



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CAMPUS ARAGÓN**

INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

ÁREA: MECÁNICA

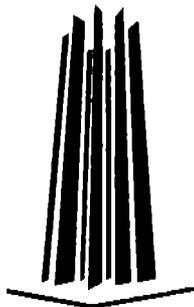
TESIS:

**MANTENIMIENTO A LOS ALABES FIJOS DE
UNA TURBINA DE GAS TIPO A11**

ALUMNO:

MEDINA HERNÁNDEZ CARLOS ALBERTO

**ASESOR: ING. DÁMASO VELÁZQUEZ
VELÁZQUEZ**





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Esta tesis esta dedicada a mi Padres, Emma y Carlos a quienes agradezco de todo corazón su amor, cariño y comprensión, gracias por su sacrificio en algún tiempo incomprendido, por su ejemplo de superación incansable y por que sin su apoyo no hubiera sido posible la culminación de esta tesis. Por lo que ha sido y será....Gracias

A mis hermanas Karen y Carla que son de esa clase de personas que todo lo comprenden y dan todo de si mismas sin esperar nada a cambio. Gracias por recordarme que hay personas valiosas en el mundo y gracias por estar en el mío.

A mis tíos y tías les agradezco todo su cariño y consejos sus sabias palabras de aliento me hicieron dedicar el tiempo a la finalización de esta tesis. En especial quiero agradecer a mi tío Armando que ha sido una guía a través de este largo camino de titulación, y que me brindo la más grande de las ayudas, nunca tendré suficientes palabras de agradecimiento para hacerte saber cuanto aprecio todo lo que has hecho por mí.

A mi novia Priscila con quien he compartido momentos que siempre llevare en mi corazón.

A mi asesor de tesis en Ing. Dámaso Velázquez Velázquez que me brindo su tiempo y sus conocimientos, dándome la ayuda necesaria para elaborar y concluir mi tesis.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Carlos Alberto
Medina Hernández

FECHA: 18-Junio-08

FIRMA: P. A. Medina
con ma. G. Altez Cior.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	4
-------------------	---

CAPÍTULO I FUNDAMENTOS Y CARACTERÍSTICAS

1.1.- EL GENERADOR DE GAS BÁSICO.....	7
1.2.- TEORÍA DE LA TURBINA DE GAS.....	12
1.3.- COMPONENTES DE UNA TURBINA DE GAS.....	15

CAPÍTULO II DESCRIPCIÓN DE EQUIPO DE LA TURBINA

2.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL.....	48
2.2.- SISTEMA DE ACEITE.....	57

CAPÍTULO III DESENSAMBLE DE LA TURBINA LIBRE TIPO A11

3.1.- DESENSAMBLE.....	62
------------------------	----

CAPÍTULO IV MANTENIMIENTO DE ALABES

4.1.- GENERALIDADES.....	72
4.2.- SOLDADURA DE FUSIÓN EN LA REPARACIÓN DE ALABES.....	74
4.3.- LIMPIEZA.....	76
4.4.- INSPECCIÓN.....	77

CONCLUSIONES.....	88
-------------------	----

BIBLIOGRAFÍA.....	89
-------------------	----

INTRODUCCIÓN

Las Centrales Turbogas utilizan turbinas de gas para generar energía eléctrica, la tecnología con turbinas de gas para generación eléctrica es relativamente nueva, ya que en el año de 1939 en Neuchatel, Suiza, se pone en servicio la primera turbina de gas para generación eléctrica, desarrollada por la Compañía Brown Boveri.

El tipo de turbinas de gas que se utilizan en Luz y Fuerza es el denominado "Aeroderivada", toda vez que proviene de una turbina de gas derivada de un motor "jet" aeronáutico, de hecho las turbinas de gas de las Centrales de Nonoalco, Lechería y Valle de México, tienen su origen en el motor "jet" JT4 que propulsó a los aviones Boeing 707 y Mc. Donnell Douglas DC-8 en los años 60's y primera mitad de los 70's , convirtiéndose estas unidades de alta tecnología, ligera y muy versátil para usos industriales, con una gran capacidad de potencia en relación a su peso y tamaño.

Luz y Fuerza del Centro (LyF) fue pionera en la utilización de este tipo de turbinas de gas para la generación eléctrica en México.

A principios de los años setenta, debido al déficit de energía que existía en el país, se efectúa la instalación de tres plantas de Generación con unidades tipo "jet", hoy conocidas como Centrales Turbogas, la Central Turbogas Valle de México y la Central Turbogas Lechería están ubicadas en el Estado de México y la Central Turbogas Nonoalco en el Distrito Federal. Puestas en servicio en el siguiente orden:

En el periodo de 1972 a 1973 se ponen en servicio las unidades 1 y 2 de la Central Nonoalco, unidades 1, 2 y 3 de la Central Lechería y unidades 2, 3 y 4 de la Central Valle de México. Posteriormente, debido al cambio de frecuencia en el país, la Planta Diesel de Tacubaya queda fuera de servicio en Agosto de 1975, asimismo en Junio de 1976 queda fuera de servicio la Planta termoeléctrica de Nonoalco, por lo que en el periodo de Octubre de 1976 a Diciembre de 1977 se ponen en servicio las unidades 3 y 4 en la Central Turbogas de Nonoalco y la unidad 4 en la Central Turbogas Lechería, con lo que la capacidad de Centrales Turbogas quedo en 374 MW.

LAS CENTRALES TURBOGAS ESTAN INTEGRADAS POR:

CENTRAL TURBOGAS NONOALCO

INICIO OPERACIONES 1972

CAPACIDAD TOTAL 148M

PERSONAL 24

UNIDAD 1 32 MW

UNIDAD 2 32 MW

UNIDAD 3 42 MW

UNIDAD 4 42 MW

CENTRAL TURBOGAS LECHERIA

INICIO DE OPERACIONES 1972

CAPACIDAD TOTAL 138MW

PERSONAL 139

UNIDAD 1 32 MW
UNIDAD 2 32 MW
UNIDAD 3 32 MW
UNIDAD 4 42 MW

CENTRAL TURBOGAS VALLE DE 3 MEXICO
INICIO DE OPERACIONES 1972
CAPACIDAD TOTAL 88 MW
PERSONAL 19

UNIDAD 2 28 MW
UNIDAD 3 32 MW
UNIDAD 4 28 MW

OBJETIVO:

El objetivo principal de las Centrales Turbogas es el de respaldar el sistema central de energía eléctrica como plantas de emergencia.

Actualmente estas Centrales cumplen con dicha función, ya que en caso de que ocurra un colapso general en el sistema, son capaces de iniciar el proceso de rearmado del mismo, suministrando potencial por medio de enlaces con otras subestaciones para el arranque de otras centrales del sistema, o bien proporcionar energía a cargas aisladas que no pueden permanecer sin ésta por periodos de tiempo como en el caso del Sistema de Transporte Colectivo "metro" en el que si por causas de un disturbio sufriera la pérdida de energía eléctrica, puede ser alimentado por la Central Turbogas Nonoalco dando respuesta en un lapso no mayor de tres minutos desde un arranque de cero.

Adicionalmente a esta función, las Centrales Turbogas operan regularmente como apoyo para el sistema central en las horas de máxima demanda, asimismo en caso necesario pueden aportar la potencia reactiva al sistema cuando lo requiera

Las Centrales Turbogas en la actualidad cuenta con un taller especializado de reparación y mantenimiento de generadores de gas y turbina libre así como con el personal altamente capacitado en todas la áreas de operación y mantenimiento para hacer frente a cualquier eventualidad que se llegara a presentar, cabe mencionar que a nivel de América Latina se cuenta con el único taller con esta capacidad

Las Centrales Turbogas cuentan con un programa de mantenimiento tal que nos respalda la seguridad que proporciona el mismo departamento, el cual determina la necesidad de retirar de operación los generadores de gas y/o turbinas libres para su inspección y reparación en caso necesario.

El programa se lleva a efecto de la siguiente manera:

Por acumulación de horas de operación (en generador de gas 1800hrs. y en turbina libre 5000hrs.

Y en algunos casos tales como:

- Por fugas de lubricante en sellos
- Por presentar problemas de vibración fuera de los parámetros permisibles en la operación.
- Por detección de partículas metálicas en el detector en el sistema de lubricación.

Las Centrales Turbogás el combustible que utiliza para su operación es GAS NATURAL por lo consiguiente la combustión del mismo es en base a la baja emisión de contaminantes a la atmósfera y por lo consiguiente tiene el compromiso de ser una empresa limpia de contaminantes ya que está por debajo de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y se utiliza la red de gas instalada en el país.

CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS Y CARACTERÍSTICAS

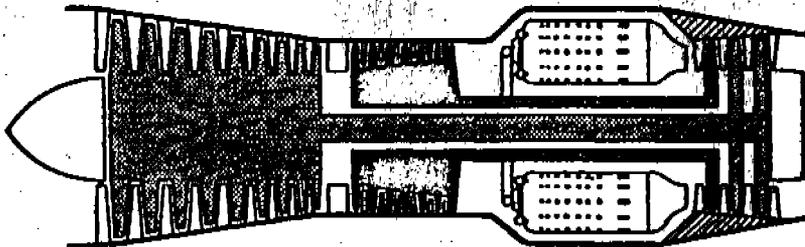
1.1.- EL GENERADOR DE GAS BÁSICO

Cuando se habla de máquina o turbina de gas para uso industrial o marino, la palabra "Máquina" tiene el significado de una unidad completa capaz de producir caballos de potencia en su flecha, para mover cualquier tipo de maquinaria. Una turbina de gas, consta de 2 partes fundamentales:

1. Un generador de gas para producir gases de alta velocidad.
- 2.- Una turbina independiente que usa los gases del generador de gas para desarrollar potencia y mover una flecha.

La sección delantera básica de una turbina de gas, se llama "Generador de gas" y no incluye ducto de entrada, cámara, difusor de escape ni turbina libre.

DEBUJO No. 1



Los términos "Generador de gas" y "Turbina de gas" pueden ser engañosos, ya que la palabra gas se usa a menudo como gasolina y pueden dar la idea de alguna clase de generador operado con gasolina y de una turbina de gasolina.

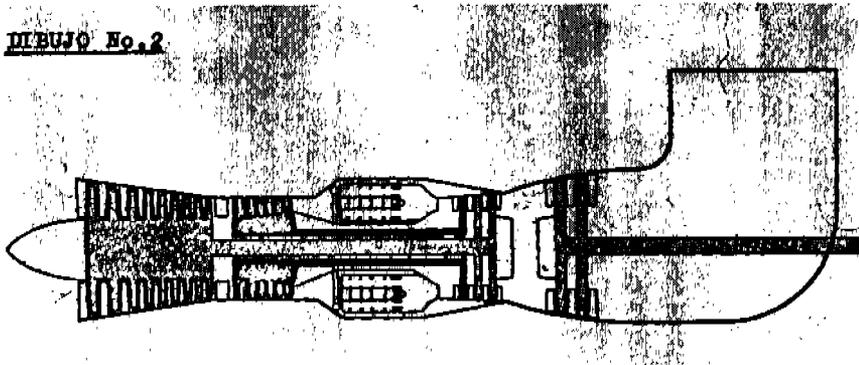
Sin embargo, estos términos significan exactamente lo que dicen, es decir, un dispositivo para generar gas o un tipo de turbina operada por gas. Estos gases son el producto de la combustión de un cierto combustible con aire que pasa por el generador de gas. En las turbinas de gas Pratt & Whitney, el combustible es un destilado similar a la Kerosena y se puede también utilizar gas natural.

Descripción de la Máquina

La construcción fundamental de una turbina de gas industrial ó marina, se describe en forma breve.

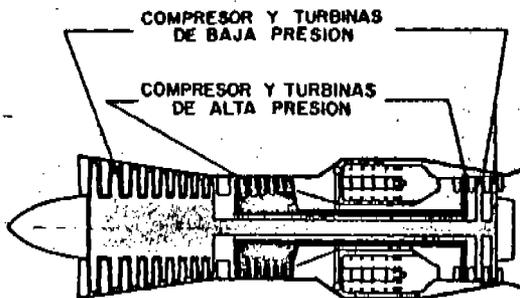
Excepto por el tamaño y diseño del compresor y sistema del rotor del generador de gas, la construcción básica de todos los generadores de gas y turbinas de gas a que se refiere esta instrucción es similar.

En el diseño de generadores de gas Pratt & Whitney, los generadores pequeños usan compresores auxiliares sencillos, mientras que los grandes usan compresores dobles.

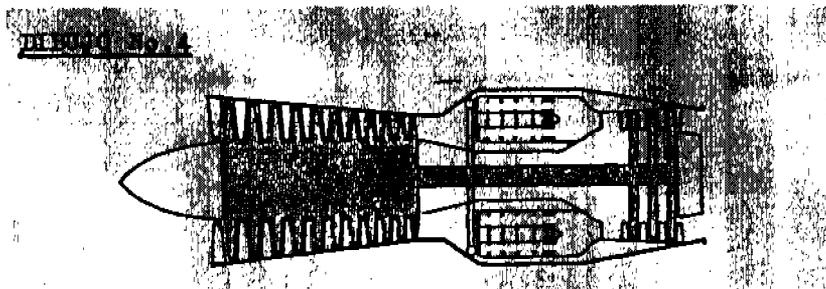


En los generadores de gas con compresor doble, dos Compresores Tandem con sus respectivas turbinas con dos sistemas de rotores, los cuales están mecánicamente independientes, pero relacionados aerodinámicamente. El compresor de baja presión es movido por una turbina de dos pasos y toma aire directamente de la entrada de aire del generador de gas; este aire pasa por cierto número de pasos de compresión antes de salir hacia la entrada del compresor de Alta Presión. El compresor de Alta Presión está movido por una turbina de un solo paso y toma aire del compresor de Baja, comprimiéndole por medio de pasos adicionales de aspas y estatores, después de esto, el aire pasa a la sección del quemador a través de un difusor para obtener bajas velocidades.

DIBUJO No. 3

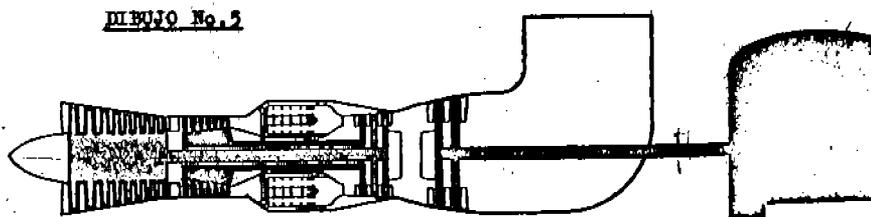


Los generadores de gas con compresor sencillo son similares a los de compresor doble, excepto por el hecho de que hay un solo compresor y una sola turbina.



Todos los modelos de generadores de gas emplean una cámara de combustión similar que tiene un cierto número de quemadores separados. Dos de los quemadores usan bujías para el encendido. Después de salir de los quemadores los gases calientes pasan por las turbinas del generador de gas, proporcionándoles la potencia necesaria para mover el sistema de compresores.

Después de salir de las turbinas del generador de gas, los gases pasan a través de un difusor y son entonces dirigidos hacia la turbina libre en la parte posterior de la máquina, la cual no está conectada en ninguna forma con el generador de gas, excepto por su carcasa exterior.



Las turbinas libres que mencionan pueden ser proporcionadas por Pratt & Whitney, como una parte del conjunto, o en algunos casos, pueden ser el producto de otro fabricante.

En cualquiera de los casos, la turbina libre convierte la energía cinética de los gases saliendo del generador de gas, en energía mecánica en la forma de caballos de potencia en la flecha para mover bombas, compresores, generadores eléctricos, propelas de barcos o cualquier otro mecanismo. Después de pasar por la turbina libre donde su velocidad disminuye y mucha de su energía expande, los gases de salida van hacia la atmósfera.

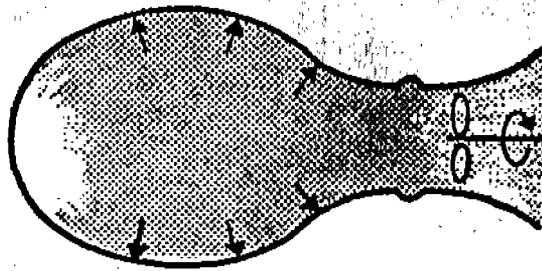
Como Opera la Turbina de Gas

Una máquina de movimiento alternativo es una máquina complicada si se compara con una turbina de gas. Si se considera solamente lo básico, es decir, compresor acoplado mecánicamente y turbina del generador de gas, hay solamente una parte en movimiento (además de la turbina libre) en la parte de atrás de la máquina. Un compresor doble, tiene dos. El aire entra por una abertura en el frente de la Máquina y sale en forma de gases calientes por una abertura en la parte posterior de la máquina. Entre las 2 aberturas se desarrolla una gran cantidad de potencia disponible para mover la flecha.

Qué Hace que la Máquina Trabaje

Para entender mejor como opera una turbina de gas, considérese por un momento un globo de juguete. Cuando el globo se desinfla y la presión se alivia, escapa aire de alta velocidad. Este aire puede usarse para mover un regulete o un ventilador, si el ventilador se encierra en un ducto se convertirá en una turbina libre.

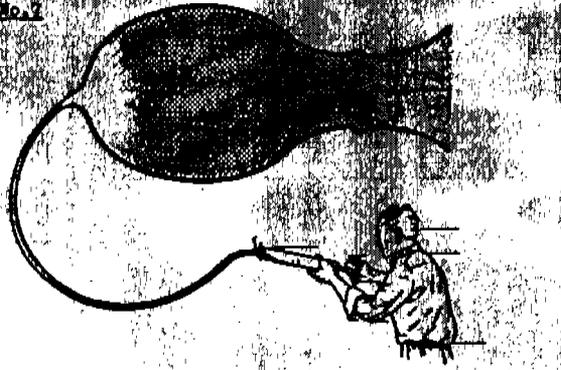
DIBUJO No. 6



El ventilador no gira mucho tiempo porque la presión de aire en el globo se pierde rápidamente. Esta dificultad puede solucionarse inyectando aire al globo por medio de una bomba de bicicleta, de manera que la presión y el flujo o de aire se mantengan.

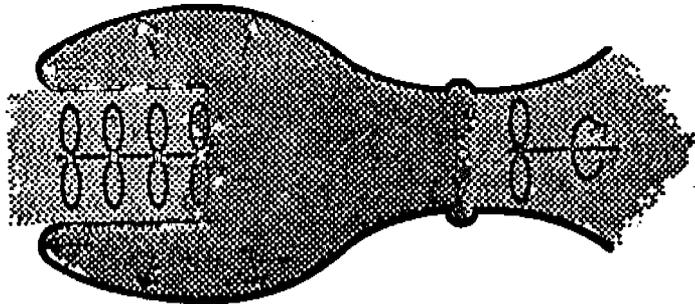
Agregando la bomba de bicicleta, se logra que el globo y el ventilador se conviertan en una turbina libre completa, que usa los principios de una turbina de gas industrial o marina.

DIBUJO No. 7



Para transformar este aparato en una turbina de gas autocontenida, la bomba de mano debe reemplazarse por una serie de ventiladores que forman un compresor.

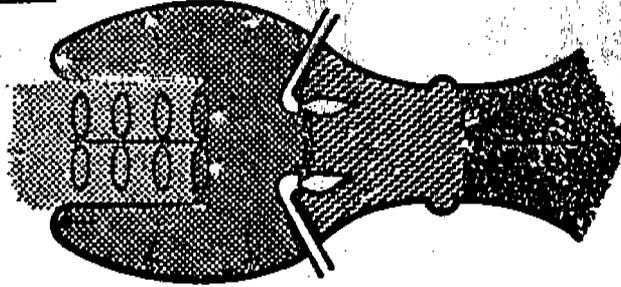
DIBUJO No. 8



Si el compresor gira a alta velocidad, entrarán al globo fuertes cantidades de aire a presión alta. Para agregar energía, colóquese un quemador en la corriente de aire.

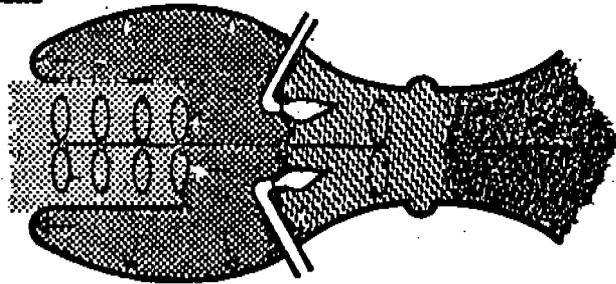
Al quemarse el combustible, sube rápidamente la temperatura del aire y aumenta la energía en la corriente de aire. Puesto que la alta presión dentro del compresor bloquea el flujo de aire hacia adelante, el aire solamente puede moverse hacia atrás, donde está el paso menos restringido, es decir, hacia la salida donde se coloca un ventilador que es la turbina libre.

DIBUJO No. 9



Adelante del cuello del globo, póngase otro ventilador (turbina) en el paso del aire caliente, parte de la energía disponible puede usarse para mover una turbina, que a su vez, mueve el compresor por medio de una flecha.

DIBUJO No. 10



La presión reinante fuerza los gases calientes a través del cuello del globo. Estos gases de escape mueven la turbina libre encapsulada, precisamente atrás del cuello. La turbina libre está conectada a una flecha que puede utilizarse para operar cualquier aparato o equipo deseado. Ahora la transformación es completa. El globo "turbina de gas" puede operar todo el tiempo mientras haya combustible por quemar.

1.2.- TEORÍA DE LA TURBINA DE GAS

Una turbina de gas no opera tan simple como el globo de juguete que se mencionó anteriormente, pero el principio es el mismo. Básicamente, la parte de gas generado de una turbina de gas, es un dispositivo que imparte energía al gas que pasa por el generador de gas, en la forma de aumento de presión y temperatura.

La segunda ley de Newton, dice que un cambio de movimiento es proporcional a la fuerza aplicada. Expresado como una ecuación, se tiene:

$$F=Ma$$

En la versión Turbojet de una turbina de gas para aviación, la parte de la ecuación, "M veces A" es la masa de los gases de escape del generador de gas, multiplicada por la cantidad que esos gases son acelerados a medida que pasan a través del generador de gas. "F" es la fuerza neta o empuje generado por un turbojet para impulsar un avión.

En el caso de una turbina de gas para usos industriales o marinos, la aceleración de la masa de gases a través del generador de gas, produce gases de alta velocidad y presión que salen por la parte trasera del generador. Estos gases de escape dan la potencia necesaria para mover la turbina libre, la cual como se explicó antes, convierte velocidad y energía de presión en energía mecánica para mover la flecha.

Operación Completa de una Turbina de Gas

Se ha visto brevemente cómo y por qué opera una turbina de gas. Antes de que se discutan en detalle sus varios componentes, conviene examinar un poco más cuidadosamente qué es lo que ocurre en una turbina de gas.

El aire entra al generador de gas de una turbina de gas por la entrada del compresor a través de un juego de aspas guía, las cuales preparan el flujo de aire para entrar al compresor. En los pasos progresivos del compresor, el aire aumenta su presión. Después de salir del compresor, el aire comprimido pasa a través de la sección del difusor.

DIBUJO No. 11

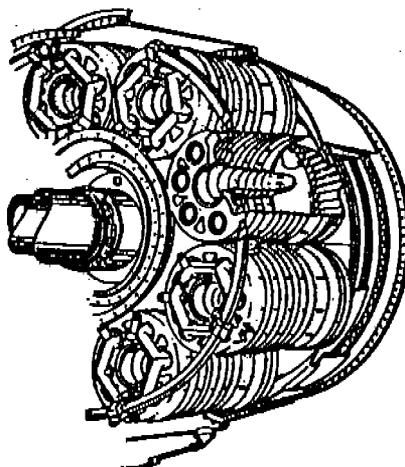


Éste es en efecto una sección corta de expansión de volumen dentro de la máquina que sirve para reducir la velocidad y aumentar la presión estática del aire, antes de que entre a la sección de quemadores. En el extremo delantero de la sección de quemadores o cámara de combustión, como a menudo se le llama, un cabezal de combustible y sus correspondientes toberas, distribuyen el combustible en forma de rocío muy fino, hacia el frente de ocho quemadores separados, de forma de bote, es decir, cilíndricos.

Los quemadores cilíndricos individuales, están interconectados por medio de tubos de enlace. En los botes o cilindros, el combustible se quema con el aire entrando y produce una gran cantidad de energía.

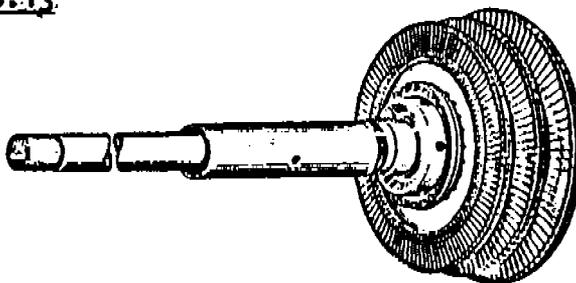
Solo un 25% aproximadamente del aire que pasa por la sección de quemadores, se usa para la combustión. El 75% restante sirve para enfriar los cilindros de los quemadores y las turbinas, para mantener temperaturas aceptables dentro del generador de gas.

DIBUJO No. 12



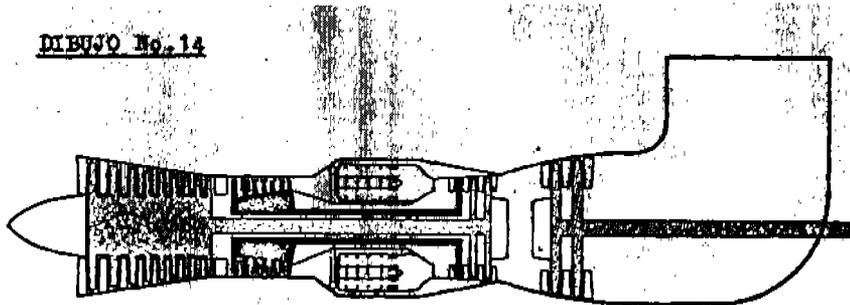
El generador de gas se arranca inicialmente prendiendo la mezcla combustible-aire con encendedores de chispa, parecidos a las bujías. Una vez que el generador de gas está operando, los encendedores de chispa se apagan. El proceso de combustión continúa indefinidamente sin más ayuda, mientras haya mezcla aire-combustible entrando a los quemadores.

DIBUJO No. 13



De la sección de quemadores, los gases de combustión pasan a las turbinas que mueven los compresores. Las turbinas absorben potencia de la expansión de los gases de alta velocidad que salen de la sección de combustión. La energía así generada se usa para mover los compresores en la parte delantera del generador de gas.

Después de que los gases salen de la sección de turbinas, reducidas su velocidad, presión y temperatura, son dirigidos a través de otro difusor corto hacia la turbina libre para producir la energía requerida para mover la flecha en la parte trasera de la máquina. Posteriormente, los gases escapan por un ducto apropiado.



La turbina de gas se opera normalmente para producir una velocidad predeterminada de la turbina libre, la cual puede ser ajustada a deseo del operador. De acuerdo con una secuencia predeterminada, el control de combustible del generador de gas, dosifica dicho combustible de manera que el generador produzca gases de escape de la velocidad y presión requeridas para mantener la velocidad de la turbina libre y la carga en la flecha de la misma, el control de combustible automáticamente controla el flujo al generador de gas cuando hay cambios de carga en la turbina libre.

El flujo de combustible también es compensado por cambios de temperatura del aire que entra al generador de gas.

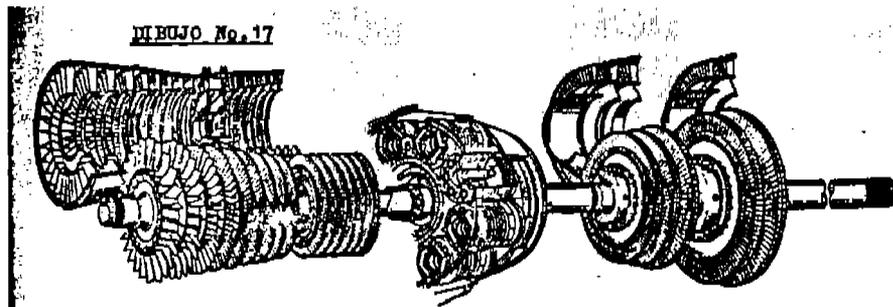
Hay varios dispositivos de protección para botar la máquina y/o avisar al operador que alguno de los límites de operación está excedido, o que se ha desarrollado una condición peligrosa.

1.3.- COMPONENTES DE UNA TURBINA DE GAS

En esta sección se discuten las características físicas y funciones de la mayor parte de los componentes de las turbinas de gas Pratt & Whitney, industriales y marinas, en el orden como están colocadas en la máquina, de frente hacia atrás.

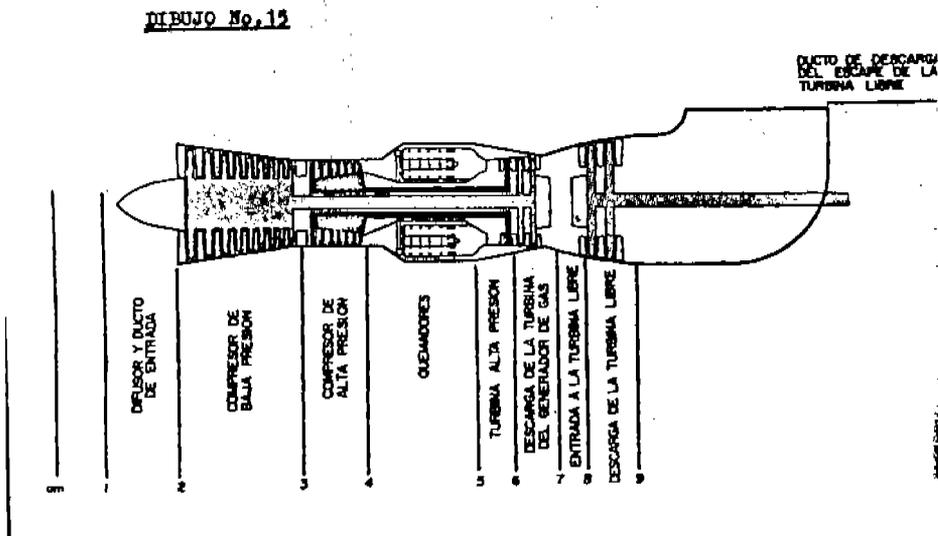
Como muchos Campos especializados, las turbinas de gas tienen su lenguaje propio. Se dan interpretaciones específicas de algunas leyes de la naturaleza y se aplican

significados especiales a palabras comunes. A continuación se explican y definen algunos de los términos más comúnmente usados.



Designaciones de Estación de la Máquina

Se asignan designaciones numéricas de estación para facilitar la referencia específica de las diversas secciones de un generador de gas o de una turbina de gas. Estas coinciden con la localización de las diversas partes componentes, como se muestra abajo. Las designaciones de estación para generadores de gas a compresor sencillo, son similares a las de generadores de gas a compresor doble, excepto que todas las designaciones de estación detrás del compresor, tienen un valor numérico menor. Por ejemplo, la descarga de la turbina de un generador de gas a compresor doble es la estación 7; mientras que es la estación 5, para un generador de gas a compresor sencillo.



Entrada de Aire

Una turbina de gas consume de 6 a 10 veces más aire por hora que una máquina de movimiento alternativo de la misma capacidad y, por consiguiente, el pasaje de entrada de aire es correspondientemente más grande.

El aire que le llega a la entrada del generador de gas debe estar libre de turbulencias y variaciones de presión, tanto como sea posible.

Una caída de presión es causada por la fricción del aire al pasar por los lados del pasaje de entrada y por cualquier curva o cambio de dirección, que pueda encontrarse en el paso del aire. Es por lo tanto esencial, una construcción cuidadosa del mencionado pasaje, así como muy buena mano de obra cuando sea reparado. Sorpresivamente, pequeñas distorsiones del flujo de aire ocasionan pérdidas considerables en la eficiencia del generador de gas. Una mano de obra deficiente, puede anular el efecto de un buen diseño del pasaje de entrada.

Debe vigilarse cuidadosamente que la entrada de aire al generador de gas se mantenga limpia. El polvo, basura, trapos o herramientas, pueden ser arrastrados hacia el compresor, lo cual ocasionaría daños serios a las aspas frontales del mismo.

Está absolutamente prohibido que nadie entre en la Cámara de Succión o entrada, cuando el generador de gas está operando.

Antes de que se arranque una turbina de gas, la cámara o ducto de entrada debe chequearse cuidadosamente que no haya desechos sueltos en el pasaje de entrada de aire y que no haya nadie dentro, y que todas las puertas de entrada estén cerradas con llave.

Entrada Tipo Bellmouth

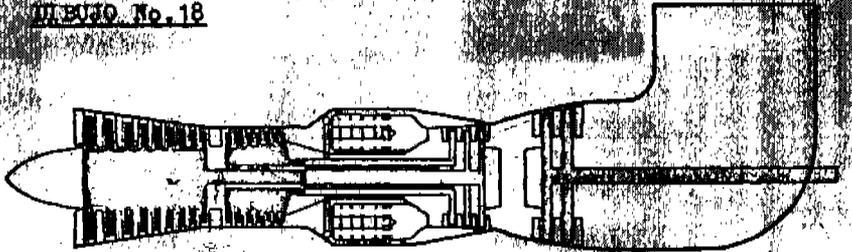
En la mayor parte de las instalaciones de generadores de gas, se coloca una entrada Bellmouth en el extremo frontal para guiar el aire hacia las compuertas guía de entrada al compresor. Este tipo de entrada se diseña con el único objeto de obtener una eficiencia aerodinámica muy alta.

Esencialmente, la entrada es un túnel acampanado que tiene las aristas muy bien redondeadas, para ofrecer la mínima resistencia al aire, la pérdida en el ducto se considera despreciable.

A presión barométrica normal, tal como la del interior de una máquina parada, la combustión de la mezcla combustible aire no produce suficiente energía ni suficiente potencia extraída de los gases en expansión, para producir trabajo utilizable con una eficiencia razonable.

COMPRESORES

DISEÑO No. 18



La energía liberada por la combustión es proporcional a la masa de aire consumido, por lo tanto, se necesita más aire para incrementar la eficiencia del ciclo de combustión, que la que puede proporcionar la presión barométrica normal. Tanto en las máquinas alternativas como en las turbinas de gas, la mezcla aire combustible o aire, solo deben comprimirse con objeto de que se pueda mover en un volumen dado la máxima cantidad de aire.

La compresión en una máquina de movimiento alternativo, se logra por medio de pistones que actúan como émbolos, comprimiendo la mezcla aire-combustible a medida que el pistón se mueve en un tubo cerrado en un extremo. El tubo es el cilindro de la máquina. En este tipo de máquinas, a menudo se aumenta la cantidad de aire consumido, agregando un supercargador.

La turbina de gas debe contar con algunos otros medios de compresión, siendo éste el obstáculo principal a vencer durante los primeros años de desarrollo de las turbinas de gas. Frank Whittle, de Gran Bretaña, resolvió el problema usando un compresor de tipo centrífugo. Esta forma de compresor se usa todavía satisfactoriamente en muchas turbinas de gas pequeñas. Sin embargo, los niveles de eficiencia de los compresores centrífugos sencillos son relativamente bajos.

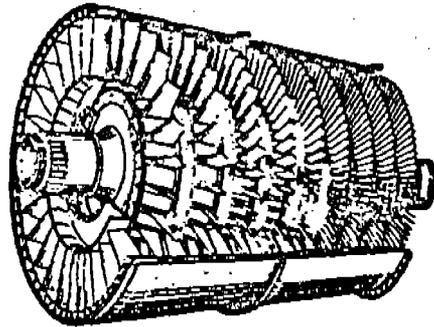
Las eficiencias de los compresores centrífugos de múltiples pasos son un poco mejores, pero todavía no se comparan con las obtenidas en los compresores de flujo axial. Una relación de compresión de 4 o 5 a 1 es aproximadamente la máxima capacidad de los compresores centrífugos de un solo paso.

Por otro lado, los compresores axiales producen relaciones de compresión mucho mayores. Los compresores axiales tienen la ventaja de ser más compactos y presentan un área frontal relativamente pequeña, lo que constituye una gran ventaja en las turbinas para aviones. Así pues, las más grandes turbinas de gas emplean este tipo de compresor.

El aire en un compresor axial fluye en una dirección axial a través de una serie de aspas giratorias del rotor y de una serie de aspas estacionarias del estator, las cuales son concéntricas con el eje de rotación.

A diferencia de una turbina que también emplea aspas giratorias y aspas fijas, el paso del flujo de un compresor axial disminuye su área de la sección recta en dirección del flujo, en proporción al volumen reducido de gas a medida que aumenta la compresión entre un paso y otro.

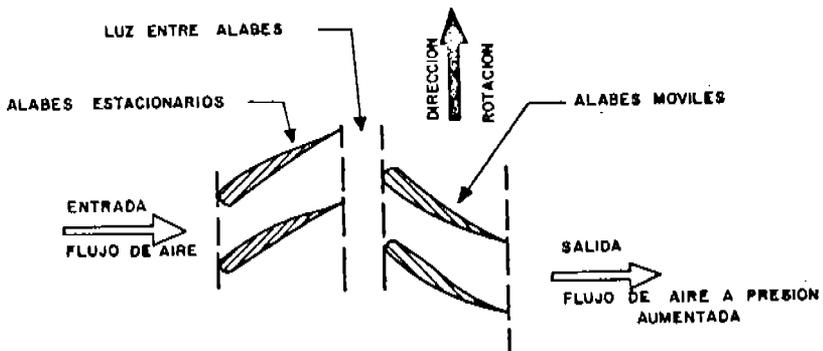
DIBUJO No. 19



Después de salir de la entrada Bellmouth hacia la parte frontal del compresor, el aire pasa a través de un juego de aspas gulas de entrada que preparan el flujo para meterlo al primer paso del rotor del compresor.

Al entrar al primer juego de aspas giratorias, el aire es impulsado en la dirección de rotación, luego pasa a un juego de aspas fijas, luego al segundo paso de aspas móviles y así a través de todo el compresor.

DIBUJO No. 20



La presión del aire aumenta cada vez que pasa por un juego de aspas móviles y fijas. Cuando la velocidad del aire aumenta, la presión de pistón o velocidad del aire a través de un paso giratorio, también aumenta. Este aumento de velocidad y presión se nulifica, aunque no totalmente, por efecto de difusión.

Cuando el aire pasa por las secciones reducidas de las aspas del rotor, la presión estática también aumenta, ya que el área en la parte trasera de las aspas actúa como difusor.

En los estatores, la velocidad disminuye mientras que la presión estática aumenta. A medida que la velocidad del aire decrece en los estatores, la presión debida a la velocidad o presión de pistón ya ganada en el paso giratorio anterior, decrece parcialmente aunque la presión total permanece igual.

Como se explicó antes, la presión total es la suma de la presión estática más la presión de velocidad o pistón.

Los sucesivos aumentos y descensos de velocidad prácticamente se anulan unos a otros, con el resultado de que la velocidad del aire saliendo del compresor, es apenas ligeramente mayor que la del aire entrando.

Como la presión va aumentando a través de los juegos sucesivos de aspas de rotor y estator, cada vez se requiere menor volumen, razón por la cual el volumen del compresor va decreciendo gradualmente.

A la salida del compresor, un difusor agrega el toque final al proceso de compresión, disminuyendo nuevamente la velocidad y aumentando la presión estática justamente antes de que el aire entre a la sección de quemadores de la máquina.

Compresores Dobles

Con estos compresores pueden obtenerse altas relaciones de compresión, con un peso mínimo, así como una mínima área frontal.

El rotor del compresor trasero o de alta presión, tiene regulación de velocidad a través del control de combustible de la máquina y es el rotor al cual, el arrancador de la máquina, está conectado. Solamente la parte más ligera del compresor completo está conectada al arrancador para reducir considerablemente el torque requerido para el arranque de la máquina. Por lo tanto, el tamaño y peso del sistema de arranque puede reducirse notablemente.

Con el compresor trasero de alta presión girando a una velocidad regulada, el compresor delantero de baja presión girará (movido por su turbina) a la velocidad que asegure el óptimo flujo a través del compresor.

Los componentes del compresor se ajustan ellos mismos en caso de operación parcialmente estrangulada, con un mínimo de extracción entre pasos, para evitar ahogamientos u oscilaciones. En esta forma se aseguran los flujos adecuados entre compresores y turbinas en todo el rango de operación del generador de gas.

Con los rotores frontal y trasero trabajando en armonía en lugar de interferir entre ellos, puede aumentarse la relación de compresión sin bajar la eficiencia.

Existen otras ventajas de los compresores dobles, a saber:

-Con el compresor de alta presión regulado a velocidad constante, la velocidad del compresor de baja presión variará con la temperatura de aire entrando.

-La velocidad subirá si la temperatura baja, debido al hecho que la potencia requerida para comprimir una libra de aire frío hasta una presión dada, es menor que la potencia requerida para comprimir una libra de aire caliente.

-Con menos trabajo por hacer, la turbina del compresor de baja presión gira más rápido y, por consiguiente, su compresor; el flujo de aire sube y afecta al compresor de alta presión y su turbina, pero la velocidad de estos últimos está controlada por el controlador de combustible, este control a su turno tiende a limitar la energía liberada hacia la turbina de baja presión, de manera que finalmente se establece el equilibrio con el compresor de alta operando a velocidad regulada y, el de baja, operando a una velocidad ligeramente más alta en días fríos que la velocidad en un día estándar al nivel del mar. En un día caliente, el compresor de baja operará a una velocidad más baja que en un día estándar.

Extracción de Aire del Compresor

En algunos modelos de turbinas de gas Pratt & Whitney, y únicamente a niveles bajos de potencia, se extrae aire entre los pasos medios del compresor (en caso de compresor sencillo) o entre el compresor de baja y el de alta, en caso de compresor doble.

Los puertos de extracción están localizados en la sección de compresores. Estos puertos están equipados con válvulas automáticas de extracción, las cuales están controladas por la velocidad (rpm) de la máquina. Frecuentemente, la velocidad a la cual abren o cierran las válvulas de extracción varía automáticamente en función de la temperatura de entrada al compresor o de la presión de entrada al compresor, o de ambas.

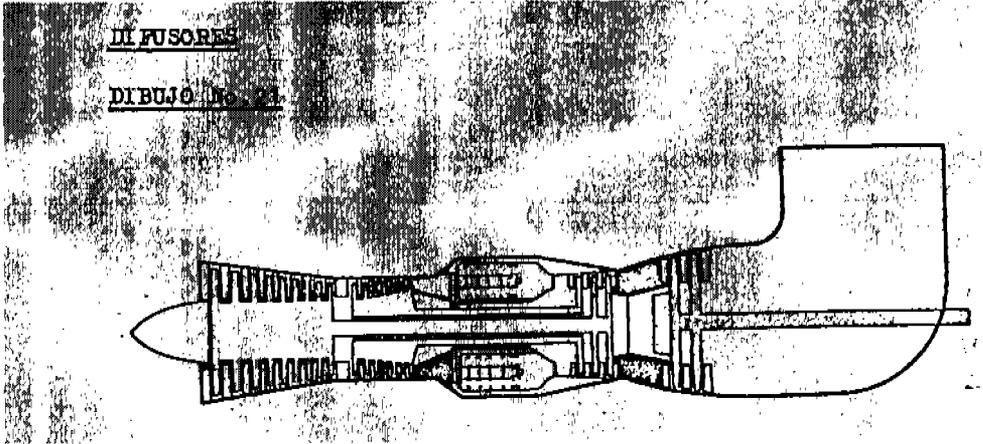
Las válvulas de extracción sirven para facilitar el arranque de la máquina y evitar que el compresor se ahogue por pasar aire fuera del compresor durante la operación a baja velocidad. Las extracciones cierran automáticamente en velocidades altas. Cuando las extracciones abren, aumenta el flujo de aire a través de la porción en contracorriente del compresor y se reduce la presión en el cuello de botella en la dirección del flujo normal.

El aire que sale del compresor pasa por un difusor que prepara el aire para que entre a los quemadores a baja velocidad, de manera que se pueda obtener una buena combustión de combustible sin peligro de que se apague el quemador.

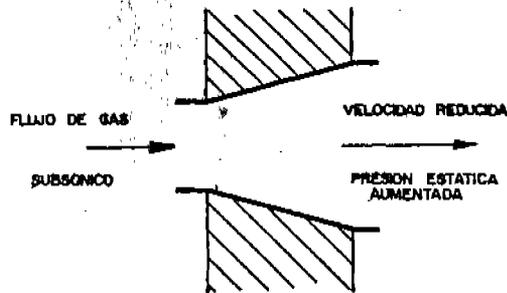
Tanto en los generadores de gas de compresores sencillos, como de compresor doble, la difusión se logra en las compuertas guía de salida del compresor, colocadas inmediatamente después del último paso del compresor, en lo que se conoce como sección del difusor o carcasa del generador de gas, precisamente enfrente de la cámara de combustión. En la sección del difusor, el área de los pasos de aire aumenta considerablemente para dar los cambios requeridos de velocidad y presión.

III FUSORES

DIBUJO No. 21



DIBUJO No. 22



A flujos subsónicos, la relación de cambio de volumen de un gas (o aire) es proporcional a la relación de cambio de velocidad, así pues, la difusión tiene lugar cuando la sección recta del área de un tubo, ducto o túnel por el que se está pasando gas o aire, aumenta de tamaño progresivamente. La forma divergente del pasaje sirve para convertir la energía cinética de un gas en movimiento, en energía de presión estática.

A medida que la velocidad del gas baja debido a la forma expandente del ducto, su presión estática sube aun cuando la presión total permanezca igual. Presión total es, en este caso, la suma de la presión estática más la presión debida a la velocidad o efecto de pistón. La presión de velocidad disminuye a medida que disminuye la velocidad y la presión estática aumenta para mantener una presión total constante.

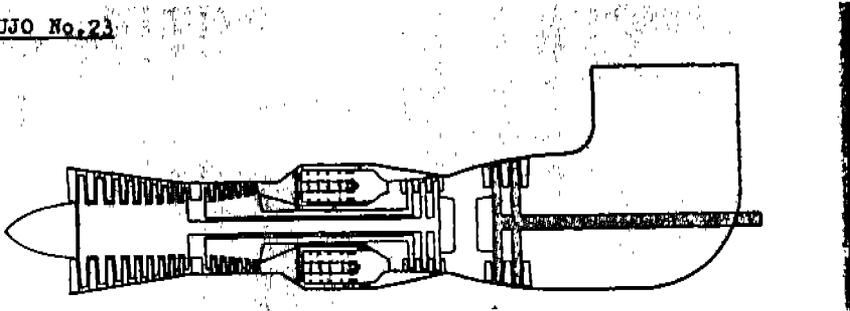
Existe también una sección difusora atrás de las turbinas del generador de gas, entre el escape de la turbina y las toberas guías de la turbina libre; como en el caso del difusor, entre sección compresor y sección quemadores, el área de los pasajes de gas aumenta para bajar la velocidad y subir la presión estática de los gases de escape saliendo del generador de gas, antes de que entren en la turbina libre.

Cabezales de Combustible y Toberas

El combustible gaseoso o líquido se introduce en la corriente de aire en el frente de los quemadores en forma pulverizada, apropiada para que se mezcle rápidamente con el aire de combustión.

El combustible se lleva desde fuera de la máquina por un sistema de cabezales hasta las toberas montadas en los botes de los quemadores.

DIBUJO N.º 23



El tipo más común de tobera para combustible líquido emplea un sistema de atomización a presión que asegura un chorro finamente atomizado y de distribución uniforme, a cualquier rango de flujo de combustible que pueda presentarse durante la operación de la máquina. Para obtener una buena mezcla con baja velocidad axial del aire, se usan generalmente toberas de tipo de remolino.

Frecuentemente se emplean toberas para mover grandes cantidades de combustible con distribución pareja y para reducir a un mínimo la variación que podría originar el taponamiento de alguna de las toberas.

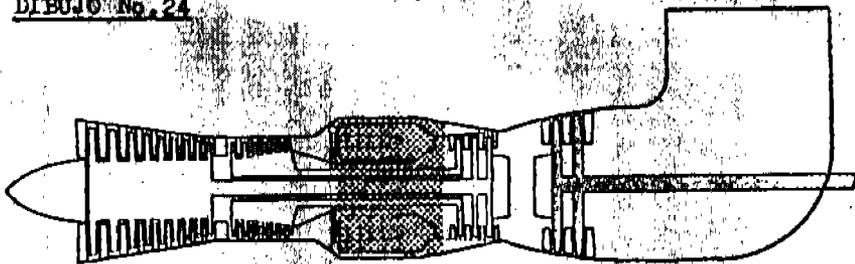
En máquinas grandes se emplea frecuentemente un sistema con 2 cabezales, primario y secundario, y sus respectivas toberas. Se les llama a estos cabezales, piloto y principal. El sistema primario o piloto, da suficiente combustible para operación a bajas cargas, en altas cargas entra también en servicio el sistema secundario o principal y el combustible alimentado por los 2 cabezales fluye hacia una tobera de doble orificio. En una tobera de este tipo, el combustible primario se atomiza a través de un solo orificio en el centro de la tobera. El combustible secundario se atomiza a través de un gran orificio que rodea el orificio de la tobera primaria.

Sección de Quemadores

La sección de quemadores que contiene la cámara de combustión, está diseñada para quemar una mezcla de combustible y aire y para liberar gases de combustión hacia la turbina.

Los quemadores están encerrados en un espacio muy limitado y deben dar suficiente energía calorífica a los gases que pasan por la máquina, para acelerar su masa lo suficiente para producir la potencia deseada para la turbina. El calor liberado por pie cúbico del espacio o volumen de combustión en un generador de gas grande, es varios cientos de veces mayor, que el calor liberado por pie cúbico de volumen en un quemador casero de petróleo.

DIBUJO No. 24



SECCION DE QUEMADORES

Es también interesante notar que la presión dentro de la cámara de combustión de un generador de gas grande, es aproximadamente 10 veces mayor que la presión promedio dentro de hornos industriales.

El criterio para considerar aceptable un quemador, es que la pérdida de presión de los gases que pasan a través del quemador debe ser mantenida en un mínimo, la eficiencia de combustión debe mantenerse en un nivel alto y el quemador no debe tener tendencia a apagarse. No debe haber combustión de los gases que salen del quemador, es decir, que debe haber combustión completa dentro del quemador. Los gases deben tener una distribución satisfactoria de temperatura y una temperatura máxima aceptable al entrar a la turbina.

Se ha encontrado que un quemador que satisfaga las condiciones anteriores y que sea adecuado para operación continua estándar, tendrá también buenas características para el arranque del generador de gas.

Cámara de Combustión de Botes en Forma Anular

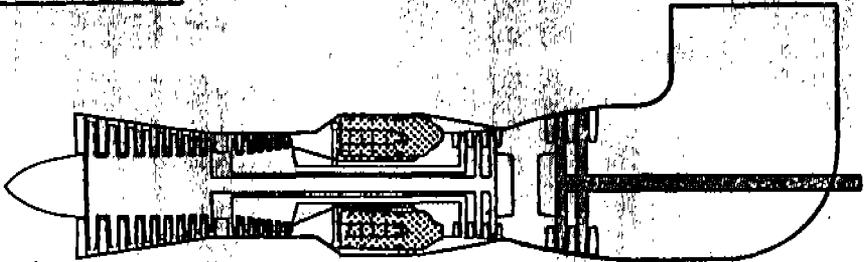
Las cámaras de combustión pueden ser del tipo de bote, del tipo anular o del tipo anular-bote, para todas ellas, el diseño es tal que, menos de un tercio del volumen total del aire entrando a la cámara se mezcla con el combustible.

La relación aire total-combustible varía (en los diferentes tipos de turbinas de gas) desde 40 a 80 partes de aire por una de combustible, en peso. La relación promedio es

60 a 1. Sin embargo, de las 60 partes de aire, solo alrededor de 15 partes en peso se usan para la combustión y, por lo tanto, todo el aire en exceso sobre las 15 partes, se usa en el sentido de flujo para enfriar las superficies del quemador y para mezclarse con los gases de combustión y enfriarlos antes de que éstos últimos entren a las turbinas.

Todos los generadores de gas para turbinas de gas Pratt & Whitney usan quemadores tipo anular-bote, en la sección de quemadores. En dicho tipo se colocan botes individuales, uno al lado de otro en una cámara anular. Los botes son esencialmente quemadores individuales. En generadores de gas grandes, cada bote está provisto de un tubo concéntrico individual que aumenta sustancialmente el largo efectivo del quemador, sin aumentar sus dimensiones físicas.

DIBUJO No. 25

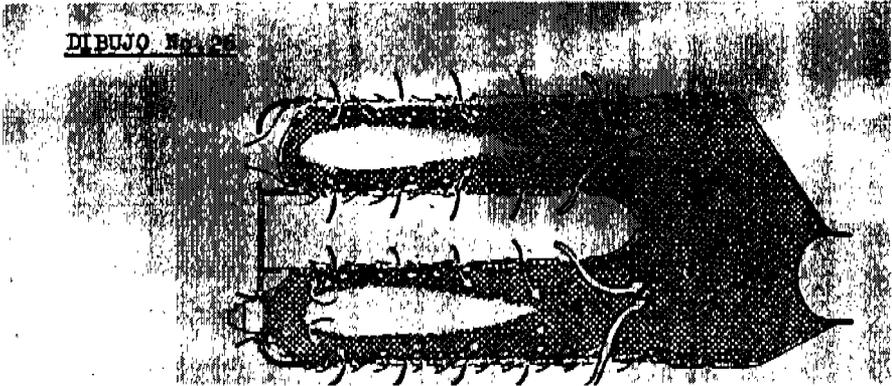


Un grupo de varias toberas se coloca alrededor del perímetro del extremo frontal del bote. En generadores de gas pequeños, se omite el tubo central de enfriamiento y no hay más que una tobera por bote.

La estructura del bote es relativamente pequeña en diámetro y tiene una resistencia inherente al pandeo, cuando está sujeta a presiones altas a las temperaturas de operación.

Se emplean baffles especiales para hacer girar el flujo de aire de combustión y darle la turbulencia necesaria. El enfriamiento adecuado del bote se logra introduciendo capas limitadas de aire a través de aperturas anulares localizadas a intervalos adecuados a lo largo del bote.

DIBUJO No. 26

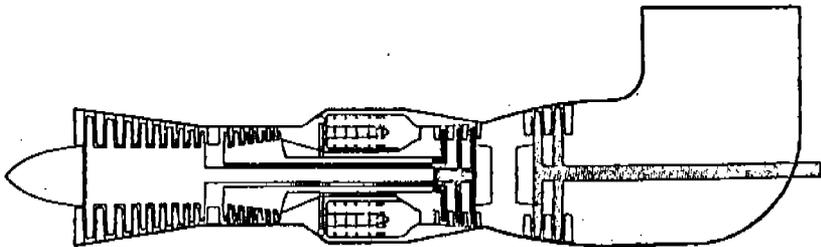


La cámara de combustión de botes en forma anular, combina las ventajas de ambos tipos de bote y anular y elimina muchas de sus desventajas. En los generadores de gas con compresor doble, una cubierta removible o telescópica en forma de aro, cubre toda la sección de quemadores y permite un acceso razonablemente fácil para la inspección o reemplazo de los botes, sin mover la máquina.

El largo mínimo posible del quemador en la cámara de combustión de botes en forma anular, evita una caída excesiva de la presión de los gases entre la salida del compresor y el área de la flama. El diseño permite una distribución homogénea de temperatura a la entrada de la turbina, sin el peligro de puntos calientes que pueden producirse cuando se atasca una de las toberas.

TURBINAS DEL GENERADOR DE GAS

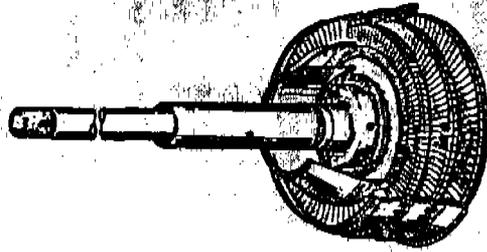
DIBUJO No. 27



TURBINAS DEL GENERADOR DE GAS

La turbina extrae energía cinética de los gases en expansión que salen de la cámara de combustión, convirtiéndola en potencia en la flecha para mover el compresor y sus accesorios. Cerca de 3/4 de toda la energía disponible en los productos de combustión se necesita para mover el compresor.

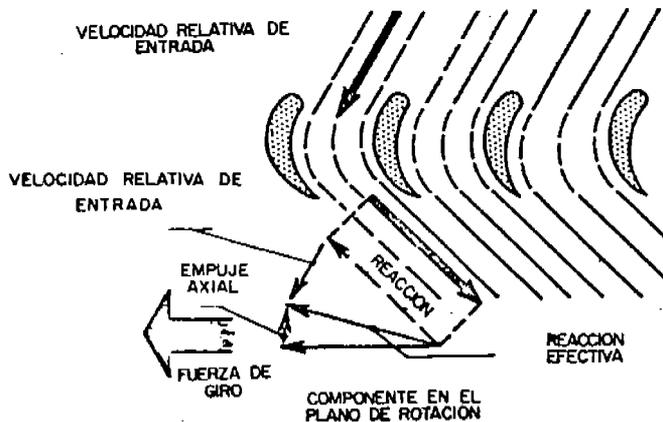
DIBUJO No. 28



La turbina de flujo axial comprende 2 elementos principales: una rueda de turbina o rotor y un juego de aspas estacionarias. La sección estacionaria consiste de un plano de aspas contorneadas, concéntricas al eje de la turbina y colocadas en un cierto ángulo para formar una serie de pequeñas toberas, las cuales descargan los gases hacia las aspas de la rueda de la turbina (rotor). Por esta razón, al conjunto de aspas estacionarias se le llama tobera de la turbina y a las aspas mismas se les llama, aspas guías de la tobera. El área de la tobera de la turbina constituye una parte crítica del diseño de la turbina.

DIBUJO No. 29

VELOCIDAD DE DESCARGA AUMENTADA
POR LA ACCION DE LA TOBERA
CAUSANDO REACCION CON UNA
COMPONENTE EN EL PLANO DE
ROTACION DEL ROTOR



Si el área es muy grande, la turbina no operará a su mejor eficiencia. Si es muy pequeña, la tobera tendría una tendencia a atascarse bajo condiciones de potencia máxima. Los chorros de gases de escape, saliendo de las toberas, son dirigidos contra las aspas giratorias de la turbina, en una dirección que permite que la energía cinética

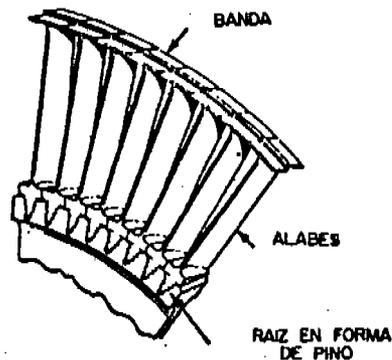
de los gases sea transformada en energía mecánica, la cual es generada por la rueda giratoria de la turbina.

Las turbinas pueden ser de uno o varios pasos. Cuando la turbina tiene más de un paso, se insertan aspas estacionarias entre cada rueda del rotor, así como a la entrada y salida de la turbina. Cada juego de aspas estacionarias constituye un conjunto de toberas para la rueda de turbina siguiente.

El juego de aspas estacionarias de salida, sirve para enderezar el flujo de gas que sale del generador de gas. Las ruedas pueden o no operarse independientemente una de otra, dependiendo esto del tipo de generador de gas y de los requerimientos de potencia de la turbina. Una rueda de turbina es una unidad dinámicamente balanceada, formada por aspas de acero aleado, fijadas a un disco rotatorio.

La base del aspa está diseñada en forma de pino, para lograr un agarre firme con el disco y, además, permitir la expansión.

DIBUJO No. 30



Las aspas rotatorias están cinchadas en la punta. Las aspas cinchadas forman una banda alrededor del perímetro de la rueda de la turbina, la cual sirve para reducir las vibraciones de las aspas. El peso de los cinchos es despreciable, ya que al usarse dichos cinchos, se pueden usar secciones más delgadas y eficientes en las aspas. Los cinchos mejoran las características de flujo de aire y aumentan la eficiencia de las turbinas, sirven también para disminuir las fugas de gas alrededor de las puntas de las aspas de las turbinas.

Las turbinas están expuestas a velocidades altas y a temperaturas altas, estas velocidades originan fuerzas centrífugas grandes y debido a las temperaturas altas, las turbinas deben operar muy cerca de los límites permisibles de temperatura, los cuales si se exceden bajarán la resistencia de los materiales empleados en las turbinas.

El paso de las aspas fijas y giratorias, tiende a cambiar ligeramente con el uso continuo, con tendencia a cerrarse; asimismo, las aspas sufren distorsiones o alargamientos, fenómeno conocido como Creep. Creep significa que las aspas se acortan o se alargan.

Esta condición es acumulativa, la relación de Creep se determina por la carga impuesta a la turbina y la resistencia del aspa, la cual se determina por la temperatura en el interior de la turbina.

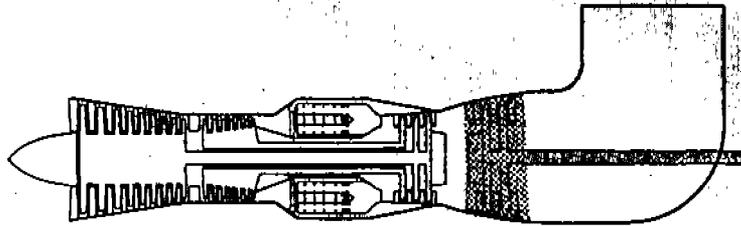
Puesto que los cambios en paso y Creep son más pronunciados si no se respetan los límites de operación de la máquina, el operador de la misma, debe esforzarse en mantener cuidadosamente los límites fijados por el fabricante, en relación con la velocidad y temperatura, a fin de aumentar la vida útil de la máquina.

Al salir los gases de escape de las turbinas del generador de gas, pasan a través de un difusor antes de entrar a la turbina libre en la parte trasera de la turbina de gas.

Como su nombre lo indica, la turbina libre opera en completa independencia del generador de gas, no está acoplada directamente en ninguna forma a las partes giratorias del generador de gas.

TURBINA LIBRE

DIBUJO No. 31



TURBINA LIBRE

Excepto por el tamaño, la construcción y principio de operación de la turbina libre, son exactamente los mismos que los de las turbinas del generador de gas, descritos anteriormente.

En todas las turbinas de gas Pratt & Whitney, la turbina libre tiene 2 pasos de aspas giratorias con cinchos o aros en las puntas. Las ruedas de la turbina y su correspondiente flecha motriz, están soportadas por 2 chumaceras, una de las cuales es un tejuelo o chumacera de empuje.

El diámetro de la turbina libre es considerablemente mayor que los de las turbinas del generador de gas, debido a que cuando los gases entran a la turbina libre ya expandieron en volumen y, por lo tanto, se requieren turbinas mayores para mover un flujo de gases de mayor volumen.

Las turbinas del generador de gas tienen únicamente el tamaño necesario para mover los compresores; en cambio, la turbina libre debe ser lo suficientemente grande para aprovechar toda la energía de los gases que se usan en ella.

Después de salir de la turbina libre, los gases de escape van por un ducto hacia afuera de la máquina, es decir, a la atmósfera. La flecha motriz de la turbina libre sobresale de la máquina a través del ducto de escape.

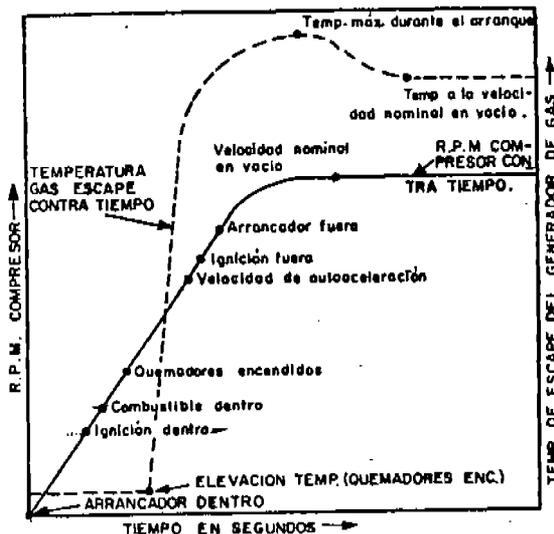
Arrancadores

Las turbinas de gas se arrancan haciendo girar el compresor del generador de gas, en generadores de compresor doble, solamente se hace girar el compresor de alta presión. Primero, es necesario acelerar el compresor para proporcionar suficiente aire a presión, para soportar la combustión en los quemadores. Segundo, una vez que el combustible ha sido introducido y el generador de gas ha sido encendido, el arrancador debe continuar ayudando al generador de gas arriba de su velocidad de autoaceleración. El torque proporcionado por el arrancador, debe exceder al torque requerido para vencer la inercia del compresor y las cargas de fricción y compresión de aire del generador de gas.

Las turbinas de gas para uso industrial o marino, usan motores de arranque que pueden ser: neumáticos, hidráulicos o eléctricos. Los más comunes son los arrancadores neumáticos, especialmente para generadores de gas con compresores dobles. Independientemente del tipo, la función de un arrancador es proporcionar torque suficiente para girar y acelerar el generador de gas hasta la velocidad requerida.

El diagrama siguiente ilustra una secuencia típica de arranque de un generador de gas y es válida para cualquier tipo de arrancador. Después que el arrancador ha acelerado al compresor lo suficiente para establecer un flujo de aire a través del compresor y purgarlo, así como a la turbina libre y al ducto de escape, para eliminar cualquier cantidad de gas combustible, se arranca la ignición y después la alimentación del combustible.

DIBUJO No. 32



La secuencia exacta del procedimiento de arranque es importante porque debe haber suficiente flujo de aire pasando por la máquina para evitar el peligro de una explosión antes de que la mezcla combustible-aire se encienda.

La relación de flujo de combustible no será suficiente para permitir que el generador de gas se acelere hasta después de que se haya llegado a la velocidad de autoaceleración.

Si la ayuda del arrancador se corta abajo de la velocidad de auto-aceleración, el generador de gas podría no llegar a la velocidad de marcha en vacío, o podría comenzar a desacelerarse porque no puede producir suficiente energía para sostenerse rodando o acelerar durante la fase inicial del ciclo de arranque.

El arrancador debe, por tanto, continuar ayudando al generador de gas considerablemente arriba de la velocidad de autoaceleración, para evitar un retraso en el ciclo de arranque, lo que ocasionaría un arranque caliente o un arranque falso o una combinación de ambos.

En los puntos apropiados de la secuencia, el arrancador y la ignición deben cortarse automáticamente. Los arrancadores de generadores de gas son unidades de potencia pequeñas, engranadas al generador, en la sección de accesorios motrices.

Los arrancadores neumáticos para generadores de gas, son pequeñas turbinas movidas por aire o gas a presión, proporcionados desde una fuente externa. En algunas instalaciones, se usa gas natural tomado de un gaseoducto, algunas veces se usan motores eléctricos, como arrancadores y otras veces se usan motores hidráulicos. Lo importante es que sea cual sea el tipo de arrancador, éste tenga el par correcto. Los arranques en caliente, o los arranques en falso, se deben casi siempre a insuficiente par de arranque. Por el contrario, demasiado par puede dañar al generador de gas.



Arrancador neumático Turbina Libre A11

Control de Combustible

Estrictamente hablando, el operador de una turbina de gas no controla su máquina, actúa a través de un intermediario, que es el control de combustible. La relación que tiene con su máquina, es similar a la relación que tiene en un barco, el oficial de puente, que transmite sus órdenes a través de un intermediario, el oficial de máquinas, quien a su vez, ejecuta las órdenes.

En los dos casos, el intermediario supervisa ciertos factores que no son discernibles desde el alto mando y, en algunos casos, toma acción sin esperar órdenes.

El operador de una turbina de gas, controla el punto de ajuste que norma la velocidad de la turbina libre; poniendo el control de velocidad de la turbina libre, en un punto de ajuste determinado, el operador indirectamente le dice al control de combustible del generador, la velocidad a la cual desea que opere la turbina libre.

El control de combustible toma nota de lo ordenado y luego, después de tomar conocimiento de ciertas variables, dá al generador de gas, la potencia necesaria para mover la turbina libre a la velocidad deseada.

Si la carga en la turbina libre sube o baja, el control de combustible automáticamente varía el flujo del combustible al generador de gas y la velocidad del mismo para mantener las revoluciones de la turbina libre, constantes.

Como una variante del sistema de control de un generador de gas, el operador puede operar la turbina de gas a una velocidad constante de la turbina libre o a una velocidad constante del generador de gas. Así pues, el operador puede establecer un determinado punto de ajuste de velocidad, ya sea para el generador de gas, o para la turbina libre.

El control de combustible regulará entonces el flujo de combustible para mantener cualquiera de las dos velocidades.

Los generadores de gas son muy sensibles a la temperatura del aire que les entra. Por esta razón, algunos controles de combustible perciben la temperatura entrando al compresor del generador. Los controles de combustible también perciben la velocidad del compresor. Además, la presión interna de los quemadores del generador de gas, es supervisada por el control, para ayudar a proporcionar el flujo correcto de combustible, para las condiciones existentes de operación y para limitar el mismo flujo (como un dispositivo de tope), en el caso de mal funcionamiento del control de combustible.

Después de recibir una señal de velocidad de la turbina libre indicando esto, que las revoluciones están arriba o abajo de la velocidad prefijada por el punto de ajuste, el control de combustible, toma en cuenta todas las variables supervisadas (incluyendo velocidad del generador de gas), y sube o baja el flujo de combustible y velocidad, lo necesario para regresar la turbina libre a la velocidad deseada.

El flujo de combustible y la velocidad del generador de gas, se varían de acuerdo con un programa determinado, impreso en el control. El programa varía con la temperatura

de entrada al compresor, con objeto de mantener la temperatura de entrada a la turbina del generador de gas, a un valor aproximadamente constante para cualquier valor de salida de energía del generador de gas.

El comportamiento o rendimiento del generador de gas en condiciones estables, es solo una parte de la responsabilidad del control de combustible.

Cuando el generador de gas se acelera, debe darse energía a la turbina del propio generador en exceso de la necesaria para mantener una velocidad constante. Sin embargo, si el control de combustible hace aumentar muy rápidamente el flujo de combustible, puede producirse una mezcla muy rica que causará temperaturas excesivas a la entrada de la turbina o que produciría que el compresor se ahogue. Al contrario, una reducción muy rápida del flujo de combustible durante la desaceleración puede ocasionar un apagamiento, ya que el aire a quemadores baja tan rápidamente como el combustible. El control de combustible debe mantener la máquina en operación dentro de ciertos límites de la relación combustible-aire, que corten la posibilidad de apagamiento durante las subidas y bajadas de velocidad.

Otra responsabilidad asignada al control de combustible, es la prevención de atascamientos o ahogamiento del compresor. El atascamiento es una característica de todas las secciones de aire laminado, incluyendo las usadas en turbinas de gas. El atascamiento de un compresor no es un reflejo de la confiabilidad de la máquina. Atascamiento es una condición de flujo de aire inestable a través del compresor, a la cual la máquina (especialmente con temperaturas bajas del aire de entrada al compresor) es más susceptible. Es necesario limitar la relación de aceleración de flujo de combustible para evitar ahogamientos.

A ciertas velocidades del compresor y temperaturas del aire entrando, debe tenerse cuidado de no introducir combustible a quemadores en una forma tal que se produzca una presión crítica alta antes que la velocidad, flujo de aire y presión de aire, suban lo suficiente para hacerse cargo de la situación. Bajo tales condiciones, el flujo de aire a través del compresor baja y las aspas del compresor se atascan. El programa de flujo de combustible del control de combustible está diseñado para proteger contra esta condición.

Los controles de combustible son dispositivos complejos. Cada control individual debe estudiarse cuidadosamente para entenderlo bien. Sin embargo, el promedio de los operadores o personal de mantenimiento no tiene generalmente necesidad de un conocimiento completo de lo que está adentro del control de combustible de su generador de gas.

Para los que quieran ahondar más sobre el asunto, pueden consultar el Manual Pratt & Whitney de Instalación, o el Manual de Servicio, donde se encuentran descripciones de los controles de combustible para cualquier generador o turbina de gas.



Bomba de combustible líquido (Diesel)

Sistemas de Combustible

Además del control de combustible, hay otros componentes del sistema de combustible para un generador de gas. Como los sistemas para combustible líquido y gaseoso, son diferentes y se describen separadamente.

Sistema de Control de Combustible Líquido

Aun cuando el sistema de control de combustible para diferentes instalaciones que usan combustible líquido, puede variar. La descripción siguiente puede abarcar la mayoría de los casos.

El manual de servicio o las instrucciones de operación Pratt & Whitney describen las características de las instalaciones de generadores de gas y turbinas de gas, y deberán ser consultados para detalles específicos.

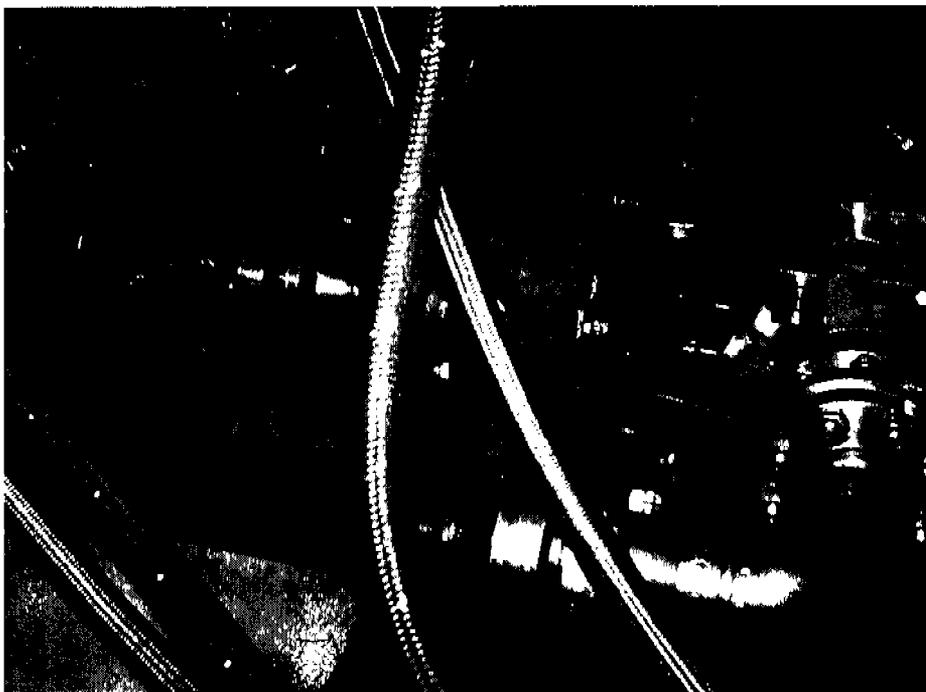
Control de Potencia de Salida del Generador de Gas

El control del generador de gas puede hacerse por medio de una palanca manual o por medio de switches electrónicos o de botones, dependiendo esto de la instalación. En conjunción con otros controles, el control de potencia de salida del generador de gas, se emplea para arrancar, operar y parar el generador de gas. Normalmente, dicho control tendrá 2 posiciones en vacío y plena carga, y puede también ser posible, en algunas instalaciones, modular como se desee la salida del generador entre velocidad

en vacío y plena carga. Algunos controles de potencia de salida, especialmente los del tipo normal, pueden tener una posición de "Fuera".

Val Vulas Shutoff de Combustible

Los paros normales o de emergencia del generador de gas se efectúan por medio de una válvula Shutoff de combustible, colocada en el sistema de combustible. Esta válvula se opera normalmente por medio de un solenoide controlado por botones, colocados en el tablero de control de la turbina de gas o controlado por el control de potencia de salida del generador, cuando éste tiene una posición entre "Fuera" y "en vacío". Cuando el control está totalmente atrás, la válvula shutoff de combustible, está cerrada. Moviendo el control de "Fuera" a "vacío", la válvula abre. La válvula shutoff de combustible cerrará automáticamente para botar el generador de gas en caso de sobrevelocidad de la turbina libre o de cualquier otra condición peligrosa. El tipo de condición que pueda causar un bote de emergencia, depende de las características de la instalación.



Válvula moduladora de gas del Jet tipo C3

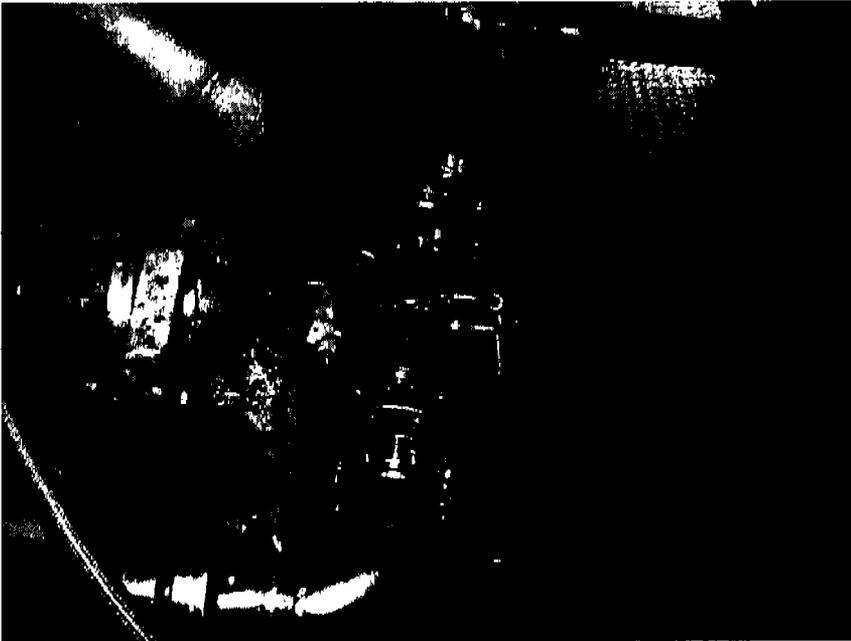
Esta información se encuentra en las Instrucciones específicas de operación para al modelo de generador de gas o turbina de gas que se use.

Bomba de Combustible

La bomba de combustible es una unidad separada colocada antes del control principal de combustible. El combustible sale de un tanque de almacenamiento a través de un grupo de filtros, bombas y válvulas y llega a la bomba de combustible, movida por el generador de gas. Esta bomba es de varios pasos, de tipo de engranes, desplazamiento positivo, alta presión.

La bomba envía el combustible al control de combustible después de lo cual, entra al generador de gas en la cantidad requerida. El exceso de combustible se bypasea hacia la succión de la bomba.





Válvulas Shutoff del generador de gas C3

Válvula de 2 Vías - Presurizadora y de Drenaje

Desde el control, el combustible fluye hasta una válvula presurizadora y de drenaje, pasando después al generador de gas por el cabezal de combustible primario o a mayores flujos por ambos cabezales, primario y secundario. Algunas veces se llama a estos cabezales: piloto y principal, respectivamente. De los dos, el cabezal primario es el más chico.

Ambos cabezales mandan el combustible a los quemadores de gas a través de un sistema de toberas.

Cuando se arranca el generador de gas, el control de combustible manda una señal de presión a la válvula presurizadora y de drenaje, la cual cierra el drenaje del cabezal y abre el pasaje de combustible al generador de gas. Dicha señal mantiene la válvula abierta durante toda la operación del generador de gas. Cuando se bota el generador de gas, el flujo de combustible es cortado inmediatamente por la válvula shutoff. La fuerza de la señal de presión, hacia la válvula presurizadora y de drenaje, disminuye rápidamente a medida que el combustible regresa hacia la bomba en lugar de ir al generador de gas. Tan pronto como la señal de presión a la válvula presurizadora y de drenaje es inadecuada para mantener la válvula abierta, se cierra el paso de combustible al generador de gas y permite que los cabezales drenen hacia un receptáculo especial.

Sistema de Control de Combustible Gaseoso

El sistema de control de combustible gaseoso para un generador de gas que opera con gas de un gaseoducto, es diferente al de combustible líquido. Para un generador de gas que quema gas, el sistema de control es básicamente un regulador de velocidad que detecta varias presiones, temperaturas y velocidades del rotor y que actúa, ya sea sobre la velocidad del generador de gas o de la turbina de gas.

El control del generador de gas asegura que los límites de presión, temperatura y velocidad del rotor, los cuales protegen al generador de gas y turbina libre, no se excedan. Además, el sistema de control supervisa de manera continua la velocidad del generador de gas y turbina libre, comparándolas con el punto de ajuste y luego regula el flujo de gas al generador de gas proporcionalmente.

El sistema de control incluye las válvulas necesarias, detectores y controladores eléctricos que se requieren para operar el generador de gas.

Válvula Shutoff de Estación

Esta válvula la proporciona el usuario y debe localizarse en la línea de alimentación de gas, para permitir la localización del generador de gas en relación con la fuente alimentadora de gas.

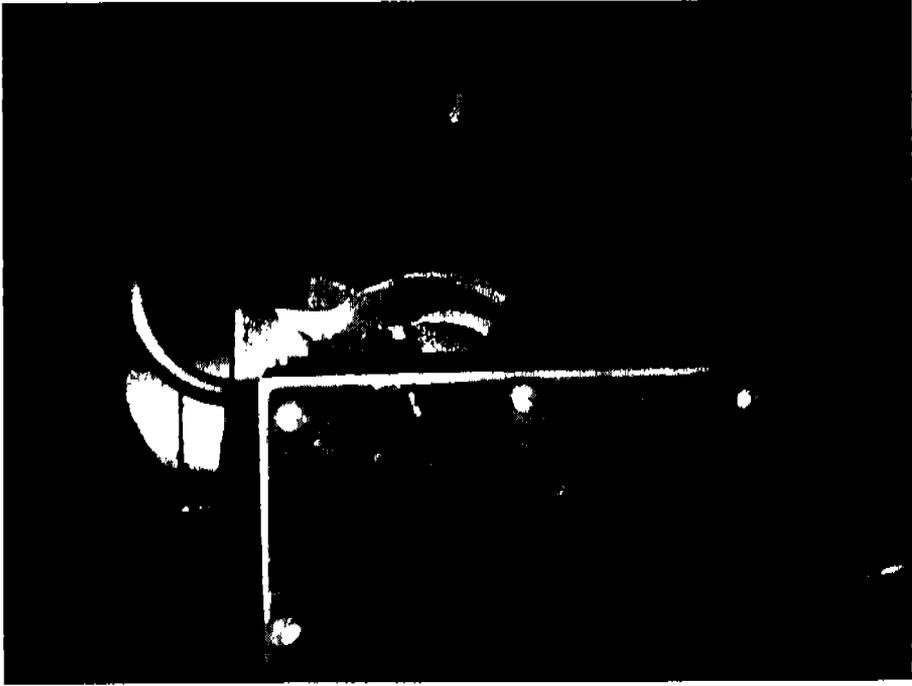
Válvula Shutoff de Gas Combustible

Los paros normales y los de emergencia de los generadores de gas se efectúan cerrando una válvula shutoff operada por solenoides y localizada antes de la válvula reguladora de flujo de gas.

La válvula shutoff se mantiene abierta todo el tiempo que opera el generador de gas y se cierra cuando el solenoide se desenergiza, a consecuencia de una señal de bote o una falla de potencia.

Cuando hay sobrevelocidad en el compresor o en la turbina libre, excesiva presión en quemadores o temperatura muy alta en la descarga de la turbina del generador, es decir, sobrepasados los límites permitidos, se cierra la válvula shutoff por efecto de la señal que desenergiza el solenoide.

La mencionada válvula puede botar también el generador de gas por otras razones de emergencia, dependiendo esto de los agregados incorporados a cada instalación particular. La válvula shutoff de gas puede operarse manualmente durante la operación normal del generador de gas, por medio de un switch colocado en el tablero de control de la máquina.



Válvula Moduladora o Reguladora del Flujo de Gas

Esta válvula es del tipo de mariposa operada por motor eléctrico. La válvula regula el flujo de gas hacia el generador de gas y recibe órdenes o señales de la unidad eléctrica o de control.

Unidad Eléctrica de Control

La unidad eléctrica de control para un generador de gas, que quema combustible gaseoso, efectúa las funciones siguientes:

- 1.- Arranca el generador de gas y lo lleva hasta la velocidad de operación en vacío, de acuerdo con un flujo de gas predeterminado.
- 2.- Limita las velocidades del generador de gas o turbina libre dentro del punto de ajuste, respetando los límites establecidos de presión, temperatura y velocidad del rotor.
- 3.- Limita la velocidad máxima del generador de gas y turbina libre para evitar sobrevelocidades, como respuesta a las señales enviadas por el sensor de velocidad del rotor de la turbina libre.
- 4.- Ajusta el límite máximo de velocidad del generador de gas, de acuerdo con los cambios de la temperatura total de aire entrando al generador de gas.
- 5.- Bota automáticamente el generador de gas si ocurre alguna de las emergencias mencionadas arriba.

Sistema de Lubricación

El aceite en las turbinas de gas sirve para el doble propósito de enfriar y lubricar las chumaceras. Un sistema de aceite a presión, lleva el aceite directamente a los puntos donde se necesita, es decir, a las chumaceras del compresor y turbina, a las chumaceras de las flechas motrices, accesorios del generador de gas y a las 2 chumaceras principales de la flecha de la turbina libre.

El método de lubricación se conoce como de "Sistema Calibrado", porque cada chumacera tiene su aceite específicamente controlado por medio de un orificio calibrado que permite el flujo correcto de aceite a todas velocidades de operación del generador de gas y turbina libre,

Las turbinas libres no manufacturadas por Pratt & Whitney pueden usar sistemas de lubricación diferentes. A continuación se describe un sistema de aceite con tanque caliente proporcionado por Pratt & Whitney con algunos generadores de gas.

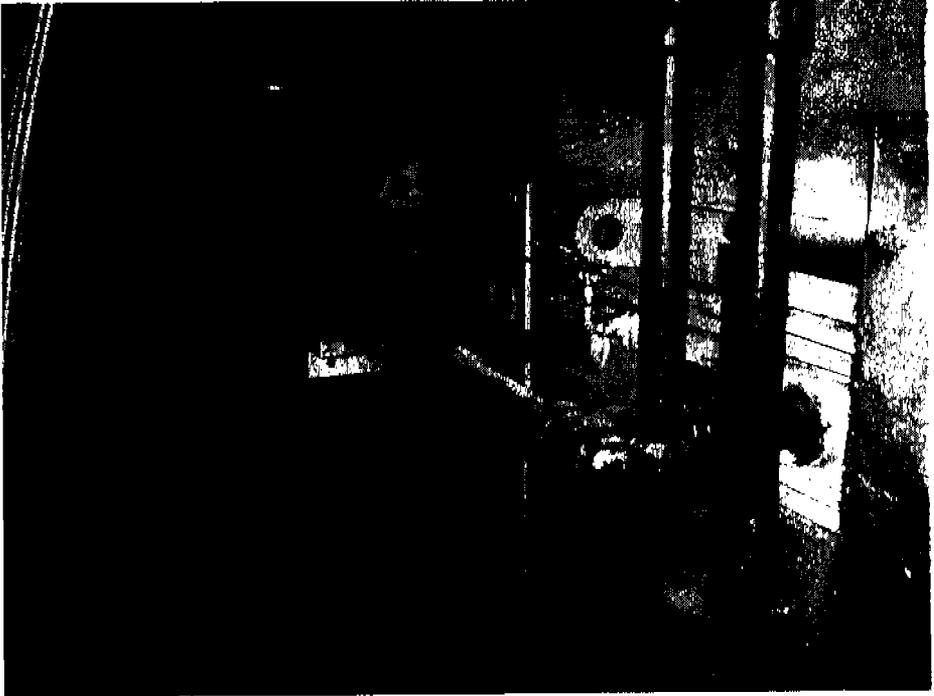
El sistema se llama de tanque caliente, porque de la bomba de barrido del generador de gas o de la turbina libre, sale aceite caliente que regresa directamente al tanque de almacenamiento de aceite.

Desde el tanque de almacenamiento el \dot{a} v por gravedad a la bomba booster (Bomba elevadora de presión). En algunas instalaciones se omite la bomba booster si hay una presión estática adecuada en la succión de la bomba principal de aceite, El aceite que sale de la bomba booster pasa por un enfriador y entra a la bomba principal. Antes de entrar a la máquina, el aceite pasa por un filtro que debe mantenerse limpio.

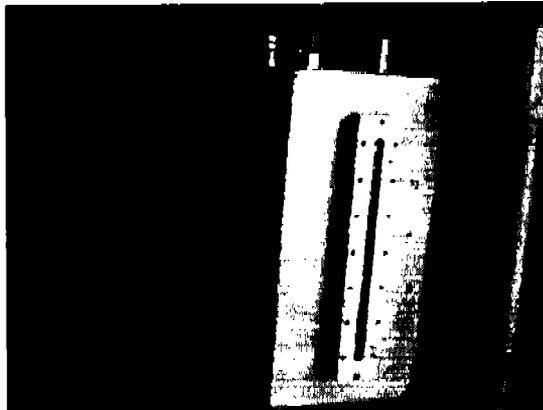
Algunas turbinas de gas tienen 2 bombas principales de aceite en el caso de que la turbina libre tenga sistema independiente de lubricación, otras turbinas de gas tienen una sola bomba principal de aceite porque los sistemas de lubricación del generador de gas y turbina libre están combinados.

El aceite a presión que sale de la bomba principal va directo a las chumaceras, cajas de engranes y otros lugares en los que se requiere lubricación o enfriamiento. A continuación, el aceite es barrido por medio de bombas de barrido y regresa al tanque de aceite, con lo que, se completa el ciclo.

Cuando el aceite regresa al tanque se le pasa primero por un deareador para quitarle el aire que toma en la bomba de barrido. Se usan deareadores del tipo de bote que forman parte integral del tanque de almacenamiento. El aire extraído del aceite, se ventila hacia la atmósfera. El enfriador de aceite puede ser de cualquiera de los 3 tipos siguientes:



Sistema de lubricación del Jet



Tanque de aceite del sistema de lubricación



Sistemas de Ignición

En las turbinas de gas, es necesario tener un voltaje alto para las bujías y una chispa de alta intensidad calorífica. Se ha elegido un sistema de ignición tipo capacitor de alta energía, porque dá alto voltaje y chispa excepcionalmente caliente.

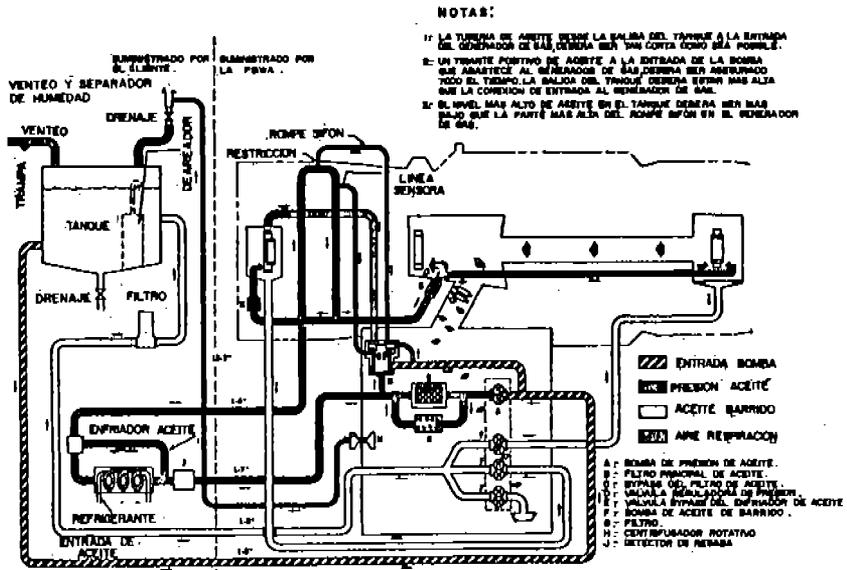
Los sistemas de ignición se catalogan por su capacidad y pueden ser de uno, dos, cuatro o veinte Joules. Un joule es la unidad de trabajo o energía liberada en un segundo por una corriente eléctrica de un ampere, pasando por una resistencia de un Ohm. Un Joule es igual a un Watt por segundo. Los generadores de gas Pratt & Whitney usan sistemas de ignición de 4 Joules.

Las cámaras de combustión de un generador de gas están interconectadas por medio de tubos de flama, en tal forma que la flama que se inicia en una cámara, pase rápidamente a las otras. Los generadores de gas tienen 2 encendedores de chispa. Aun cuando para arrancar, el generador de gas se requiere un solo encendedor, se instalan dos en cámaras separadas, para asegurar una ignición positiva. Los encendedores de chispa sirven para un propósito similar al de las bujías de las máquinas de movimiento alternativo.

Sin embargo, al contrario de éstas últimas, la operación del sistema de ignición y de los encendedores de chispa, es necesaria solamente en un periodo corto del ciclo de arranque de la máquina. El sistema de ignición típico consiste de 2 unidades de ignición, idénticas e independientes, que se alimentan de la misma fuente de poder. Para tener un factor de seguridad hay una unidad de ignición para cada uno de los

encendedores de chispa. Puesto que los circuitos de cada bujía son idénticos, solamente se muestra abajo uno de ellos.

Combustible-aceite, Aire-aceite o Aceite-enfriado por agua.



La primera parte del sistema de ignición es un filtro de entrada para eliminar la interferencia. Junto con dicho filtro, la parte primaria del sistema se conoce como "unidad excitadora de ignición". Cuando se opera el switch de ignición, pasa corriente por el filtro hasta un motor eléctrico que opera 2 levas. Una de ellas es una leva de lóbulos múltiples de la unidad excitadora, la otra leva es de un solo lóbulo para el circuito compositor de ignición. Ambas levas abren y cierran contactos que dan corrientes intermitentes a transformadores. La leva de lóbulos múltiples da una corriente pulsatoria a un transformador de baja tensión. Un condensador evita que se flameen los contactos. El transformador aumenta el voltaje de entrada hasta aproximadamente 2000 Volts en el sistema. Este voltaje pasa por un rectificador de selenio que actúa como una válvula check de un solo sentido, permitiendo el flujo de corriente hacia un condensador que almacena la corriente, pero que evita el regreso de flujo. El condensador almacena una gran cantidad de corriente cada vez que los contactos abren, al mismo tiempo que el condensador se carga, la leva de un solo lóbulo del compositor cierra su contacto permitiendo un impulso de corriente directa hacia la bobina primaria de un transformador de alta tensión, el cual aumenta el voltaje a más de 20000 Volts. Este voltaje alto origina que brinque una chispa en la bujía, una vez

establecida la chispa se establece un paso de baja resistencia por el cual se descarga la gran cantidad de energía eléctrica almacenada en el condensador. El resultado es un punto concentrado de calor muy intenso, que es capaz de encender rápidamente la mezcla combustible-aire en la cámara del quemador.

Para evitar el peligro de una explosión interna durante el arranque del generador de gas, la práctica dicta que el generador de gas debe ser girado por el arrendador y dejar que alcance la velocidad suficiente para efectuar la purga de cualquier cantidad de combustible presente antes de que se inicie la ignición. Después de esto, se prende la ignición antes de que el combustible se inyecte dentro del generador de gas.



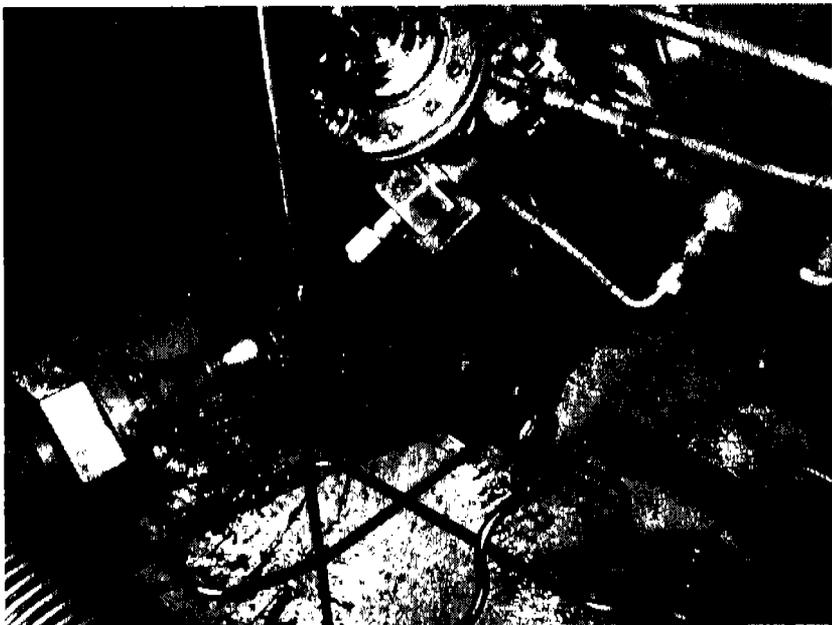
Paquete de ignición del Jet Tipo A11

El ciclo de ignición se repite varias veces por segundo y continua en operación mientras su switch esté cerrado. Las unidades de ignición están metidas en cajas herméticamente cerradas.

En caso de que funcionen mal, es necesario reemplazar la unidad completa. Se usa cable armado en todo el sistema.



Bujía del sistema de ignición

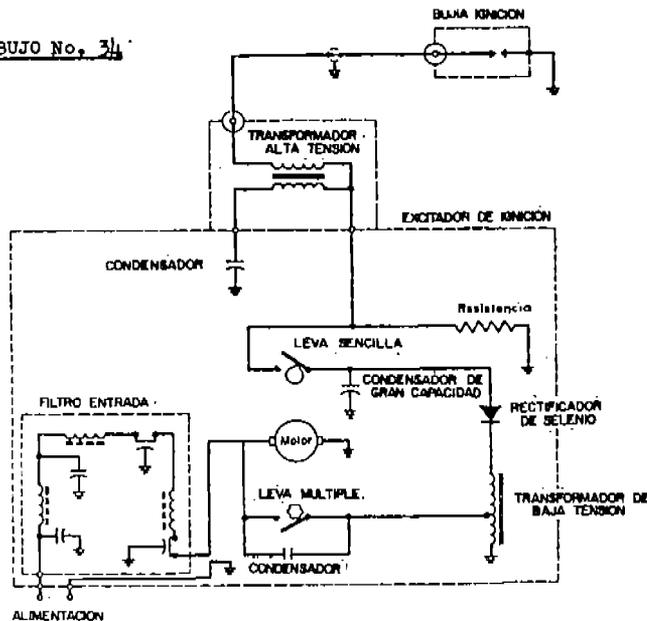


Bujía del sistema de ignición

Protección Contra Congelación del Aire de Entrada

Aun cuando las turbinas de gas no tienen carburadores y sus consiguientes problemas de congelación, no son inmunes al efecto de congelación del agua. Siempre que haya humedad visible en el aire exterior y la temperatura ambiente esté cerca o algunos grados arriba de la de congelación, los generadores de gas son muy susceptibles a la formación de hielo en las aspas guías de la entrada del compresor, en las aspas del primer paso del compresor y en las paredes que rodean la entrada del compresor. En los generadores de gas Pratt & Whitney las aspas guías de entrada y las nervaduras internas son huecas. Se extrae aire caliente de alta presión de la parte trasera del compresor y se lleva por ductos y, a través de una válvula de control, hasta las aspas y nervaduras huecas de entrada del compresor. En algunos generadores de gas, la nariz cónica y la entrada Bellmouth también se calientan. El calor evita la adhesión del hielo, Este sistema puede no fundir el hielo cuando éste ya está formado, pero lo adelgaza y lo rompe para que pase a través del generador de gas en pedazos grandes que podrían dañar las aspas del compresor, Por lo tanto, hay que anticiparse a las condiciones de congelación y el sistema anticongelante debe entrar en operación antes de que el hielo comience a acumularse. Un regulador anticongelante normalmente se incorpora al sistema, el cual varía automáticamente la cantidad de flujo de aire caliente cuando hay cambios de temperatura en la descarga del compresor.

DIBUJO No. 34



SISTEMA TÍPICO DE IGNICION DE ALTA ENERGIA TIPO CONDENSADOR C.A
(En algunos generadores de gas se usa sistema de C.A)

A medida que el aire entra por la entrada del generador de gas, aumenta su velocidad, originando una caída de temperatura. Si la temperatura ambiente es solamente unos grados mayor que la de congelación, con la caída de temperatura se llegará a la zona de congelación. Cuando esto ocurre, la humedad del aire puede congelarse al entrar en contacto con los componentes de entrada del generador de gas, aun cuando exteriormente no se vea hielo.

Cuando la temperatura del aire ambiente está entre la temperatura de congelación y los 46°F y hay humedad visible en el aire, se puede formar hielo en los componentes de entrada del generador de gas. Humedad visible se define (para los propósitos de determinar condiciones de congelación) como lluvia o nieve húmeda. Nieve seca generalmente ocurre solo a temperaturas ambientes abajo del punto de congelación y no se considera peligrosa.

El anticongelante puede ponerse o sacarse de servicio por medio de válvulas actuadas eléctricamente cuando existen condiciones de congelación. La operación de estas válvulas puede hacerse automática con el uso de un detector de hielo, que detecta la formación de hielo en la entrada del generador de gas.

El aire de extracción anticongelante no viene libre. Cuando se usa el sistema anticongelante ocurre una cierta reducción de la energía disponible en los gases de escape del generador de gas, debido a la potencia extraída para operar el sistema anticongelante. El control de combustible del generador de gas compensará lo anterior introduciendo más combustible a los quemadores. Para ahorrar combustible, el sistema anticongelante deberá usarse solamente cuando se necesite.

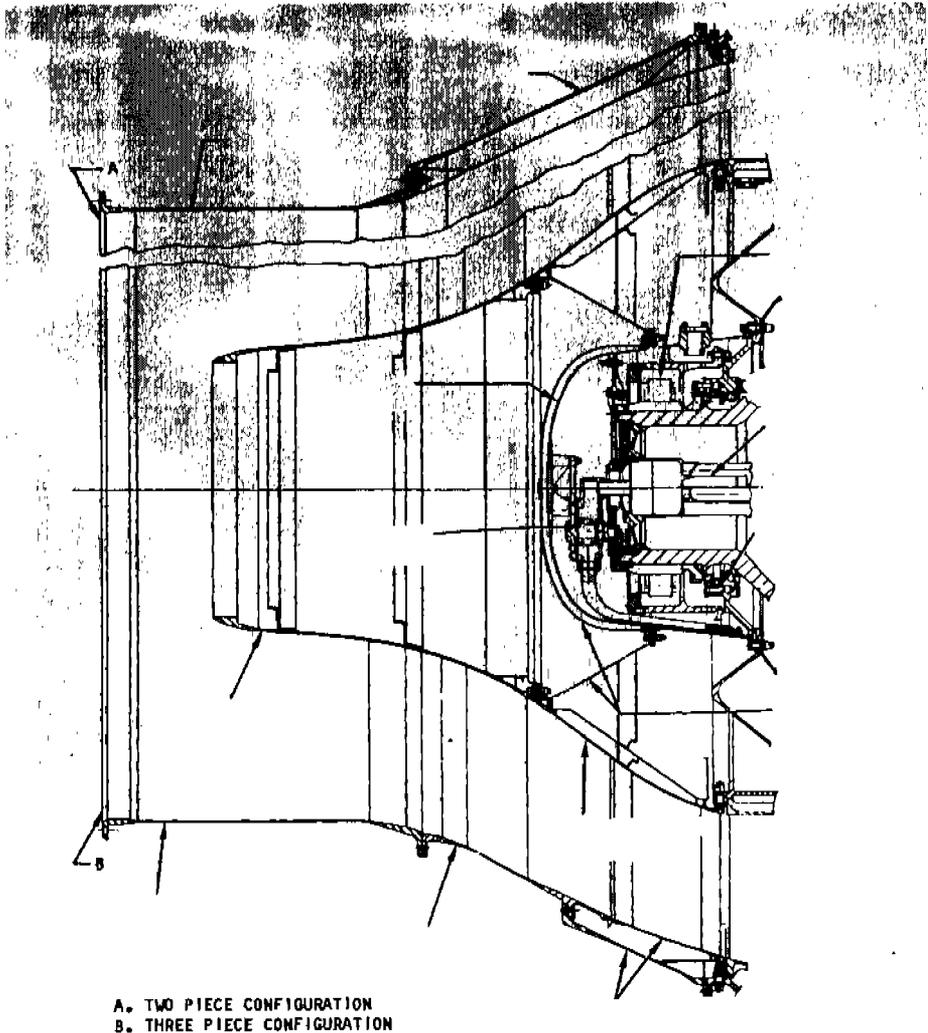


Figure 1-2

Configuración de la Caja Exterior de 3 Entradas.

Ducto Frontal de Entrada Exterior: Este ducto está pegado al reborde de la parte posterior del generador de gas de la caja del escape de la turbina. Lleva la carga estructural de la parte posterior del generador de gas y transmite esta fuerza a los soportes de la turbina libre. Es la única parte de la turbina libre que está físicamente pegada al generador de gas. La expansión térmica de la turbina libre es transmitida

hacia delante a través de esta caja y a través de las cajas del generador de gas hacia los puntos adjuntos de expansión a la caja intermedia del generador de gas.

Ducto Exterior de Entrada Intermedia: Este ducto está montado entre los ductos frontal y trasero. Está montado de una manera que le permite ser condensado dentro del ducto posterior para facilitar el retiro del sistema completo de ductos de entrada externa.

Ducto Posterior de Entrada Externa: El reborde frontal del ducto está atornillado al reborde trasero del ducto exterior intermedio. El reborde posterior de la entrada externa del ducto posterior se atornilla al reborde de la caja frontal de la turbina.

1-9A. Configuración de La Caja Exterior de 2 Entradas.

1-9B. Ensamble del Ducto de Entrada Externa: Esta caja está instalada en estas turbinas libres cuyo ducto externo de entrada intermedia y el ducto de entrada posterior externa, son reemplazados por un solo ensamble de caja de entrada a la caja de la turbina libre descrito antes. Su función es la misma descrita para los ductos de entrada exterior mencionados antes.

1-9C. Ensamble de Caja de Entrada: Ésta es una caja única usada en las turbinas libres que han eliminado los ductos frontales de entrada intermedia y trasera de entrada externa descritos antes. El ensamble del ducto de entrada externa se comprime dentro de éste, para facilitar el ser retirado.

1-10. Ducto de Corriente de Aire de Escape Interior: Este ensamble de ducto se atornilla al reborde trasero del ducto interno del escape de la turbina del generador de gas. La parte trasera final del ducto de corriente de aire encaja adentro, pero no se conecta al ensamble del ducto frontal de entrada interna.

1-11. Ducto Frontal de Entrada Interna: Este ducto se atornilla y se balancea del ducto trasero de entrada interna. Esto forma la sección delantera de la piel interna del annulus, el cual dirige los gases a la turbina.

1-11. Ducto Trasero de Entrada Interior: Tornillos y tuercas, al reborde frontal de este ducto, lo aseguran al reborde trasero del ducto frontal de entrada interior y al soporte del ducto de entrada. Tornillos y tuercas aseguran el soporte al segmento de la cubierta de entrada al cojinete número 7. La parte final del ducto posterior de entrada interna se ondula y se monta entre los tornillos y tuercas, asegurando sus paletas de turbina de la primera etapa al soporte del cojinete número 7. El ducto posterior forma la sección posterior de la piel interna del annulus, el cual dirige los gases en la turbina.

1-12. Cajas de Turbina

Las cajas de turbina contienen la turbina que convierten el movimiento axial de los gases calientes al eje de caballos de fuerza que impulsa el equipo del usuario.

1.13. Caja Frontal de Turbina: La caja frontal de turbina soporta la carga estructural del cojinete número 7. También contiene las paletas de turbina de la primera y segunda etapas. La turbina de la primera etapa rota en ella. El ducto posterior de entrada exterior

se atornilla al reborde frontal, y el reborde posterior se atornilla a la caja posterior de la turbina.

1-15. Caja Posterior de la Turbina: La caja posterior de la turbina se atornilla a la caja frontal de la turbina y a la caja del puntal del escape. La turbina de la segunda etapa rota en esta caja.

1-16. Caja Puntal del Escape: La caja puntal del escape es el miembro principal de apoyo de la turbina libre. Contiene también los codales grandes (paletas) que transmiten la carga estructural a las agarraderas de montaje pegadas al O.D. de la caja. La propulsión del eje para la caja de velocidades de la turbina libre pasa a través de uno de los codales más bajos. El aire del respiradero para las áreas de los cojinetes pasa a través de los codales que están hasta arriba. La presión y limpieza del aceite es cargada en otro codal bajo hacia el área central de la caja.

1-17. Ducto del Escape: El ducto del escape que está atornillado al reborde trasero de la caja de apoyo del escape, sirve para recoger los gases del escape y dirigirlos a donde pueden ser arrojados a la atmósfera. Consiste en un ducto externo e interno que forma el annulus para este propósito. El acoplado del codal central de la turbina pasa a través del ID del ducto interior. Está protegido de los gases calientes por un escudo de calor, el cual se atornilla a la parte final delantera del ducto interior.

1-18. Partes Internas

1-19. Paletas de Turbina de la Primera Etapa: Hay 53 paletas de la turbina de la primera etapa al ángulo apropiado para la máxima eficiencia. Las paletas se atornillan a las puntas exteriores en la caja frontal de la turbina y al soporte frontal de la turbina en sus puntas interiores.

1-20. Paletas de la Turbina de la Segunda Etapa: Hay 63 paletas de la turbina de segunda etapa localizadas en la caja frontal de la turbina. Éstas están ubicadas entre las turbinas de las primera y segunda etapas al ángulo apropiado para máxima eficiencia.

Las paletas son aseguradas a sus partes finales externas por una ranura axial en la caja de la boquilla y por el anillo retenedor trasero de la paleta de la segunda etapa. Son retenidos en sus puntas internas por el recubrimiento de paletas de la turbina de la segunda etapa.

1-21. Rotor de la Turbina: El rotor de la turbina consiste en un cubo (de rueda) frontal. Un sello de aire de la primera etapa, el disco y ensambles de cuchilla de las primera y segunda etapas, un espaciador, y un sello de aire de la interetapa, un eje, los ordenadores de hileras y las tuercas, asegurando las 2 etapas; los contrapesos y un sello de aire de la segunda etapa. El rotor se apoya en la parte final del frente por un cojinete de cilindro (de rodillo) y en la parte final trasera por un cojinete de empuje de bola.

1-22. Ensamble de Cuchillas y Disco de la Primera Etapa: Hay 70 cuchillas de turbina de la primera etapa aseguradas en el disco por endentaduras de abeto y

remaches. Los contrapesos están asegurados en el disco, como se requiere, para balancear el ensamble de rotor.

1-23. Ensamble de Cuchillas y Disco de la Segunda Etapa: Hay 60 cuchillas de la turbina de la segunda etapa aseguradas en el disco de la misma forma como se describe en el ensamble de cuchillas y disco de la primera etapa. Hay también contrapesos en este ensamble, como se requiere para balancear el ensamble de rotor.

1-24. Sello de Aire de la Primera Etapa: El sello de aire de la primera etapa se agarra al cubo (de rueda) frontal por medio de los ordenadores de hilera. Este sello sirve para evitar que los gases calientes lleguen al sello número 7 y al área del cubo (de rueda) frontales.

1-25. Espaaciador de la Turbina y Sello de Aire de la Ínter etapa: El espaaciador y el sello están situados entre el disco de la primera y segunda etapas y el ensamble de las cuchillas. El sello tiene 6 bordes de cuchillo los cuales, junto con el anillo del sello, ayudan a evitar la fuga de gases entre las etapas.

1-26. Sello de Aire de la Segunda Etapa: El sello de aire de la segunda etapa es agarrado al eje de la turbina por los ordenadores en hilera y por tuercas. Este sello sirve para evitar que los gases calientes se escapen fuera de borda a través de la caja del escape, del eje de la turbina y del eje frontal número 8.

1-27. Eje del Rotor de la Turbina: El eje del rotor de la turbina es una pieza de construcción. La punta delantera del eje está formada de tal manera que proporciona el montaje del ensamble del disco y las cuchillas. La punta trasera está entablillada para aceptar el acoplamiento de la turbina. Un croquis para montar el cojinete número 8 está maquinado en el eje.

1-28. Acoplamiento de la Turbina y Acoplamiento del Eje: El acoplamiento del eje es un ensamble que corre a través y se extiende fuera del ducto del escape. En la punta frontal es un disco de acoplamiento flexible. En la punta trasera es un adaptador de acoplamiento a través del cual el equipo del usuario es empujado.

1-29. Cojinete de la Turbina Frontal (No. 7): Éste es un cojinete del tipo de rodillo, tambor, cilindro). El anillo guía interior está en una colocación apretada sobre el frente del cubo (de rueda) y es sostenido en su lugar por medio de una arandela de cuña y una llave de tuercas. Los anillos guía y los rodillos son sostenidos en el alojamiento frontal del cojinete por una arandela de etiqueta (o lengüeta) y una llave de tuercas. Las cargas del cojinete son transmitidas a través del alojamiento del cojinete y las paletas de la turbina de la primera etapa a las cajas de la turbina y a través de éstas, a la caja de apoyo del escape. El cojinete es lubricado en la parte frontal por dos boquillas de 90° aparte.

1-30. Sello del Cojinete de la Turbina Frontal: El sello del cojinete de la turbina frontal es del tipo cargado de resortes, diseñado para mantener un contacto positivo entre el sello y el plato del sello bajo todas las condiciones de operación. Este sello está montado en la parte trasera del cojinete No. 7. El alojamiento del sello conteniendo el

sello está asegurado en el soporte del sello por medio de pasadores guía, collarines y remaches. Los resortes instalados alrededor de los pasadores ejercen una fuerza sobre el alojamiento del sello, de modo que el sello esté siempre presionando contra el plato del sello. El sello del plato es presionado sobre, y rota, con el eje del rotor. Un sello de tipo de anillo está instalado en el soporte del sello para evitar fugas entre el soporte y el alojamiento del sello. El ensamble completo del sello está atornillado al cojinete del alojamiento.

1-31. Soporte del Cojinete Frontal de la Turbina: El soporte del cojinete frontal de la turbina (no. 7) está atornillado a las paletas de la turbina de la primera etapa y a los ductos internos de entrada, como se describió previamente. La carga estructural de cojinete No. 7 es transmitida a través de ésta a la estructura interna de la turbina libre a los puntos de montaje como fue discutido previamente bajo el cojinete No. 7.

1-32. Cojinete de la Turbina Trasera No. 8: Este cojinete puede ser del tipo de bola tanto sencillo como dúplex. Proporciona el apoyo para el ensamble del rotor de la parte trasera. Está montado en el soporte del cojinete, el cual está instalado en la caja del apoyo del escape. Los anillos guía externos del cojinete están divididos y van un poco justos sobre el eje del rotor. Su posición sobre el eje está determinada por un sello de plato instalado delante de los anillos guía y por el engranaje de la caja de velocidades de la parte trasera. Esta construcción entera está asegurada sobre el eje por una tuerca retenedora y una arandela de cuña. Ver Fig. 1-3 y 1-3A. Un juego espaciador desviador de aceite está ubicado entre los dos cojinetes del dúplex. El aceite del desviador lubrica el cojinete.

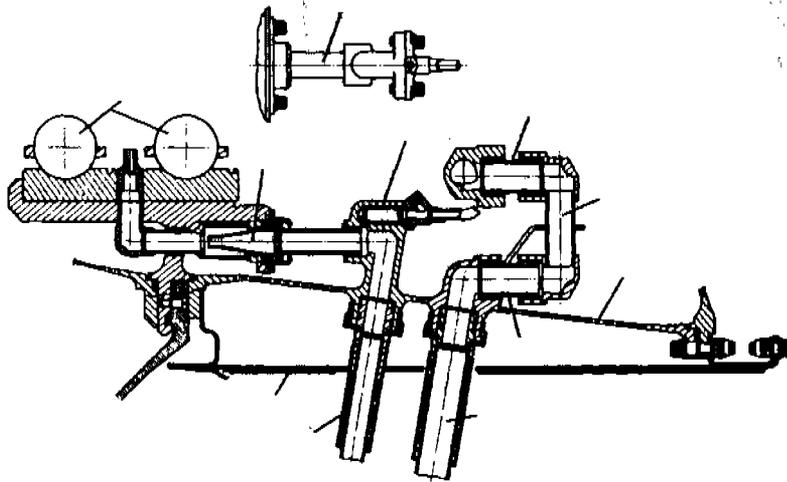


Figure 1-3

metal, mientras que la otra, utiliza alojamientos delantero y posterior que son de vaciado.

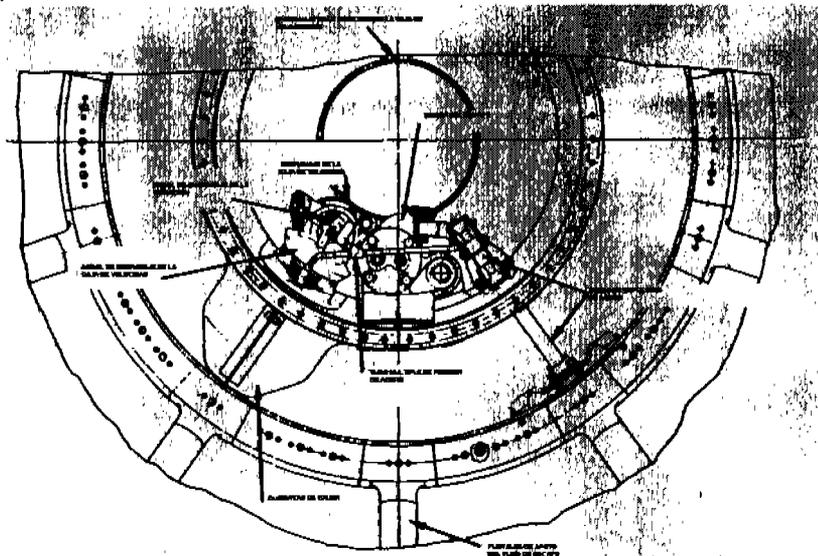


Figure 1-5

1-38. Gobernador de Exceso de Velocidad: La función del gobernador de sobrevelocidad es monitorear la velocidad de la turbina libre y de iniciar su baja, si la velocidad de una turbina libre se excede. La velocidad del rotor de la turbina libre se obtiene a través de engranaje y ejes, como se explicó previamente.

1-39. Sensor de Aceleración de Pulso magnético (Transductor): El transductor es un acelerador de proximidad que siente la presencia de material magnético. Un campo magnético permanente fijado por el imán y pieza de polo, se distorsiona cuando un disco o engrane muescado es rotado a través de él. La densidad del flujo cambiante del campo causa que una corriente eléctrica sea inducida en una bobina o alambre, alrededor de la pieza de un polo. La corriente es inducida en un indicador de la velocidad del eje de la turbina. Un control de velocidad montado siente esta corriente y cuando es alcanzada una válvula prefijada, el controlador electrónico estabiliza la velocidad. Refiérase a la descripción del generador de gas del sistema de gas combustible.

1-40. Tacómetro de Propulsión: El tacómetro de la turbina libre, la propulsión, cojinete y engranaje, están situados debajo del cojinete del gobernador no usado, sobre la fase delantera del ensamble de la caja de velocidades. El engrane de la propulsión del tacómetro es propulsado por un estímulo al eje (árbol) del engrane, el cual a su vez es

propulsado por un puntal del eje del engrane, el cual a su vez, es propulsado por un eje de engrane entablillado (por un plato o listón de metal) sobre el eje de la propulsión de la caja de velocidades.

1-41. Montajes de la Turbina Libre: Los soportes de la turbina están atornillados entre los anillos de montaje de la caja del eje del escape sobre la línea central horizontal 80° aparte. Las cargas estructurales de la turbina libre, son transmitidas a estos puntos como se explicó previamente.

2.2.- SISTEMA DE ACEITE

El sistema del aceite de la turbina libre consiste en una provisión de aceite, bomba de aceite, enfriador de aceite, filtro de aceite, provisión externa y tubos de regreso, y varios tubos para pasajes internos y boquillas de aceite. El tanque de aceite y el enfriador son proporcionados por el usuario.

El sistema lubrica los cojinetes principales de la turbina, varios accesorios de propulsión de los cojinetes y el gobernador de exceso de velocidad. La presión deseada para lograr esto se obtiene a través del uso de una válvula de descompresión discutida subsecuentemente.

1-45. Tanque de Aceite: La provisión de aceite está contenida en un tanque montado lejanamente en lo Encerrado. El tanque se ventila a la atmósfera, tiene una capacidad mínima de 30 galones. Se proporciona un tubo de drenado, el cual permite el drenado del tanque.

1-46. Bombas de Aceite: La bomba de aceite está ubicada en el alojamiento de la caja de velocidades. Es de construcción dúplex, consistiendo en una presión y dos secciones de recuperación (limpieza) atornilladas juntas. La sección de presión está más cerca de la punta de propulsión de la bomba. Cada sección contiene un engrane de impulso y uno neutral (de reposo). Los engranes de propulsión están entablillados (un plato o tiras de metal) sobre un plato o tiras de metal sobre un eje de impulso, el cual es propulsado a través del tren de engrane por el eje de rotor de la turbina. El aceite es cargado de la entrada del cojinete sobre el alojamiento de la caja de velocidades a la bomba por un pasaje interno. Una presión de descarga del aceite proveniente de la bomba está sujeta a una válvula de descompresión instalada en el alojamiento. Ver fig. 1-8. Cada área del cojinete (No. 7 y No.8) tiene su propia bomba de recuperación.

1-47. Filtro de Aceite Principal: El filtro principal de aceite está compuesto de asientos alternos de pantalla y espaciadores colocados alrededor de un deflector. Desde la sección de la presión de la bomba el filtro entra, flota a través del ensamble de la pantalla hacia el centro del deflector y luego, fuera, hacia adentro del sistema. Una válvula de chequeo sobre el deflector evita un flujo en reversa, cuando la turbina no está en operación (si esto ocurre, el ensamble de la pantalla se tapona), la desviación de la válvula del filtro de aceite se abre, permitiendo al aceite desviarse a la pantalla, evitando así falta del aceite.

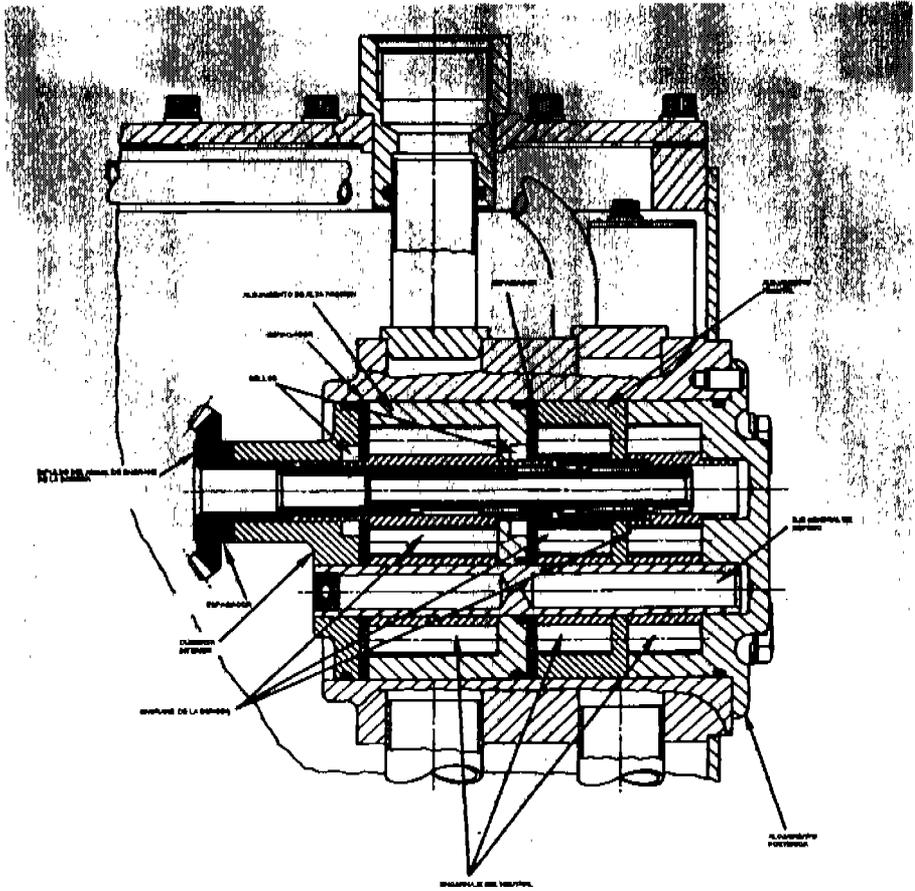


Figure 1-7

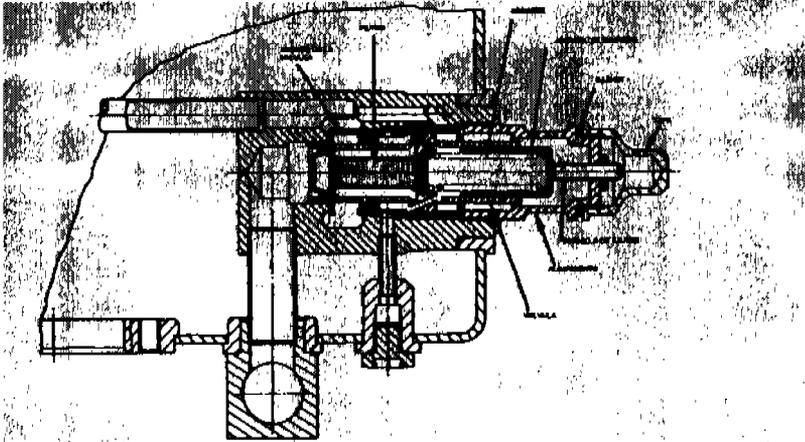


Figure 1-8

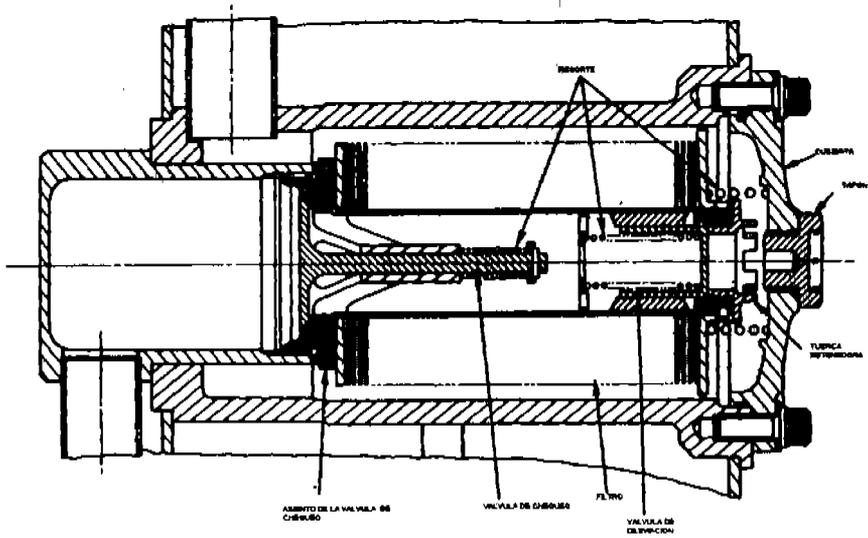


Figure 1-9

1-48. Sistema de presión: La presión del aceite pasa a través del filtro y es llevada hacia delante por el entubado de los cojinetes No. 7 y No. 8 vía externa. Un circuito antisifón (más alto que el nivel de aceite en el tanque), está hecho por este entubado para presentar inundación de la caja de velocidades durante el descenso de velocidad. La presión del aceite es entonces llevada hacia adentro de los cojinetes No. 7 y No. 8, donde chorros riegan los cojinetes y los sellos. Un chorro sobre la línea del cojinete No. 8 riega la torre del eje de los cojinetes. Otros engranes y cojinetes en la caja de velocidades son lubricados por el aceite recuperado. Una línea antisifón incorporando una válvula de chequeo al final del tanque, está conectada desde el circuito al tanque de aceite. Durante la operación, esta línea es cerrada por la válvula. Durante el descenso, un pasaje de aire es permitido entre el tanque y el circuito. La presión de aceite para el gobernador de exceso de velocidad fluye a través de un filtro de aceite especial y regresa al deflector de aceite de la caja de velocidades durante la operación de la turbina libre.

1-49. Sistema de recuperación: Después de lubricar el cojinete No. 7, el aceite cae a un colector formado en el área de este cojinete. Una bomba de recolección, forza este aceite hacia la parte posterior, a través de tubos en el centro del rotor de la turbina hacia el colector del cojinete No. 8, donde el aceite del área del cojinete No. 8 también se junta. Otra bomba de recolección forza esta combinación de aceite, hacia un enfriador, y entonces, hasta arriba del tanque de aceite montado lejos.

El aceite recuperado de la torre del eje, cae hacia el colector de la caja de velocidades, lubricando el engranaje en la caja de velocidades. Una sección de recuperación de la bomba principal forza este aceite a través de los tubos para unirse al rescatado, proveniente de los cojinetes principales mencionados antes. Una segunda sección de recuperación de la bomba principal forza el aceite recuperado del colector del gobernador de exceso de velocidad vía tubos, para juntar el aceite recuperado de arriba en su regreso al tanque de aceite.

1-50. Válvula de Control de Temperatura y Enfriador Principal de Aceite: La válvula de control de temperatura se fija para mantener la temperatura del aceite que es regresado al tanque de aceite, de 170° a 190 ° F (77° a 88° C), la válvula tiene 2 salidas y 1 puerto de entrada. Está colocado en la línea de recuperación de las bombas en paralelo con el enfriador de aceite. Cuando el límite predeterminado de temperatura del aceite es alcanzado, la válvula se cierra y hace que el aceite fluya a través del enfriador del aceite, en su camino hacia el tanque de aceite. Si esta temperatura no es alcanzada, la válvula permanece abierta y permite que el aceite fluya directamente al tanque.

1-51. Aire Enfriador del Gobernador: El enfriador de aire para el gobernador de exceso de velocidad es proporcionado por un soplador de aire independiente, que está atornillado al piso del Encerrado. El gobernador está rodeado por un escudo, el cual está conectado por tubos al soplador del escape. El aire circula alrededor del gobernador y es sacado a la atmósfera inmediatamente.

1-52. Ensamblaje Acoplador Flexible: El acoplador flexible está diseñado para compensar cualquier falta de alineación remanente después de que los ejes del usuario

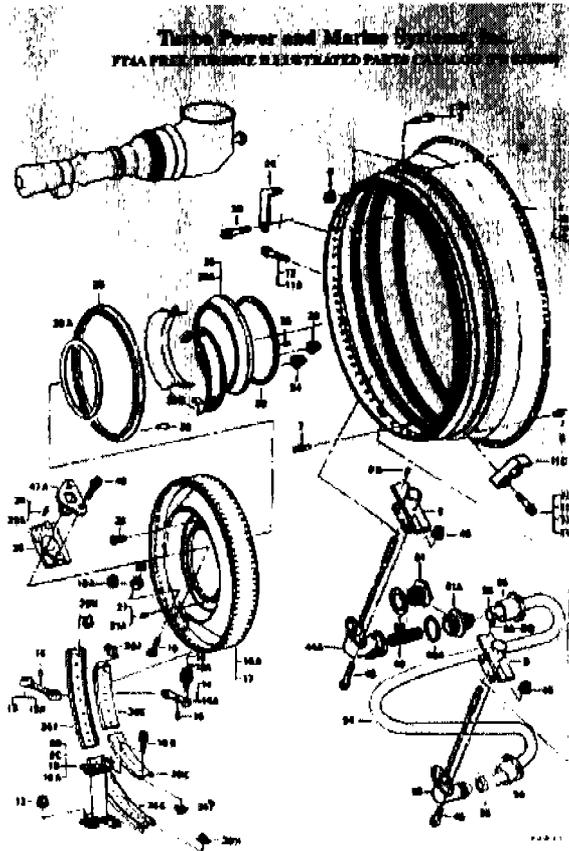
y de la turbina libre han sido alienados como se requiere. Este diseño consiste en 3 acopladores flexibles atornillados juntos.

En ciertas instalaciones, el acoplamiento de la turbina libre está entablillado sobre la salida del eje de la turbina y está asegurado en un lugar por una llave de tuercas, la cual está remachada al eje. El acoplamiento de usuario está atornillado a un cubo (de rueda) rígido sobre el eje del usuario. Un acoplamiento central está atornillado a los 2 acoplamientos mencionados antes. El OD de las parejas de los acoplamientos es de tal manera como para permitir una pequeña cantidad de movimiento relativo. Otros arreglos de acoplamiento están disponibles para cumplir con los requerimientos de usuario.

CAPÍTULO III: DESENSAMBLE DE LA TURBINA LIBRE TIPO A11

3.1.- DESENSAMBLE

El desensamble de la turbina comienza con la salida de la máquina de la estación de trabajo en la que opera, iniciándose con una prueba de la misma con el rotámetro. El desensamble consiste en separar las siguientes piezas.

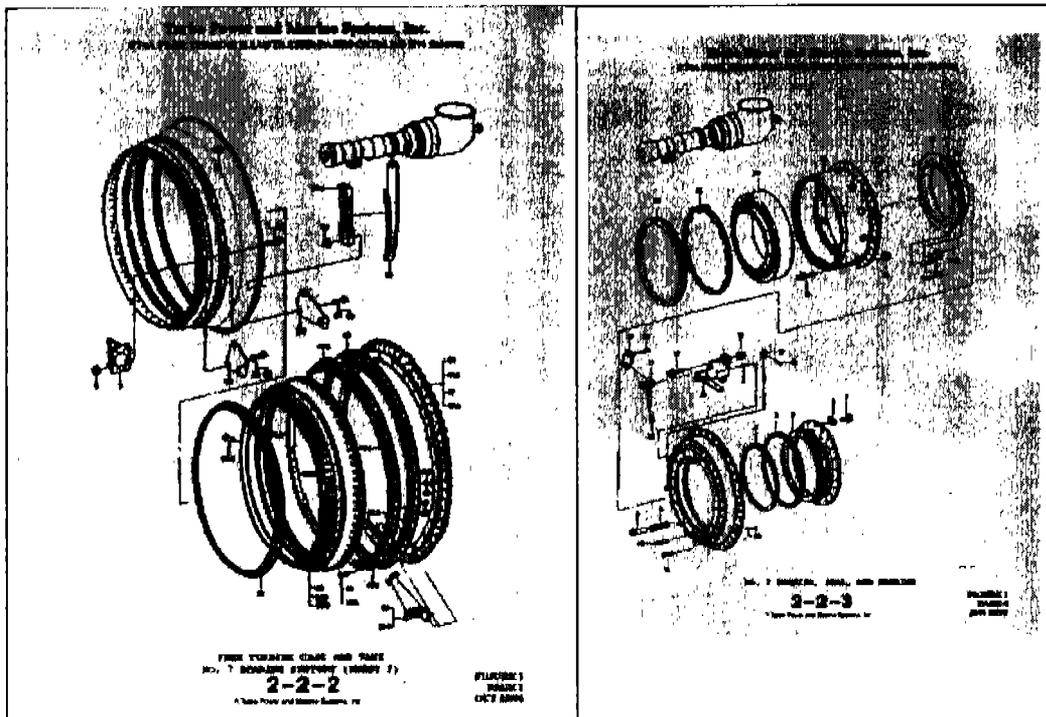


FREE TURBINE CASE AND VANE
NO. 7 BEARING SUPPORT (SHEET 1)

2-2-2

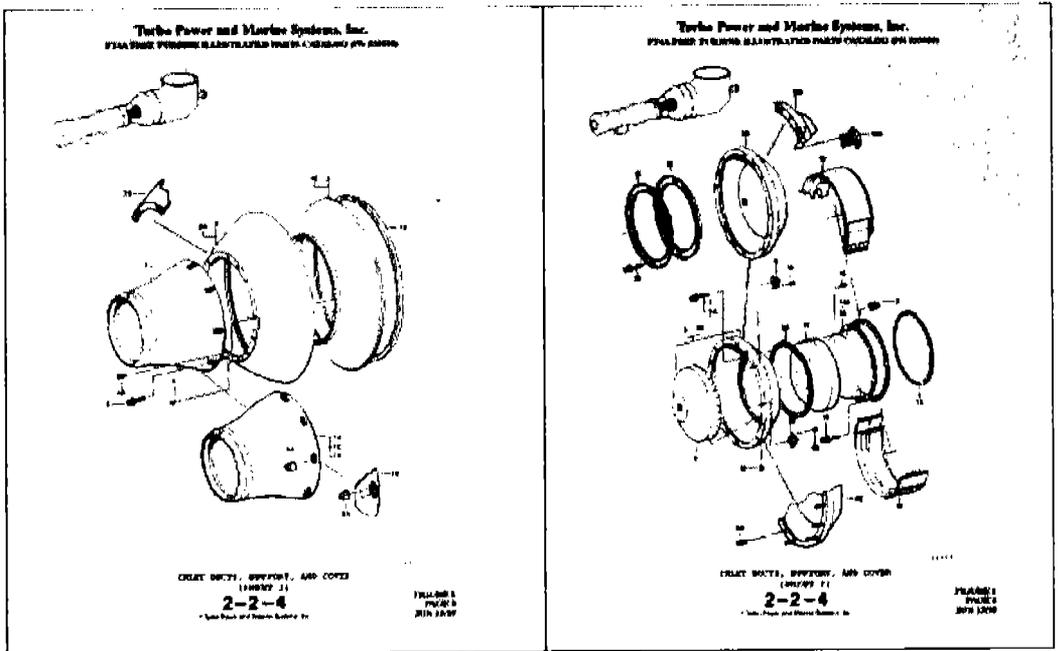
Turbine Power and Marine Systems, Inc.

FIGURE 1
PAGE 8
JUN 15 95



- 1.- 4 piezas p/n 344203 screw flat head 0.190-32 * .688
- 2.- 1 pza. p/n 570419 duct assembly of free turbine.
- 3.- 1pza p/n 547617 shield assembly for heat #7 bearing
- 4.- 1pza p/n 547618 shield assembly heat
- 5.- 2 pza. p/ 303328 bold
- 6.- 1 pza p/n 577462 manifold tubo de presión balero #7
- 7.- 1pza 467180 gasket
- 8.- 36 pza 5238 41 bolt tornillos cabeza doble hexágono .312 -24 x 1.438 in
- 9.- 1 pza p/n 556557 cover balero 7
- 9.1 - 1pza 466022 gasket
- 10.- 1 pza 464781 tuerca interior balero 7

- 11.- 1 pza 464782 candado
- 12.- 36 pza 383409 nut
- 13.- 2 pza 483473 bolt 0.3125-24 x 1.125
- 14.- 34 pza 327526 bolt 0.3125-24x .938
- 15.- 1 pza 564029 nozzle assembly tobera valero 7
- 16.- 6 pza 237669 tornillo exagonal de .250-28 x .625
- 17.- 6 pza 440421 candados
- 18.- 1pza 46 6971 (gear) engrane de la bomba de barrido
en este momento se retira el soporte del balero # 7
- 19.- 1 pza caja del valero #7
nota: se retira pista interior del balero #7
- 20.- 1 pza 483480 plato del sello del balero #7
retirar el ensamble completo del sello



- 21.- 4 pza 467594 screw machina .250 -28x .875

22.- 160pza 517314 tuercas

23.- 24 pza. 529699 Tornillos .3125 -24 x .2875

24.- 136 pza. 523841 tornillos .3125- 24 x 1.438

25.- 2 pza 529696 soporte

nota: se retira caja y soporte del balero #7 y soporte de alabes fijos del primer paso 1 pza 611788

26.- 1pza 577446 tubo de presion del balero #7

27.- 4pza. 517207 tuercas

28.- 4pza. 524268 tornillos doble hexágono .250 – 28 x .875

29.- 1pza . 577455 tubo de presion del balero #7

30.- 1pza. 577454 manifold de presion del valero #7

31.- 212pza. ms9036-13 tornillos de 12 puntos .375 – 24 x 1.188

32.- 106 pza. 525766 tornillos de 12 puntos .375- 24 x 1.000

33.- 106 pza 523837 tornillo hexagonal .375.24 x 1.188

34.- 106pza 517314 tuercas

nota: se colocan 10 kg de hielo seco en el soporte parte # 668643 para contraerlo y liberar la presión existente entre este soporte los alabes y la caja exterior.

35.- 53pza 464751 alabes fijos del primer paso

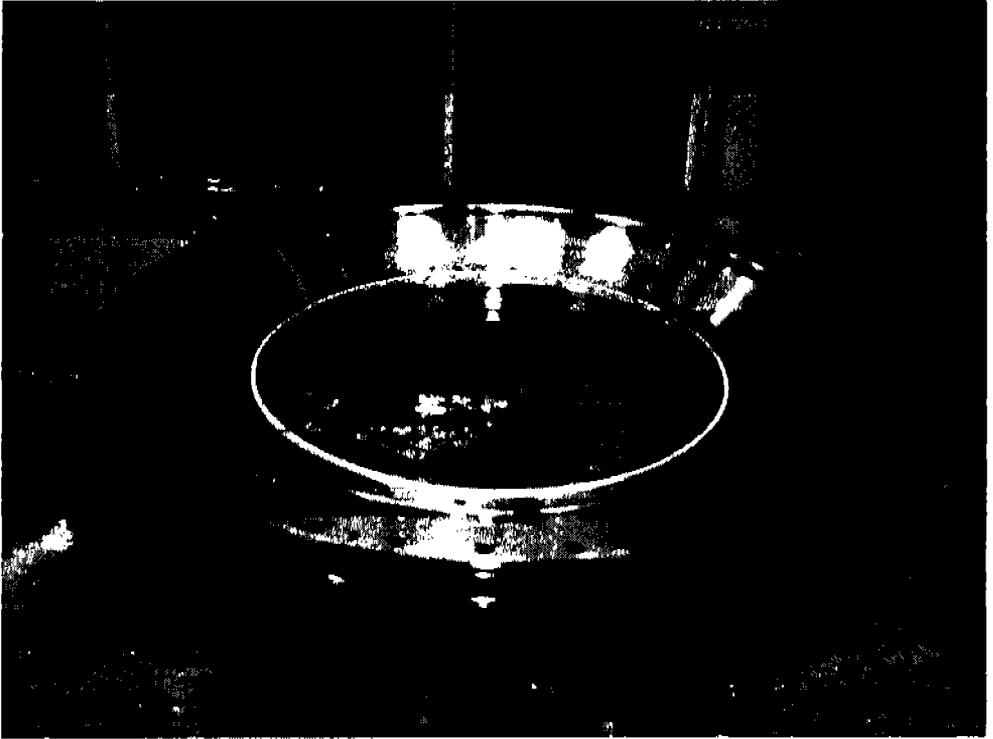
36.- 1pza 658671 sello de aire del primer paso

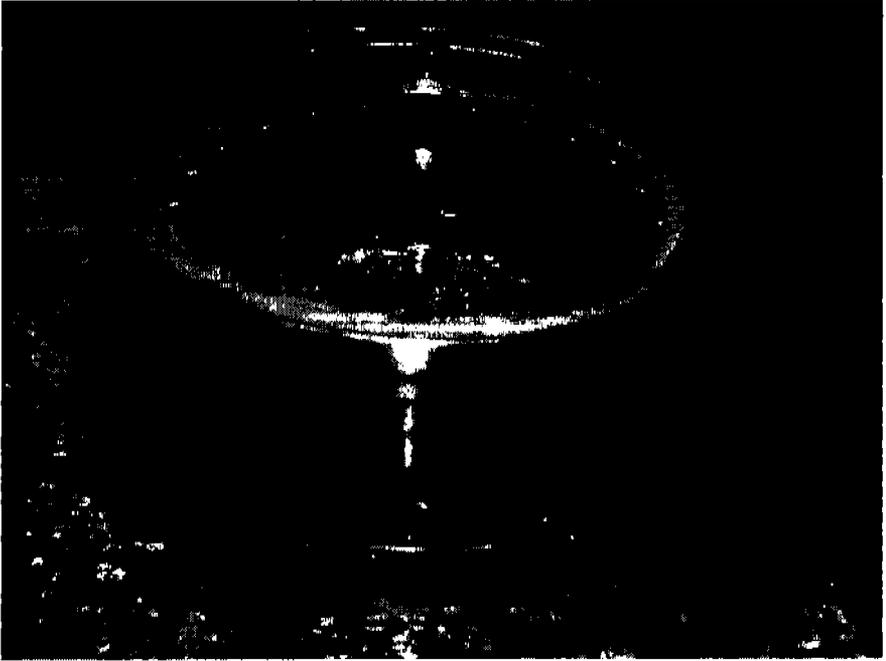
37.- 60 pza 322339 tornillos cabeza plana .250-28 x .500

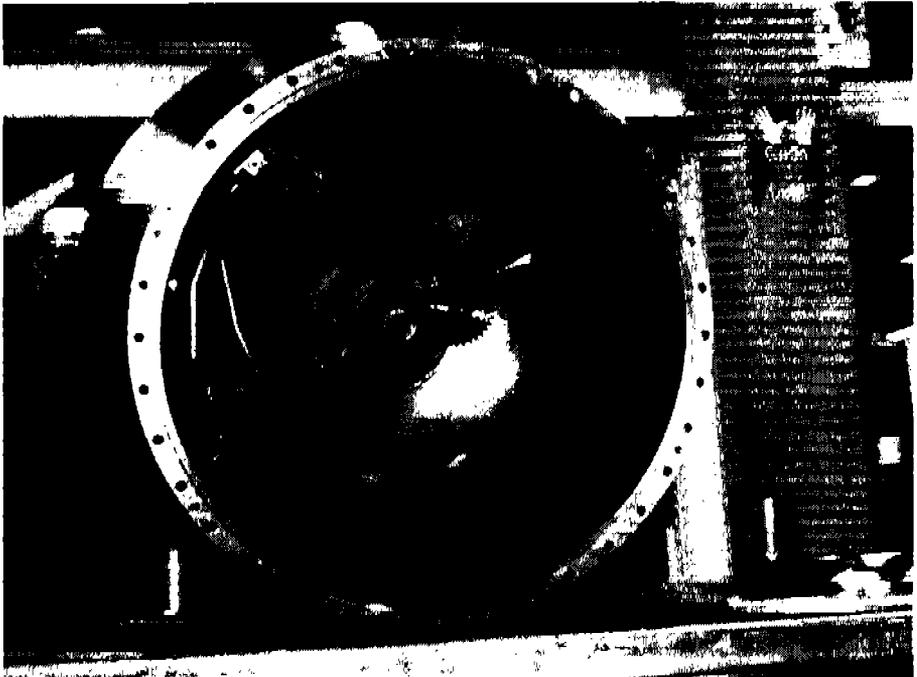
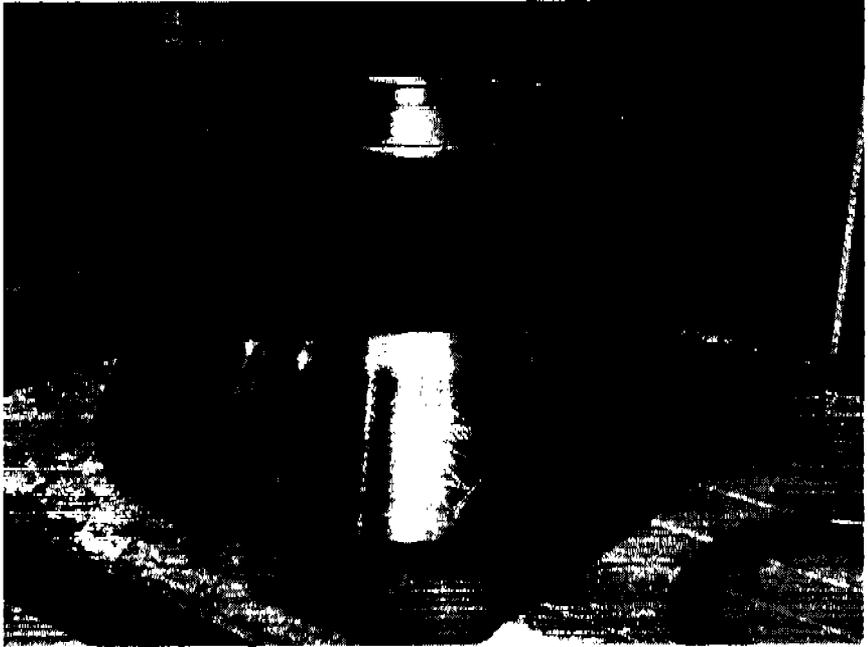
38.- 3pza 572218 espaciador segmento posicionador del segundo paso

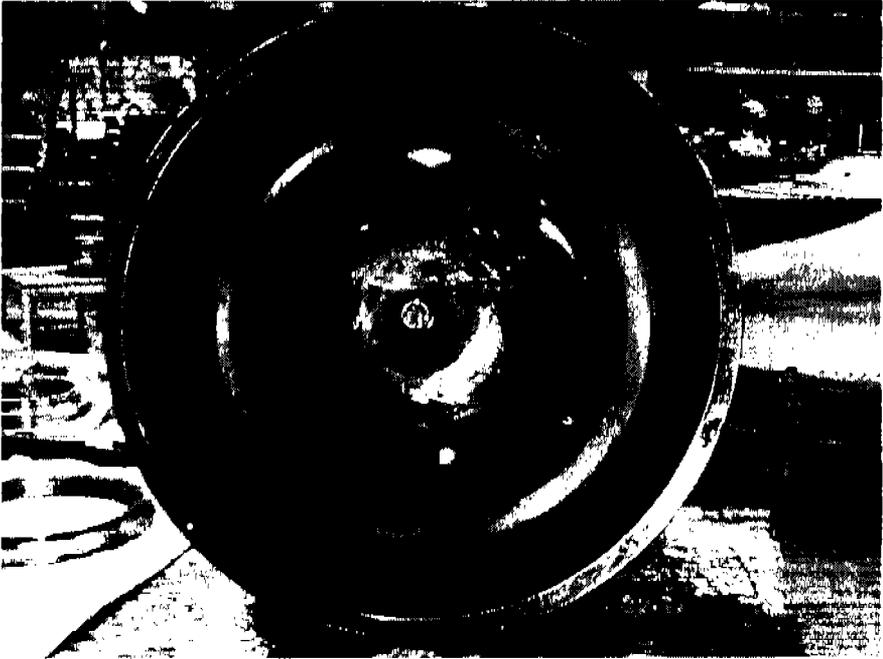
39.- 3 pza 572219 espaciador segmento posicionador segundo paso

40.- 63 pza 491552 clase 9 alabes fijos del segundo paso



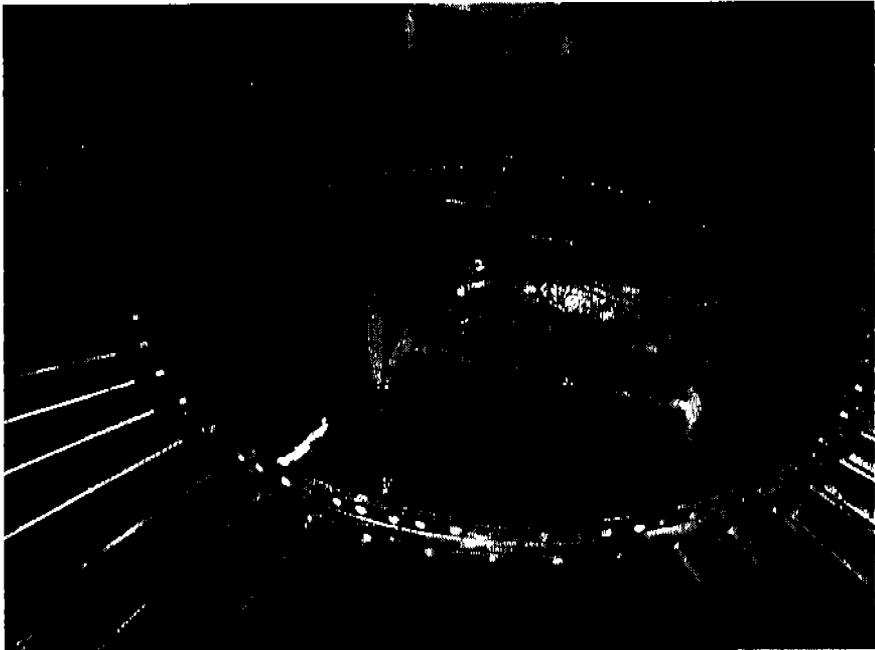
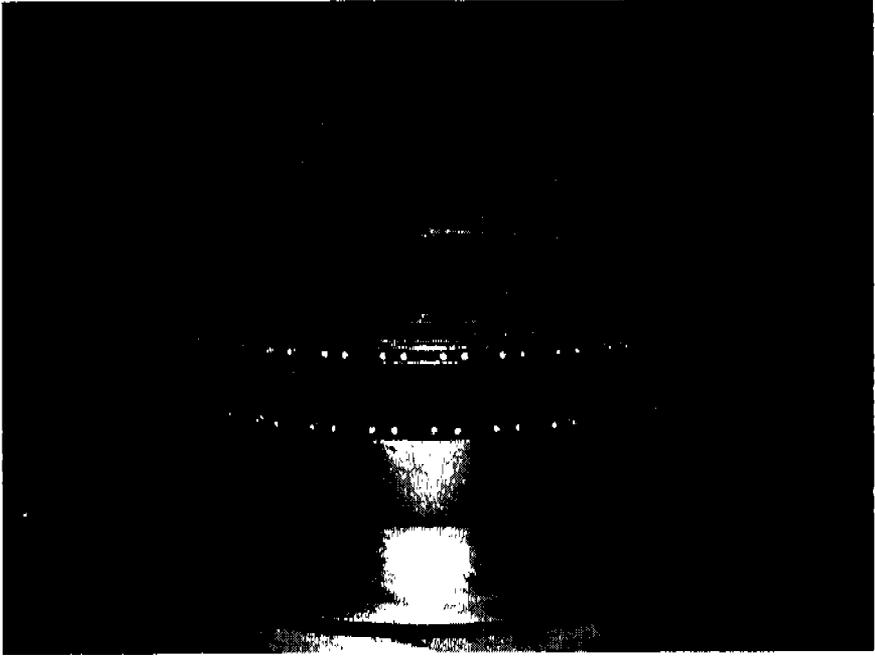


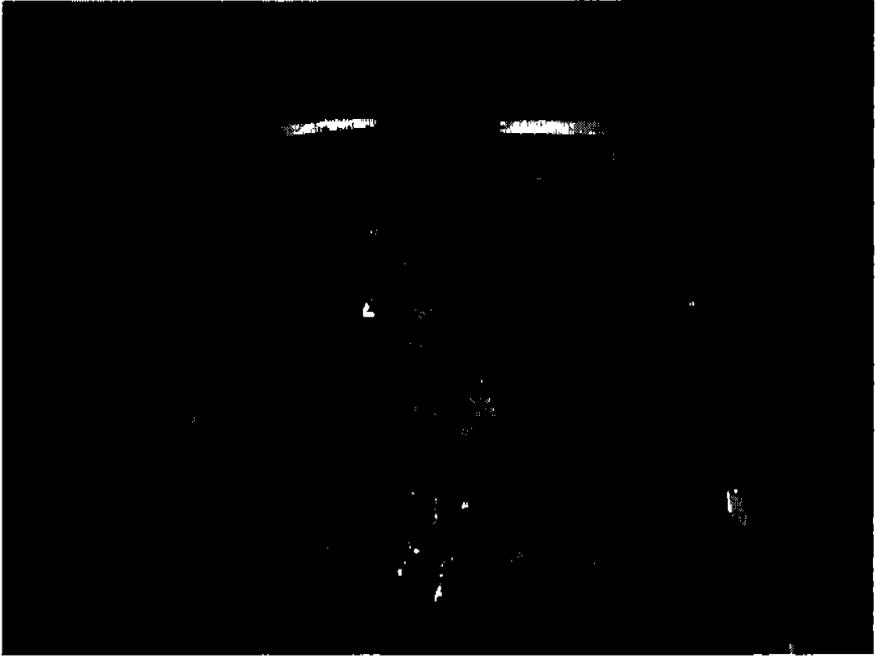




Las siguientes figuras muestran el desensamble de los alabes.







CAPÍTULO IV: MANTENIMIENTO ALABES

4.1.- GENERALIDADES

Los alabes fijos del primer paso están sujetos en condiciones normales de operación a altas temperaturas, corrosión y choque térmico. Así mismo, daños como son las fracturas variadas en la superficie aerodinámica, las cuales son reparadas con técnicas de soldadura de fusión tales como:

	AWS
GAS TUNGSTEN ARC (TIG)	GTAW-MA
GAS METAL ARC (MIG)	GMAW-MA
ELECTRON BEAM	EBW
PLASMA ARC (TRANSFERREDARC)	PAW-MA
LASSER	

Los materiales de los alabes son los siguientes:

FT4A 9-11			
MOVILES	PASO 1-2	AMS 5382	(STELLITE 31)
FIJOS	PASO 1	PWA 652	(WASPALLOY)
	PASO 2	AMS 5382	(STELLITE 31)
FT4C-3			
FIJOS	PASO 1	AMS 5536, 5754	(HASTELLOY X) AMS 5798
	PASO 2	AMS 5794	(N-155 MULTIMET)
	PASO 3	AMS 5794	(N-155 MULTIMET)

En este tema se tratará la reparación del primer paso para los tres modelos de turbina libre, ya que es donde se han obtenido los mejores resultados y sin problema alguno, con una experiencia de 4500 horas para los WASPALLOY y HASTELLOY X, tratándose de aleaciones a base 80/20 NIQUEL/CROMO, donde el principal efecto es el incremento de las propiedades de la tensión a altas temperaturas, donde el más importante es el esfuerzo al "crep" fluencia lenta, es decir, la temperatura de las barras se hace homogénea en un horno y luego se aplica una carga fija a través de un sistema de palancas. El alargamiento se va registrando como función del tiempo. Nótese que se

obtienen mayores tasas de fluencia lenta (pendientes) y tiempos de ruptura más cortos aumentando la carga o la temperatura.

Se conocen tres etapas en la fluencia lenta:

La etapa I, en la cual la fluencia inicial es bastante rápida.

La etapa II, en la cual se obtiene una línea recta.

La etapa III, en la cual la fluencia es nuevamente rápida y ocurre la falla.

En las superaleaciones a base de níquel (ni) requeridas para estos componentes, presentan dificultades en la soldabilidad y, con estas mismas aleaciones con contenido de cobalto (Co), presentan relativamente menos dificultad y esto va a depender de los métodos empleados para la soldadura.

A continuación se presenta la composición química de tres aleaciones. Dos de ellas son de nuestro interés para la reparación y el otro para comparar la dificultad en la soldabilidad.

COMPOSICION QUIMICA %

ALEACION	Ni	CR	Co	C	FE	Ti	AL	Mo	OTROS	DENSIDAD
TEMP.	-300	200	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
HASTELLOY X	BASE	22.0	1.5	.10	18.5	---	---	9.0	.6	.299
	5.7	7.7	7.9	8.1	8.3	8.55	8.8	9.0	9.2	9.4
WASPALOY	BASE	19.5	13.5	.03	---	3.0	1.4	4.0	Zr .08 B .005	.298
	6.0	7.0	7.5	7.7	7.9	8.1	8.4	8.9	9.6	10.4
INCONEL	BASE	14.0	---	.14	---	1.0	6.0	4.5	CB+TA 2.0 B.010 ZR .08	.286
713	7.5	7.7	7.8	8.9	9.4	8.0	8.2	3.4	W 10.1	

1ER. RENGLÓN COMPOSICIÓN NOMINAL (%)

2O. RENGLÓN COEFICIENTE DE EXPANSIÓN (MICRO PUL/PUL/°F)

DENSIDAD (LB/PUL³)

TABLA No. 1

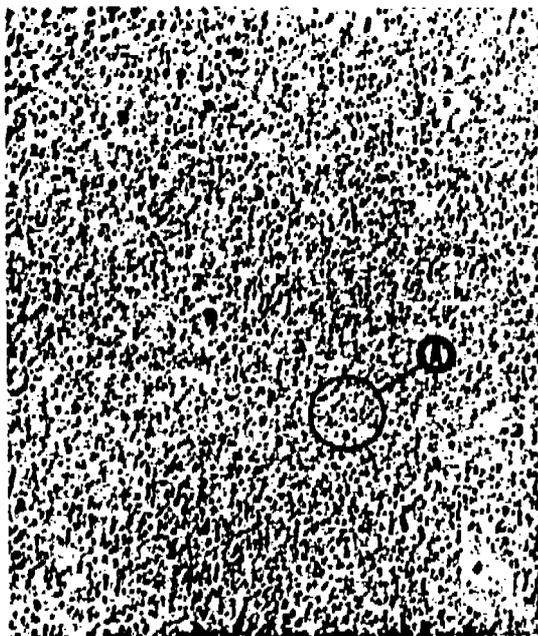
4.2.- SOLDADURA DE FUSIÓN EN LA REPARACIÓN DE ALABES

Existen dos problemas básicos en la soldadura de precipitación-dureza superaleaciones base níquel, y son definidos como sigue:

1.- Fractura por calor: la iniciación de la fractura y propagación durante la solidificación de la soldadura y la secuencia de enfriamiento, aparece en el metal soldado y la zona afectada por el calor es relacionada a la fuerza de contracción térmica del depósito de la soldadura. Otros factores que contribuyen a la fractura en el proceso de soldadura (retroceso del gas inerte, el volumen de la soldadura y aleación, habilidad del soldador), como el nivel de fuerza de otra fuente influenciado por otros componentes y localización de la soldadura.

2.- "Esfuerzos Envejecidos" o Post-Soldado Fractura por Enfriamiento Térmico: este fenómeno ocurre en los esfuerzos residuales contenidos en las aleaciones soldadas y son presentados posteriormente a la soldadura a una exposición térmica en los 1200°F (640.8°C) a 1800°F (982.2°C).

Esto ocurre frecuentemente en los componentes tratados térmicamente que son soldados y, en otros, en los que se hacen un relevado de esfuerzos después de soldados.



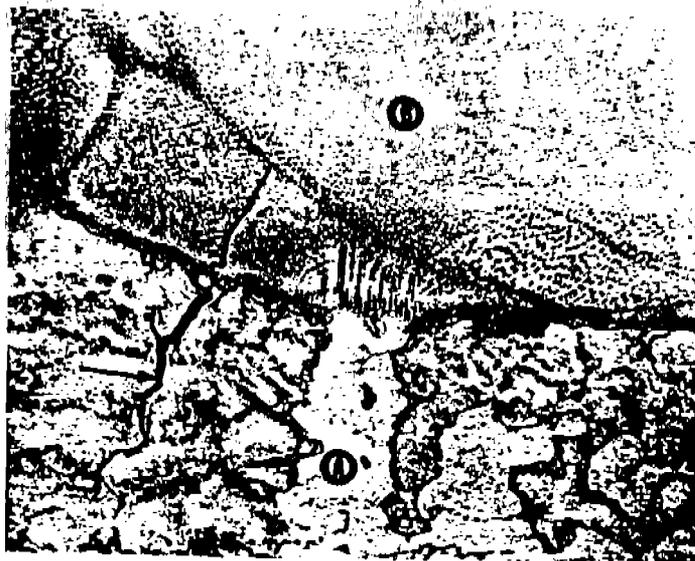
Exposición micrográfica molecular de cantidades y tamaños de esfuerzos precipitados en la aleación del waspaloy, encerrados en el círculo (A) 5500 X.

La fractura ocurre intergranularmente más entre la zona adyacente a la soldadura afectada por el calor, la incidencia de fractura depende del nivel del esfuerzo residual durante la soldadura.

La tendencia para fracturas soldadas por esfuerzos envejecidos es relacionada al nivel de precipitación, fortaleciéndose en la misma aleación.

Las aleaciones de níquel son endurecidas por la precipitación de $Ni_3(Al, Ti)$ en la fase γ y como una regla, la soldabilidad es relacionada con la suma de aluminio y titanio, esto dificulta la reparación de los alabes cuando; $Al + Ti \geq 4\%$, como puede observarse al INCONEL 713 de la tabla No. 1.

Con lo antes mencionado se concluye que la reparación de los alabes del primer paso del modelo FT4C-3 no tendremos problemas, y se ha comprobado, asimismo con los del modelo FT4A 9-11 con ligeros problemas antes mencionados, y en todos los alabes se ha mejorado haciendo circular más aire y con el proceso plasma.



FRACTURA POR ESFUERZO ENVEJECIDO, ESTA OCURRE CUANDO EL METAL BASE Y MATERIAL DE APORTE SON UNIDOS POR SOLDADURA. LA FRACTURA OCURRE EN LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR. 6 X.

4.3.- LIMPIEZA

Ultrasonido y Química

Los productos que se utilizan son los recomendados por el fabricante bajo especificaciones militares, fabricados en México, de los tres productos mencionados a continuación se utiliza para la limpieza de los alabes WYANDOTTE FERLON.

<u>N O M B R E</u>	<u>E S P E C I F I C A C I O N</u>	<u>P N A</u>
TURCO 4338-C	MIL-D-26546, AFD2	PMC-1304
TURCO 4181	MIL-D-26549	PMC-7,1689
WYANDOTTE	FERLON	PMC-2669

El material es mezclado y preparado en la tina del ultrasonido de la forma siguiente:

SOLUCION: REMOCION DE OXIDACION 180 A 360 G/L DE AGUA

TEMPERATURA: 81 A 98°C

TIEMPO: 10 A 15 MIN. (6 ALABES)

NO USAR EN: ALUMINIO, ZINC O ESTAÑO, ALTAMENTE ALCALINO ATACA A ESTOS MATERIALES, CON EL BRONCE UTILIZARLO CON CUIDADO, TANTO EN SU CONCENTRACION TIEMPO Y TEMPERATURA.

EN ALEACIONES CON TITANIO (Ti) NO EXCEDER SU TEMPERATURA Y SOLUCION.

Para los siguientes puntos ver la norma para la ejecución segura del trabajo "ultrasonido, tanques de recirculación y de carbonización, limpieza química con productos alcalinos".

PRECAUCIONES: Equipo de seguridad, toxicidad, primeros auxilios, control químico y neutralización del producto.

Ráfaga de Brisa Abrasiva

La recomendación de ráfagas de brisa abrasiva automática y manual es para alabes fijos y móviles, sellos de aire y cubiertas de ensamble.

La limpieza de los alabes con recubrimiento PWA 47, 73,1 o 273, y aleaciones de níquel, utilizan óxido de aluminio (pmc 3046), malla 240 a una presión de 60 psi para los recubiertos y para los no recubiertos, 70 a 90 psi.

4.4.- INSPECCIÓN

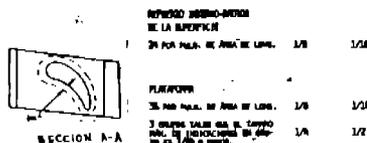
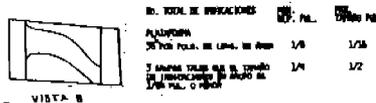
Líquido Fluorescente Penetrante

Utilizar el método por SPOP 82C alta sensibilidad, método A para aleaciones con titanio (Ti) sistema de lavado con agua; descrito por 33 operaciones del STANDARD PRACTICES, volumen 1, sección 70-33, paginas 37 a 40.

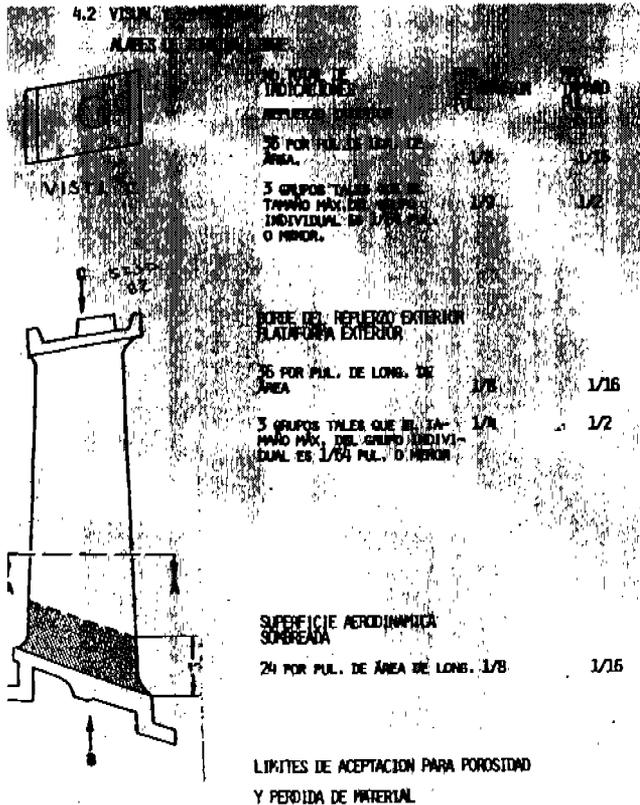
Los materiales recomendados para esta reparación son los siguientes: ZL-22, ZL-30 y 985-P2.

NIVEL DE SENSIBILIDAD	PRODUCTO	EMULSION/ REMOVEDOR	PUNTO DE ELAPA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION
3	ZL 22C	ZE-3, ZE-4B ZR-10A, - ZR-10B, - SKC-4F	200°F 93°C	MIL-I-25135 REVC	ALTA SENSIBILIDAD
4	ZL 30A	ZE-3, ZE-4B ZR-10A, - ZR-10B, - SKC-4F	200°F 93°C	MIL-I-25135 REVC	ULTRA ALTA SENSIBILIDAD

Con esta inspección se pondrá atención particular a la pérdida de material, sedimentos, o porosidad (macro o micro), en las áreas especificadas y no excediendo de los límites aceptados, indicaciones menor de 0.015 pulg. de diámetro, evidentemente separados hacer caso omiso, indicaciones lineales no son aceptadas. Indicaciones menores de 1/64 pulg., a través de la superficie en grupos o lineales, hacer caso omiso.



LÍMITES DE ACEPTACIÓN PARA POROSIDAD Y PERDIDA DE MATERIAL.



Radiografía y Terminología

La potencia de penetración de los rayos x es utilizada para revelar en el interior de los objetos la presencia de discontinuidad.

El estándar de seguridad por "AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE" (ANSI) Z54.1 para rayos x y gamma.

TERMINOLOGÍA

1. Área de soldadura
2. Limite de aceptación del ensamble soldado
3. Longitud de la junta soldada
4. Fractura de la soldadura de aporte
5. Fractura

6. Fractura fría (fractura por esfuerzo o fractura por fatiga)
7. Densidad
 - Densidad del material - Peso/Vol.
 - Densidad fotográfica
 - Densidad radiográfica, moderadamente baja, baja, moderadamente alta y alta.
8. Material dañado
9. Cavidad de gas
10. Imperfección de altura en función de las densidades
 - Poco profundo (de un cuarto de la sección del espesor)
 - Medio profundo (de un cuarto a un medio de la sección del espesor)
 - Profundo (más de un medio de la sección del espesor)
11. Grupo de imperfección
 - a) Clasificación
 - b) Altura
 - c) Longitud
 - d) Área
12. Inclusión (sustancia encerrada, gas o sólido dañado)
13. Fusión incompleta
14. Penetración incompleta
15. Alineación
16. Imperfección lineal
17. Fractura múltiple (ocurre durante la soldadura)
18. Película estándar
19. Fractura por esfuerzo de corrosión (o cierre espontáneo bajo la combinación de esfuerzo y corrosión) difícil de detectar en radiografía
20. Imperfección por radiografía
21. Oquedades
22. Límite aceptable en el ensamble sellado

Reparación de Alabes Fijos (1° Paso Modelo FT4A 9-11)

Suavizado (Blending)

Sección aerodinámica, excepto el área del borde de salida, puede ser suavizada a toda la longitud del espesor mínimo de pared, es mantenido después de la reparación del suavizado.

a) Borde de entrada 0.130 pulg. Máxima profundidad de mella o abolladura, después del suavizado debe ser 0.075 pulg.

b) La superficie aerodinámica 0.060 pulg. Máxima profundidad de mella o abolladura, después del suavizado debe ser 0.040 pulg. Medio espesor de pared debe ser 0.100 pulg.

Cualquier borde de entrada de área suavizada no cubrirá más de una pulgada cuadrada y otra área adyacente suavizada debe ser separada por otra del tamaño equivalente en área suavizada.

c) El borde de salida suavizada no será reducida en su longitud por más de 0.175 pulgada, el área suavizada será extendida en no más de 1.500 pulg.

TABLA 5.2.1

<u>AREA</u>	<u>MAX.PROFUNDIDAD</u>	<u>NUMERO MAXIMO</u>	<u>ESPACIOS MINIMOS ENTRE SUAVIZADOS</u>
1	.030 PUL.	5 CADA LADO	.500 PUL.
2 y 3	.030	3	.500
4	.125	2	.500
5	.250	2	.500
6 y 7	.060	5	.500

Notas:

1. Los espacios suavizados no se permiten en línea recta.
2. En el borde de salida, arco permitido de 0.200 pulg. máx.
3. Borde de entrada y salida, en la longitud debe ser 4 veces la profundidad y terminación terso.
4. La superficie aerodinámica y suavizada de plataformas, los radios deben ser 4 veces la profundidad.
5. Utilizar proceso TIC o PLASMA para las dos aleaciones.

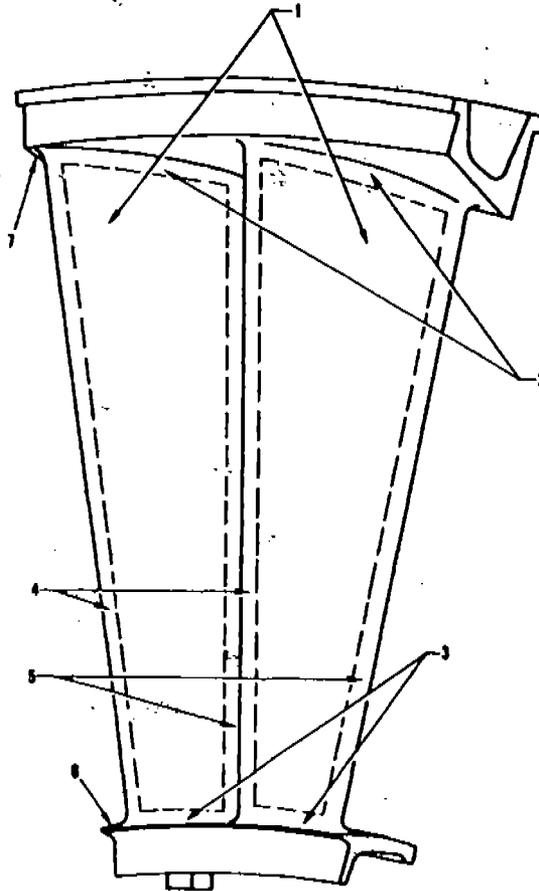


FIG. 5.2.1.

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1.- SUPERFICIE AERODINAMICA | 4.- BORDE DE ENTRADA |
| 2.- DIAMETRO EXTERIOR DEL FILETE ARRIBA DE .500 PUL. DE LA PLATAFORMA Y SUPERFICIE AERODINAMICA. | 5.- BORDE DE SALIDA |
| 3.- DIAMETRO INTERIOR DEL FILETE ARRIBA DE .500 PUL. DE LA PLATAFORMA Y SUP. AERODINAMICA | 6.- DIAMETRO INTERIOR PLATAFORMA |
| | 7.- DIAMETRO EXTERIOR PLATAFORMA |

Relevado de Esfuerzos

Para el primer paso modelo FTA4 9-11, utilizar un horno de atmósfera controlada con Hidrógeno, Argón o Aire.

Ciclo No. 1 (SPOP 455-2):

- a) Introducir la pieza en el horno frío.
- b) Calentar a 600 °F (316 °C) y mantener por 30 minutos.
- c) Incrementar a 800 °F (427 °C) y mantener por 30 minutos.
- d) Incrementar a 1015° ± 35 °F (546° ± 8 °C) y mantener por 2 horas.
- e) Enfriar a 500 °F (260 °C) bajando máximo 100 °F (56 °C) cada 15 minutos.
- f) Al llegar a 500 °F (260 °C) dejar enfriar por si solos los alabes dentro del horno hasta una temperatura de 212 °F (100 °C).
- g) Sacar los alabes del horno y dejar enfriar a temperatura ambiente.



FIG. 5.3.2.

PREPARACION DEL ALABE PARA SU REPARACION CON INSERTOS,
EN AREAS CON FRACTURAS EN EL BORDE DE SALIDA.

TABLA 5.3.2

RECOMENDACIONES PARA REPARACION DE ALABES FIJOS PARA TURBINAS

VARIABLE	ALEACION DE LA SOLDADURA	
	WASPALLOY HASTELLOY X	INCO 7-13
PRECALENTAR	NO SE REQUIERE PARA PARA ESTAS ALEACIONES	DESEABLE PARA JUNTAS CAUSANDO ALTOS ESFUERZOS EN LA SOLDADURA Y DONDE EL MATERIAL DE APORTE ES EMPLEADO
NO PRECALENTAR	RECOMENDADO	RECOMENDADO PARA LA MAYORIA DE LAS SOLDADURAS APLICADAS
METAL BASE ALAMBRE DE APORTE	RECOMENDADO SIN PROBLEMAS DE FRACTURA	REQUERIMIENTOS SOLAMENTE PARA SOLDADURAS EN AREA DE ALTO ESFUERZO, DONDE TODO EL ESFUERZO DEL MATERIAL BASE SE NECESITA,
ALEACION DISIMIL ALAMBRE DE APORTE	NO SE REQUIERE PARA ESTA ALEACION	RECOMENDADA PARA MAYORES REPARACIONES SOLDADAS.
CAMARA DE ATMOSFERA CONTROLADA EN LA SOLDADURA	NO SE REQUIERE	SI SE REQUIERE

Inspección de Líquido Penetrante Fluorescente

La inspección del penetrante fluorescente es un medio no destructivo para inspeccionar materiales y partes para discontinuidades e imperfecciones de superficie. Los procedimientos de inspección penetrante fluorescente descritos en esta sección, están basados en el uso de, ya sea penetrantes fluorescentes lavables con agua, o post emulsificables que requieren el uso de emulsificadores separados. Ambos tipos de penetrantes pueden ser usados para aplicaciones tanto normales como de alta sensibilidad.

Las partes que han sido procesadas de acuerdo con uno de los Procedimientos de Servicio de Procesos de Operación (SPOP) deberán ser inspeccionados, y el número, naturaleza, y extensión de los defectos encontrados deberán ser tabulados. Los inspectores deberán estar completamente entrenados, especialistas capaces de evaluar correctamente las indicaciones y de decidir si las partes son las indicadas para prestar más servicio, requieren reparación, o deben ser rechazadas.

Estas instrucciones no deberán remplazar sino complementar los procedimientos regulares de inspección visual.

Descripción: El funcionamiento satisfactorio de los procesos fluorescentes penetrantes, depende de los defectos que se abran a la superficie para permitir la penetración del penetrante. Por lo tanto, es esencial que la superficie esté meticulosamente limpia, y todos los deshechos alrededor de la discontinuidad deben ser sacados.

La parte limpia, es entonces, inmersa en o rociada con el penetrante. Las partes empapadas o rociadas de penetrante, son entonces drenadas. El exceso de penetrante es sacado lavando con agua solamente o por medio de la aplicación de un emulsificador (solución) aparte, seguido de un lavado con agua. Entonces, la parte es sacada, generalmente por la aplicación de aire seco tibio, seguido de la exposición a un revelador seco. El revelador separa el penetrante de los defectos, haciéndolos plenamente visibles, cuando son vistos bajo la luz infrarroja.

Se refieren dos tipos de emulsificadores en las SPOPs. Uno (típico, 9PR4) puede ser definido como lipofílico en naturaleza, el emulsificador y penetrante, siendo mutuamente insolubles. El otro, (típico 9PR4) es conocido como una solución penetrante emulsificante hidrofílica. Los dos difieren en el balance hidrofílico/lipofílico de sus sistemas agentes activos sobre superficie, lo cual es más alto en el tipo hidrofílico. Puesto que el penetrante y el emulsificador de tipo hidrofílico son mutuamente insolubles, el periodo de emulsificación es menos crítico, y es menos probable que el defecto sea quitado por defecto superficial. Indicadores de brillantez máxima también son posibles con una solución hidrofílica, ya que no hay dilución de un penetrante en un defecto.

Método de Inspección de Líquido Penetrante Fluorescente

Cuatro procedimientos generales SPOPs, han sido utilizados para detectar defectos en partes, mismos que ocurren durante el servicio. Todas las partes que requieren de inspección de penetrante fluorescente, están listadas en el Manual Overhaul de Motores con el SPOP. por el cual, cada parte debe ser inspeccionada. Cuando es necesario, se señalan excepciones a los procedimientos regulares de inspección. Las superficies que requieren de atención particular son: agarraderas, patrones, redes, soportes, rebordes, hombros, ranuras, soldaduras y hechuras especiales.

1. Llene una tercera parte del volumen de operación del tanque con PMC 9408, emulsificador hidrofílico.
2. Agregar la cantidad requerida de emulsificador y mezclar completamente.

3. Cuando sea necesario, el nivel de operación deberá ser mantenido agregando emulsificador a la solución en una proporción de 4 partes de agua por una de emulsificador.

(c) Solución Emulsificadora Hidrofilica 643.

Material	Hechura
Emulsificador Hidrofilico (PMC 9411)	30-35% por volumen
Agua	65-70% por volumen

1.- Llenar 1/3 del volumen de operación del tanque con emulsificador PMC 9411.

2.- Llenar el resto del volumen de operación del tanque con agua limpia.

3.- Cuando sea necesario, el volumen de operación será mantenido agregando emulsificador a la solución, en una proporción de 2 partes de agua por una de emulsificador.

4.- En cada sistema de emulsificador penetrante, el penetrante y la solución emulsificadora deben ser usados solo como un grupo familiar, esto es: Procurar que el emulsificador y su penetrante sean del mismo fabricante. La sensibilidad puede reducirse si estos materiales son de manufactura mezclada al punto de uso.

Equipo y Materiales

A) Materiales

Los materiales pueden obtenerse de diferentes fuentes. Los Materiales listados aquí, han sido encontrados satisfactorios y son usados en las SPOPs presentados en esta sección.

N del T: La traducción posible de las palabras de esta hoja se hicieron directamente; las compañías y las direcciones, de ser usadas, se usan en la misma forma en que vienen presentadas.

B) Equipo

El equipo que es designado para cubrir las necesidades de este tipo de inspección, puede ser obtenido de varias fuentes. En algunas circunstancias pueden usarse el fabricado localmente o para propósito general.

Para inmersión o métodos de aplicación de penetrante en rocío, o inmersión, solamente se requiere una cabina con escape, lo suficientemente grande para acomodar la parte más grande a ser inspeccionada. La aplicación del penetrante, lavado con agua fría, secado y aplicación del revelador seco, son completados dentro de una cabina. También están disponibles sistemas de rocío electrostático convenientes para aplicar lavado del penetrante fluorescente con agua fría directamente de un tambor recibido, entre otras, de las siguientes fuentes. (Pag.4, direcciones que no se traducen).

Un enjuague con rocío de agua o un tanque para baño capaz de entregar agua a temperaturas desde 55° F (13° C) y tan caliente como de 140° F (60° C) son necesarios, dependiendo de los requerimientos de los materiales usados.

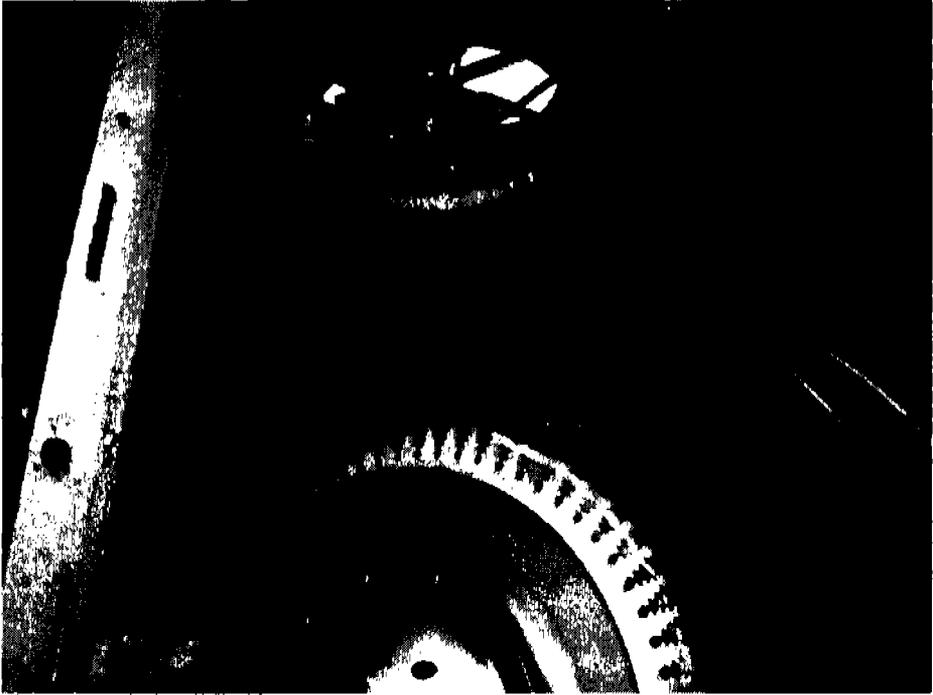
Un horno de secado con características de aire tibio recirculante, termostáticamente controlado, o una cabina con escape, son necesarios para secar las partes.

Se requiere un medio para aplicar el polvo revelador seco, y generalmente toma la forma del tan llamado "gabinete de polvo".

Una lámpara conveniente ultravioleta (de luz negra) es una lámpara proyector de mercurio Westinghouse o General Electric No. CH4 (de spot) o EH4 (inundación), que usa un filtro KOPP No. 41 o su equivalente. Un reactor transformador debe ser usado entre la lámpara y la fuente de corriente de 110 v. Otra lámpara de luz ultravioleta conveniente es la Hanovia modelo 16, que se obtiene de Engelhard-Hanovia, LTD., Bath Road, Sloughs, Bucks, England.

NOTA: Con frecuencia es conveniente instalar luz del tipo ultravioleta grande de inundación, la cual, aunque inferior a la lámpara del tipo de mano, puede ayudar a la inspección de partes grandes antes de la inspección local con una lámpara.





Conclusiones:

En el transcurso de los capítulos anteriores pudimos observar las diferentes etapas del proceso de mantenimiento a los alabes fijos de una turbina el cual debido a su complejidad solo se realizaba en el extranjero como en estados unidos y Europa pero la compañía de luz y fuerza a implementado este proceso en sus instalaciones lo cual hace que el taller mecánico de lechería sea el único en América latina en realizar este proceso dando así un gran avance en tecnología y disminuyendo los costos de reparación de las turbinas que se utilizan en esta misma.

Tal es el éxito de el mantenimiento que se realiza a los alabes de las turbinas en la compañía de luz y fuerza que algunas empresas privadas mandan sus piezas para ser reparadas en el taller mecánico de la compañía de luz

Debido al ahorro en el costo del mantenimiento y a la calidad con el que este se realiza el taller mecánico de lechería de compañía de luz es reconocido a nivel nacional

La reducción de costos y la rapidez con la que se reparan y se da mantenimiento a los alabes es otra gran ventaja que ha desarrollado el taller de lechería puesto que las piezas se mandaban al extranjero para ser reparadas, el costo era elevado y el tiempo que se demoraban en repararlas y enviarlas de vuelta era muy prolongado.

Así mismo el taller ha diseñado herramientas especiales y ha implementado procesos únicos en la reparación y mantenimiento de los alabes creados por los ingenieros que trabajan en este taller.

En busca de mejorar y de reducir los costos y el tiempo que tarda las reparaciones de las piezas descritas se siguen investigando los procesos tratando de innovar en la rapidez mejora de estos.

BIBLIOGRAFÍA:

ILLUSTRATED PART CATALOG
PRATT & WHITNEY 2005

OVERHAUL STANDAR PRACTICES MANUAL
PRATT & WHITNEY AIRCRAFT 2005

MECÁNICA DE FLUIDOS
CLAUDIO MATAIX
EDITORIAL: OXFORD UNIVERSITY PRESS

TURBINAS TÉRMICAS
JOSÉ LORENZO GUTIÉRREZ DE ROZAS SALTERAIN
EDITORIAL: UNBE