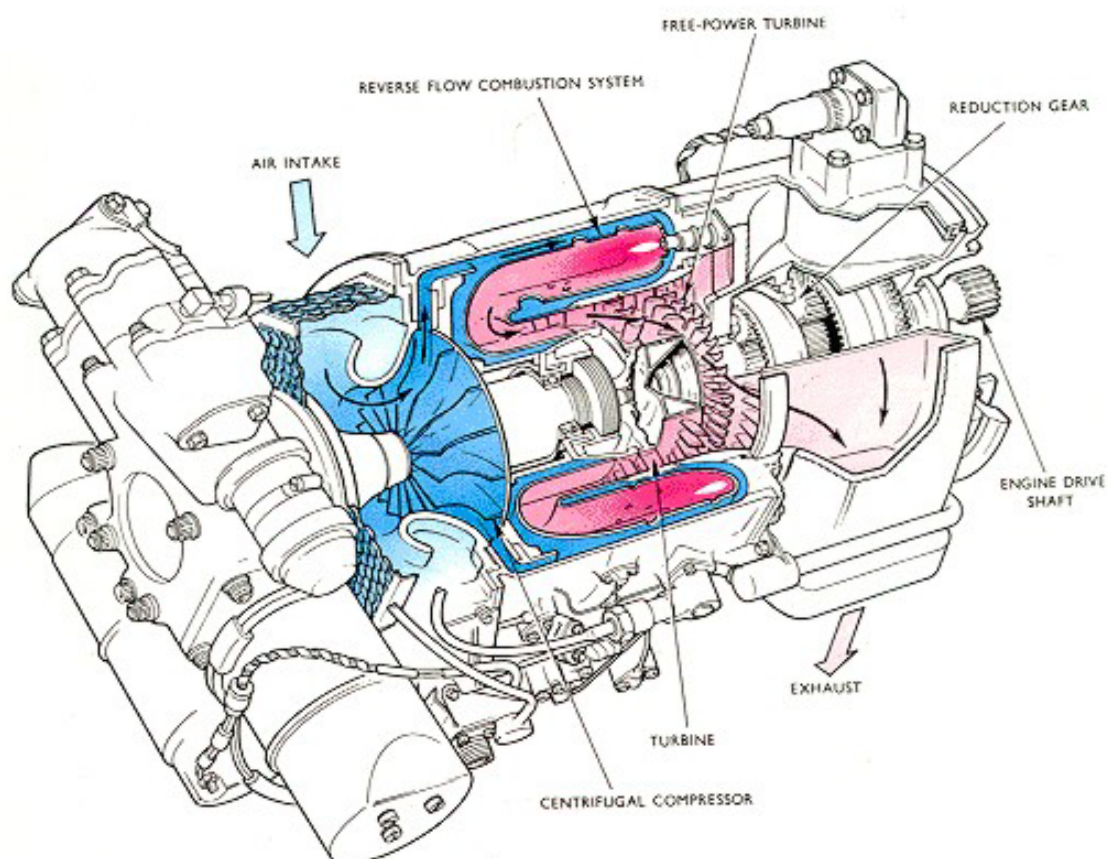
Algunos motores se arrancan por medio de una corriente de aire de baja presión que pasa a través de una válvula de retención y sopla sobre los álabes de turbina. La fuente neumática se desconecta cuando el motor alcanza una velocidad que le permite acelerar sin mas ayuda. Para este tipo de arrancador no se requieren mas componentes que una tubería de aire, una válvula de retención, y la tobera que dirige al aire sobre la turbina (figura 13-8).

**Fig. 13-8**

Sistema de intrusión de aire

Arrancador de turbina de gas

Algunos motores de reacción usan un arrancador de turbina de gas que es completamente autónomo. Este tiene su propio sistema de combustible y encendido, su sistema de puesta en marcha (normalmente eléctrico o hidráulico) y su sistema de aceite. Este tipo de arrancador es económico de operar y proporciona una alta potencia de salida para un peso comparativamente bajo (Fig. 13-9).

**Fig. 13-9**

Arrancador de turbina de gas

El arrancador de turbina de gas consta de un motor de turbina de gas compacto y pequeño, equipado normalmente con una turbina que arrastra a un compresor centrífugo, un sistema de combustión de flujo inverso, y una turbina de potencia libre mecánicamente independiente. La turbina de potencia libre está conectada al motor principal a través de un engranaje de reducción, un embrague automático y un eje de arrastre.

Al inicio del ciclo de puesta en marcha, el arrancador de turbina de gas es girado por su propia puesta en marcha hasta que alcanza la velocidad de automantenimiento, que es cuando los sistemas de puesta en marcha y encendido se desconectan automáticamente. Luego la aceleración continúa hasta una velocidad controlada de aproximadamente 60.000 r.p.m. Al mismo tiempo que el motor arrancador de turbina de gas está acelerando, los gases de escape se dirigen, a través de unos álabes guías, sobre la turbina libre para proporcionar el arrastre del motor principal. Una vez que el motor principal alcanza la velocidad de automantenimiento, un interruptor de corte actúa y para al arrancador de turbina de gas. A medida que se para el arrancador, el embrague se desconecta automáticamente del eje de arrastre, y el motor principal acelera hasta las r.p.m. de ralentí bajo su propia potencia.

Sistema de Ignición y Componentes

Para el arranque de todos los motores de reacción se usa la ignición de alta energía, y siempre están equipados con un sistema doble. Cada sistema tiene una unidad de encendido de alta energía conectada a su propio encendedor o bujía, estando los dos encendedores situados en distintas posiciones en el sistema de combustión.

Cada unidad de encendido de alta energía recibe una alimentación de bajo voltaje, controlada por el circuito eléctrico del sistema de puesta en marcha desde el sistema eléctrico del avión. La energía eléctrica se almacena en la unidad de encendido, hasta que a un predeterminado valor, la energía se disipa a través del encendedor como una descarga de alto voltaje y gran amperaje.

Las unidades de encendido, también llamadas cajas de encendido o excitadores, son normalmente unidades selladas y no pueden repararse al nivel de campo. En algunas instalaciones, los dos excitadores están incorporados en una sola unidad. Estas unidades están diseñadas para dar corrientes de salida que pueden variar de acuerdo con los requerimientos. Para asegurar que el motor conseguirá un reencendido satisfactorio a gran altitud, y algunas veces para el arranque, es necesaria una energía de salida de alto valor (por ejemplo doce julios). No obstante, bajo ciertas condiciones del vuelo, tales como formación de hielo o despegue con lluvia intensa o nieve, puede ser necesario tener al sistema de encendido funcionando continuamente para proporcionar un reencendido automático si acaso ocurriese una extinción de llama. En este caso, es favorable una energía de salida de bajo valor (por ejemplo tres o seis julios), esto resulta en alargar la vida del encendedor y de la caja de encendido. Consecuentemente, para satisfacer todas las condiciones operacionales del motor, es adecuado el uso de un sistema combinado que dé el valor de alta y baja energía por medio de una preselección previa según se requiera.

Una unidad de encendido puede estar alimentada con corriente continua (C.C.) y operada por un mecanismo ruptor o un circuito transistor pulsatorio, o alimentada con corriente alterna (C.A.) y operada por un transformador.

La unidad de encendido que se muestra en la figura 13-10 es una unidad típica de C.C. operada por mecanismo ruptor. Una bobina de inducción, operada por el mecanismo ruptor, carga al condensador de almacenamiento a través de un rectificador de alto voltaje. Cuando el voltaje en el condensador es igual al valor de salto de un disparador de descarga sellado, la energía se descarga a través del extremo del encendedor. Una bobina de autoinducción prolonga el tiempo de la descarga, y se monta una resistencia de descarga para asegurar que cualquier energía almacenada en el condensador se disipa en un minuto después de que el

sistema se ha desconectado. La unidad está equipada con una resistencia de seguridad que permite que esta opere sin riesgo, incluso cuando el cable de alta tensión esté desconectado y aislado.

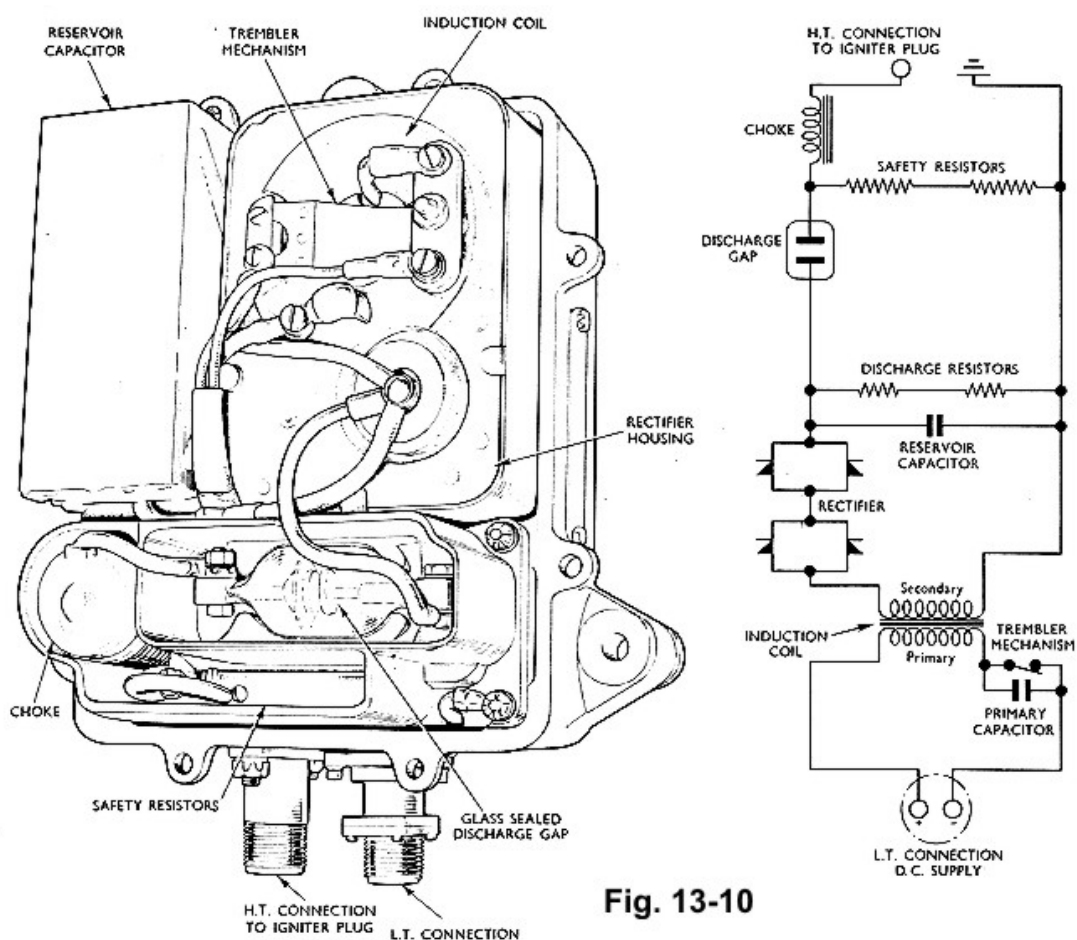


Fig. 13-10

Unidad de encendido de C.C. operada con mecanismo raptor

El funcionamiento de la unidad de encendido transistorizada es similar al de la unidad de encendido de C.C. operada con mecanismo raptor, excepto que el mecanismo raptor ha sido sustituido por un circuito de interrupción periódica transistorizado. En la figura 13-11 se muestra una unidad transistorizada típica; esta unidad tiene muchas ventajas sobre la unidad operada con mecanismo raptor porque no tiene piezas en movimiento y ofrece una vida mas larga de funcionamiento. El tamaño de la unidad transistorizada es más pequeño y su peso menor que el de la unidad operada con mecanismo raptor.

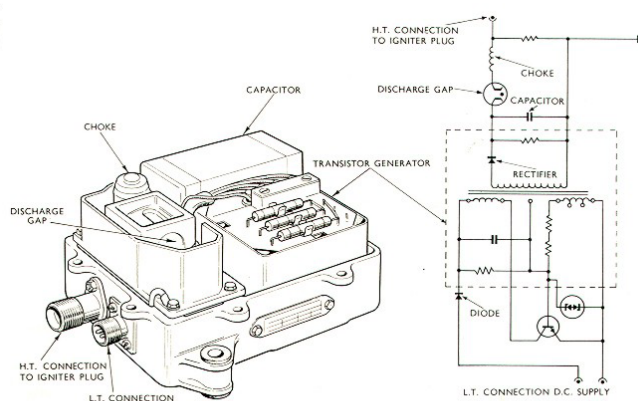


Fig. 13-11 Unidad de encendido transistorizada

La unidad de encendido alimentada por C.A., que se muestra en la figura 13-12, recibe una corriente alterna que pasa a través de un transformador rectificador para cargar un condensador. Cuando el voltaje en el condensador es igual al valor del salto de un disparador de descarga sellado, el condensador descarga la energía a través del extremo del encendedor. Igual que la unidad operada con mecanismo ruptor, esta unidad también dispone de las resistencias de seguridad y de descarga.

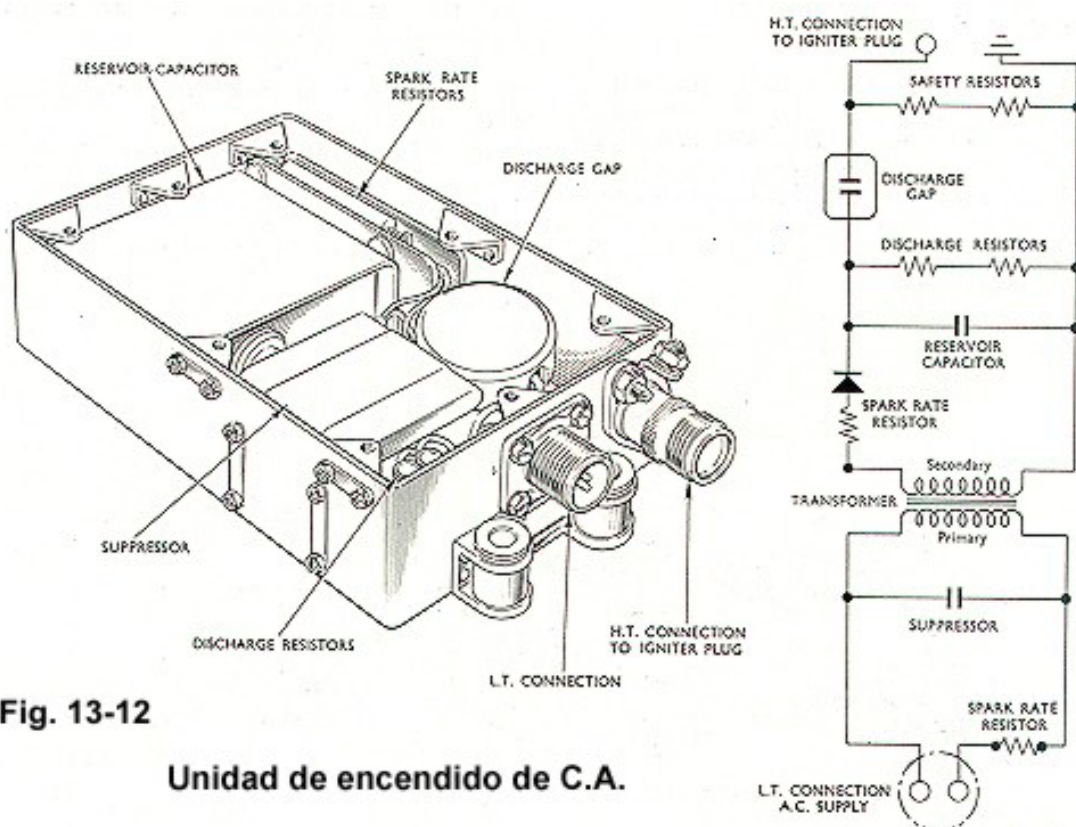


Fig. 13-12

Unidad de encendido de C.A.

Estas unidades de encendido disponen todas, a la entrada de alimentación de corriente continua o alterna, de un filtro eliminador de frecuencias perturbadoras para el funcionamiento de los sistemas de comunicaciones llamado filtro Π (π). Este filtro consta de una bobina inductora y dos condensadores, uno a la entrada y otro a la salida. Permite el paso de la corriente en una sola dirección, e impide el retorno de la corriente pulsatoria. Su nombre deriva del parecido de los tres componentes en un diagrama esquemático con la letra griega π (π).

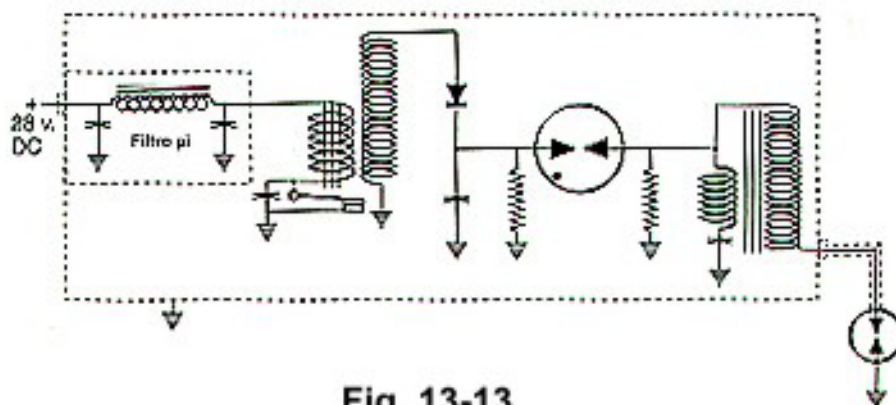


Fig. 13-13

Encendedores (Bujías)

Los encendedores del motor de turbina sirven para lo mismo que las bujías en un motor alternativo: prenden la mezcla combustible – aire, pero sus condiciones de funcionamiento son completamente distintas. En un motor alternativo, una chispa de relativamente baja energía debe saltar entre los electrodos de una bujía una vuelta sí y otra no del eje de cigüeñal. En un motor de turbina, se requieren chispas de alta energía, pero solo cuando el motor se está arrancando o durante condiciones del vuelo cuando hay peligro de apagado de llama. Los encendedores no son propensos a la acumulación de carbón como lo son las bujías, porque la chispa de alta energía despega cualquier depósito que se forme en el extremo de disparo.

Existen unos cuanto diseños de bujías que se usan en todos los motores alternativos de aviación, pero debido a la dificultad en la ignición de la mezcla combustible - aire en un motor de turbina, los encendedores están hechos a la medida del motor. Generalmente, un encendedor diseñado para un motor no funcionará adecuadamente en otro modelo.

Existen dos tipos básicos de encendedores: encendedores de chispa (el mas usado) y encendedores de incandescencia, que se usa en algunos de los motores mas pequeños.

Las configuraciones del extremo de disparo de los distintos tipos de encendedores en la figura 13-14 muestran algunas de sus interesantes características.

La punta del encendedor A del tipo electrodo central en superficie sobresale ligeramente dentro de la cámara de combustión y la chispa sigue la superficie del aislante entre los electrodos.

La punta del electrodo central en el encendedor B también sobresale dentro de la cámara de combustión, pero está refrigerado por aire. El aire que pasa alrededor de la parte exterior de la cámara de combustión fluye dentro del encendedor a través del orificio en su lateral.



El encendedor C tiene el electrodo central oculto, y su extremo no sobresale en la cámara de combustión. La chispa no sigue la superficie del aislante, pero se extiende mas allá de la punta.

El encendedor en D de bajo voltaje y espacio entre electrodos de baja resistencia funciona basado en un principio distinto a los otros. Hay un material de cerámica semiconductor entre el electrodo central y la vaina. La resistencia de este semiconductor es baja cuando está relativamente frío, pero aumenta en la medida que se calienta. Cuando el condensador de almacenamiento se descarga a través del encendedor, la corriente inicialmente fluye a masa a través del semiconductor, que se calienta tanto que se pone incandescente y su resistencia aumenta. El espacio de aire entre los electrodos se ioniza, y su resistencia se hace menor que

la del semiconductor, de manera que el resto de la corriente se descarga a través del espacio de aire en una sobretensión en forma de chispa de alta energía.

El encendedor de incandescencia solo se usa en algunos motores pequeños y está instalado de tal manera que parte del aire de refrigeración que fluye alrededor de la parte exterior de la cámara de combustión fluye dentro de él a través de las bobinas de incandescencia. Las bobinas se calientan con corriente procedente del excitador de encendido hasta que se ponen de color amarillo naranja, y el combustible del inyector, que se pulveriza sobre la bobina, se prende. El aire que sopla a través de la bobina produce una vena de llama que prende la mezcla en la cámara de combustión. Los encendedores de incandescencia son especialmente adecuados para los arranques en tiempo frío.

Requisitos de Seguridad de Mantenimiento

Los sistemas de encendido del motor de turbina deben manipularse con extremo cuidado porque el alto voltaje puede ser mortal.

Antes de desconectar el cable de un excitador o encendedor, asegúrese de sacar los interruptores térmicos (C/B) de corriente del sistema de encendido del motor. Desconéctese el cable de corriente que alimenta al excitador y obsérvese el tiempo especificado en el manual de mantenimiento del motor antes de desmontar el cable del excitador. Este tiempo, de normalmente alrededor de cinco minutos, permite que la energía almacenada en los condensadores se disipe a masa con toda seguridad a través de las resistencias de sangrado y de seguridad. Tan pronto como el cable se quita del excitador, ponga el conductor central a masa con el motor para asegurarse que los condensadores están completamente descargados.

Los encendedores se desmontaran del motor con sumo cuidado y se inspeccionaran de acuerdo a las instrucciones en el manual de mantenimiento del motor. Algunos encendedores pueden limpiarse, y cuando se trabaje con ellos, asegúrese de seguir en detalle las instrucciones del fabricante. Su colocación en las cámaras tiene que realizarse de una forma precisa, para así conseguir que la bujía lance la chispa dentro de la corriente de gas y a la vez evitar que produzca una resistencia de tipo aerodinámico al flujo de gas en la cámara, o por lo menos que esta sea mínima.

Los excitadores son unidades selladas y no pueden abrirse para su mantenimiento, pero deberían inspeccionarse cuidadosamente su montaje seguro sobre el motor, y todas las conexiones eléctricas deberían estar limpias y bien apretadas. Los cables de alta tensión deberían estar sujetos según se muestra en el manual de mantenimiento del motor, y no deberían haber trenzas del apantallado rotas. Algunos excitadores contienen material radioactivo, y cuando se deseche, debe hacerse de acuerdo con los requerimientos medioambientales locales.