



**Universidad Nacional
Autónoma de México**



V N A M

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"CUAUTITLÁN"**

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA
TURBINA DE GAS MCA. SOLAR MOD.
CENTAURO PARA APLICACION
A ESTACIONES DE REBOMBEO
DE HIDROCARBUROS.**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
LUIS PEDRO CUEVAS MARTINEZ**

MEXICO, D. F.

1988

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

B
29
J



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

INDICE GENERAL

CAPITULO I

GENERALIDADES

HOJA
NO.

1.a)	Introducción	1
1.b)	Síntesis histórica	2
1.c)	Tendencias actuales de la turbina de gas	11
1.d)	Clasificación de las turbo máquinas.	13
1.d.I)	Clasificación de las turbinas de gas	15
1.e)	Aplicación de la turbina de gas Mca. Solar Mod. -- Centaurus en una estación de rebombeo de hidrocarburos	18

CAPITULO II

DESCRIPCION DE LA TURBINA DE GAS

2.a)	Introducción	21
2.b)	Componentes principales.	21
2.b.I)	Componentes externos de la turbina de gas.	23
2.c)	Análisis termodinámico	25
2.d)	Funcionamiento de las turbinas de gas.	29
2.d.I)	Conjunto de impulsión de los accesorios.	31
2.e)	Descripción de los componentes básicos de la turbi na de gas.	33
2.e.I)	Compresor.	33
2.e.II)	Cámara de combustión	35
2.e.III)	Generador de gases	37

	HOJA NO.
2.e.IV) Turbina de potencia.	39
2.f.) Datos técnicos de la turbina de gas.	40
2.f.I) Especificaciones de la turbina de gas.	41
2.f.II) Parámetros de operación.	42
2.f.III) Requerimientos del gas combustible	44
2.f.IV) Curvas de rendimiento.	46
2.g) Sistema de arranque neumático.	52
2.g.I) Funcionamiento del sistema	54
2.g.II) Descripción de los componentes del sistema . . .	56
2.h) Sistema de gas combustible	60
2.h.I) Funcionamiento del sistema	60
2.h.II) Descripción de los componentes del sistema . . .	63
2.i) Sistema de aceite.	70
2.i.I) Sistema de aceite lubricante	70
2.i.II) Funcionamiento del sistema lubricante.	70
2.i.III) Sistema de aceite hidráulico	72
2.i.IV) Sistema de servoaceite	74
2.i.V) Descripción de los componentes del sistema de -- aceite	74
2.j) Sistema de aire.	77
2.j.I) Aire de combustión	77
2.j.II) Aire presurizante de sellos de aceite de la tur- bina de gas.	77
2.j.III) Aire de enfriamiento de la turbina de gas. . . .	80
2.j.IV) Aire de enfriamiento de las toberas.	82
2.j.V) Descripción de los componentes del sistema de <u>ai</u> <u>re</u>	84

CAPITULO III

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA TURBINA DE GAS	HOJA NO.
3.a) Introducción	87
3.b) Def. de mantenimiento preventivo	87
3.c) Factores que afectan el funcionamiento de la tur bina de gas.	89
3.d) Inspección de la turbina de gas.	91
3.d.I) Tipos de inspección.	92
3.e) Programas de mantenimiento preventivo a la turbi na de gas.	93
3.e.I) Programa de mantenimiento preventivo antes de la operación.	93
3.e.II) Programa de mantenimiento preventivo a las 750 - horas de operación	103
3.e.III) Programa de mantenimiento preventivo para la tur bina de gas a las 2 500 horas de operación . . .	107
3.e.IV) Programa de mantenimiento preventivo para la tur bina de gas a las 4 500 Horas de operación . . .	111
3.e.V) Programa de mantenimiento preventivo para la tur bina de gas a las 10 000 horas de operación. . .	115
3.e.VI) Programa de mantenimiento preventivo para la tur bina de gas a las 15 000 horas de operación. . .	120
3.e.VII) Mantenimiento preventivo de inspección mayor a - las 20 000 horas de operación.	127
3.e.VIII) Descripción de operaciones en el taller de mante nimiento	138

CAPITULO IV
ESTIMACION DEL COSTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
DE LA TURBINA DE GAS

		HOJA NO.
4.a)	Introducción	141
4.b.)	Costo del programa de mantenimiento preventivo - de operación	142
4.c)	Costo del programa de mantenimiento preventivo a las 750 horas de operación	143
4.d)	Costo del programa de mantenimiento preventivo a las 2 250 horas de operación	144
4.e)	Costo del programa de mantenimiento preventivo a las 4 500 horas de operación	145
4.f)	Costo del programa de mantenimiento preventivo a las 10 000 horas de operación.	146
4.g)	Costo del programa de mantenimiento preventivo a las 15 000 horas de operación.	147
4.h)	Costo del programa de mantenimiento preventivo - de inspección mayor a las 20 000 horas de opera- ción	148
4.h.I)	Costo de refacciones	149
4.h.II)	Costo de servicios foráneos.	150

CAPITULO V

Conclusiones	153
Bibliografía	155

INDICE GENERAL DE FIGURAS.

	HOJA NO.
Fig. 1 Clasificación de las turbo máquinas.	14
Fig. 1.2 Clasificación de las turbinas de gas	17
Fig. 1.3 Estereografía de ductos y estaciones de rebombeo	20
Fig. 2.1 Principales conjuntos y procesos de la turbina - de gas	22
Fig. 2.2 Vista de los componentes externos de la turbina- de gas	24
Fig. 2.3 Diagrama de transferencia de potencia de la T.G.	25
Fig. 2.4 Diagrama de los planos P-V y T-S	26
Fig. 2.5 Conjunto de impulsión de accesorios.	31
Fig. 2.6 Conjunto del compresor y admisión de aire. . . .	34
Fig. 2.7 Cámara de combustión	36
Fig. 2.8 Generador de gases	38
Fig. 2.9 Conjunto de turbina de potencia y sección de es- cape	39
Fig. 2.10 Máximo régimen continuo y consumo de gas combus- tible utilizando gas natural como combustible.	48
Fig. 2.11 Factores standar de corrección de altitud. . . .	51
Fig. 2.12 Efectos de la pérdida de presión en los conductos de entrada y salida.	52
Fig. 2.13 Instalación del sistema de arranque neumático. .	53
Fig. 2.14 Válvula de cierre de suministro de los motores - de arranque.	56
Fig. 2.15 Motor de arranque neumático y engranaje.	58
Fig. 2.16 Diagrama del sistema de arranque neumático . . .	55

Fig. 2.17	Instalación del sistema de arranque neumático. . .	62
Fig. 2.18	Inyectores y múltiple de gas combustible	64
Fig. 2.19	Quemador	66
Fig. 2.20	Articulación del servo actuador y de la válvula del acelerador	68
Fig. 2.21	Diagrama esquemático del sistema de gas combusti ble.	69
Fig. 2.22	Instalación de los sistemas de aceite lubricante aceite hidráulico y servoaceite.	73
Fig. 2.23	Diagrama del flujo de aire presurizante de los - sellos de aceite de la turbina	79
Fig. 2.24	Diagrama del flujo de aire enfriador de la turbina na	81
Fig. 2.25	Diagrama del flujo de aire enfriador de las tobe ras.	83
Fig. 2.26	Válvula de purga de aire del compresor	85
Fig. 2.27	Diagrama de recorrido de actividades correspon-- dientes a la distribución de las operaciones pa-- ra la reparación de T.G.	139
Fig. 2.28	Diagrama de operaciones.	140

ABREVIATURAS

Abs	Absoluto.
Atm	Atmósfera.
Btu	Unidad térmica británica.
Btu/hr	Unidades térmicas británicas por hora.
°C	Grados centígrados.
Cfm	Pies cúbicos por minuto.
°F	Grados fahrenheit.
N	Newton.
N/m ²	Pascal (Newton por metro cuadrado)
Ngp	Velocidad de la turbina gasógena.
Npt	Velocidad de la turbina de potencia.
Pcd	Presión de descarga del compresor.
Psi	Libras por pulgada cuadrada.
Psia	Presión absoluta en libras por pulgada cuadrada.
Psig	Presión efectiva en libras por pulgada cuadrada.
rpm	Revoluciones por minuto.
Scf	Pies cúbicos.
Scfm	Pies cúbicos por minuto.
T1	Temperatura del aire de entrada (admisión).
T5	Temperatura en la tercera etapa de toberas.
T7	Temperatura del gas de escape.

CAPITULO I
GENERALIDADES

1.a) INTRODUCCION: En la actualidad Petróleos Mexicanos, para transportar los hidrocarburos de los centros de explotación, hacia las diferentes refinerías, a saber, Tula, Hgo., Atzacapotzalco, D.F. y Salamanca, Gto., lo efectúa por la potencia del eje de salida de la turbina de gas marca Solar mod. Centauro, para accionar una bomba centrífuga de dos pasos para efectuar dicho transporte.

Uno de los problemas más importantes a los que se enfrenta esta empresa paraestatal, es la falta de mano de obra nacional calificada para poder aplicar eficientemente los programas de mantenimiento a la turbina de gas.

Debido a esta eventualidad, son técnicos extranjeros de la empresa fabricante de esta máquina, los que vienen a efectuar el mantenimiento de las unidades, impidiendo el desarrollo tecnológico de nuestros técnicos, provocando además la fuga de divisas que sufre nuestro país anualmente, debido al alto costo de mantenimiento. Actualmente Pemex cuenta con 369 turbinas de gas de esta marca y modelo.

1.b) SINTESIS HISTORICA.

En uno de sus muchos ensayos, el gran científico-estadista Benjamin Franklin dijo, el hombre es un animal constructor de herramientas, esto es, según dijo, - la habilidad para fabricar herramientas, es lo que lo distingue de los demás.

Los orígenes de la vasta multitud de máquinas actuales, se puede encontrar en las herramientas e implementos desarrollados en el principio de la historia por el hombre.

La única herramienta disponible por el hombre primitivo eran sus propios músculos. Las primeras máquinas desarrolladas por el hombre fueron: la palanca, el plano inclinado, la cuña y la rueda.

El primer hombre que sintetizó las máquinas simples y propuso una teoría de funcionamiento, fué Arquímedes de Siracusa (287-212 A.C.), él fué el que desarrolló el estudio de las palancas, y entre sus grandes inventos destacan algunos dispositivos de guerra para hundir las naves romanas que sitiaron Siracusa.

En el siglo II A.C. Euclides desarrolló la primera turbina de reacción y que él llamó AELOPILE, que convertía el calor en energía mecánica mediante el uso del vapor. Esta máquina nunca pasó de ser un juguete, pues nunca se utilizó para accionar nada y únicamente producía la potencia necesaria para moverse así misma. Sin -

embargo, fué la primera máquina térmica que registre la historia; y fué en el siglo XVII D.C. que se desarrollaron nuevas máquinas térmicas.

El francés Denis Papin (1647-1714), desarrolló -- una máquina de vapor para bombear agua a las fuentes de Versalles.

El inglés Thomas Savery (1650-1715), patentó una máquina de vapor para bombear agua fuera de las minas, pero era demasiado ineficiente, a esta máquina le llamó "LA HORMIGA AMIGA DEL MINERO".

En 1760 el inglés James Watt, quien trabajaba en la Universidad de Glasgow, recibió el encargo de reparar un motor de vapor, pero al analizarlo se dió cuenta de que una de las causas de que el motor consumiera --- grandes cantidades de vapor para trabajar, aún cuando era el aire atmosférico el que en realidad efectuaba el trabajo, Watt se dió cuenta que el problema era, que el cilindro tenía que calentarse cuando entraba el vapor para desplazar el pistón en un sentido, y a continuación debía ser enfriado nuevamente hasta que se condensara el vapor y se originara un vacío que permitiera al aire desplazar al pistón en sentido contrario.

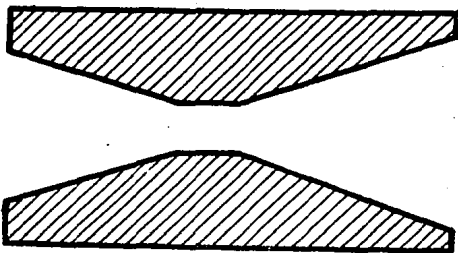
La solución que se le ocurrió a Watt, fué condensar el vapor en un cilindro separado y aislar el cilindro caliente, con lo cual el ahorro en vapor consumido sería considerable, ya que no había necesidad de calen-

tar y enfriar el cilindro.

En 1769 patentó su idea y en 1775 él y el industrial Matthew Boulton formaron la Compañía BOULTON & WATT, la cual fué la primera en el mundo en fabricar motores primarios a escala industrial.

El primero en producir movimiento rotatorio mediante el uso del vapor fué Carl Gustav.

Patrik de Laval (1845-1913), quien desarrolló una turbina de vapor de reacción que funcionaba con el mismo principio que la de Herón, sin embargo, pronto abandonó este modelo y se concentró en el principio de acción, en el cual un chorro de vapor incide en una paleta y la empuja produciendo trabajo. Al trabajar en este principio, Laval descubrió que una forma de aumentar la energía cinética del chorro de vapor, era haciendo pasar flujo a través de un conducto que sufría una disminución en el área de flujo, y luego un aumento en la misma, como se muestra.



Con lo cual se lograba acelerar el flujo a altas velocidades, a este dispositivo se le conoce como tobera de Laval.

Otro inglés, Sir Charles Parson (1854-1931), desarrolló una turbina de vapor, en la cual el flujo era axial y constaba de 14 pasos. En 1890 la Compañía Parson construyó la turbina de vapor más grande del mundo en ese momento para la estación eléctrica de Elberfeld en Alemania, con una capacidad de 1000 Kw.

En 1895 el norteamericano Charles Gordon Curtis (1860-1953), patentó una turbina que combinaba los principios de acción y reacción, y se asoció con la General Electric Co., para desarrollar turbinas de vapor; en 1903 completaron una turbina de 5000 Kw.

En Francia Auguste Rateau (1863-1938), desarrolló lo que se conoce como turbina de pasos múltiples, la cual patentó en 1896. Rateau dividió la expansión del vapor en varios pasos sucesivos, lo que significa que la caída de presión en cada paso era menor sucesivamente, y esto permitía al rotor de la máquina, girar más despacio.

El mismo tiempo que se obtenía los anteriores desarrollos en las máquinas de vapor, otros Ingenieros empezaron a especular sobre nuevos métodos de utilizar el calor para producir trabajo; el primero en diseñar un motor que funcionaba con aire caliente, fué el inglés

Sir George Cayley, sin embargo nunca llegó a construir un prototipo y en 1827 el monje escocés Robert Stirling, hizo el primer intento práctico de llevar a cabo las ideas de Cayley y construyó un motor que funcionaba con aire caliente. Estos motores de aire caliente son conocidos como de combustión externa, ya que la combustión se efectúa fuera de la máquina y calienta a una sustancia de trabajo mediante un intercambiador de calor, --- siendo esta sustancia la que efectúa el accionamiento de la máquina, esto es, los productos de la combustión calientan a una sustancia de trabajo sin mezclarse con ella.

Sin embargo, también empezaron a desarrollar otro tipo de motores, en los cuales los productos de la combustión, es la misma sustancia de trabajo, y a estas máquinas se les llamó "Motores de Combustión Interna".

En Alemania Nicolas August Otto (1832-1891), fue quien realmente desarrolló este tipo de motores, que al darse cuenta de la gran potencialidad del motor de combustión interna, se abocó a rediseñar los modelos existentes, logrando mejorarlos y fabricarlos en escala comercial.

Otro alemán, Rudolf Diesel (1858-1913), inventó en 1897 un motor que quemaba un combustible pesado y tenía una eficiencia mayor que los motores existentes de combustión interna; y poco después ya se fabricaban en gran escala por Compañías como M.A.N. y Sulzer en Euro-

pa y la Diesel Motor Co. en Estados Unidos.

En el presente siglo otro alemán Félix Wankel, -- desarrolló un motor de combustión interna de cuatro --- tiempos, en el cual el pistón y el cilindro se han sustituido por un rotor que se mueve dentro de una cámara oval, el rotor tiene una sección de triángulo equilátero con lados convexos y gira excéntricamente del eje -- del motor. Actualmente este motor se utiliza en autos - japoneses y en motocicletas.

En 1897 el Ingeniero sueco Nils Gustaf Dalén --- (1869-1937), Premio Nobel en Física, observó que en una chimenea, por cada metro cúbico de aire que entraba por la parte inferior, salían dos o tres por la parte superior de la chimenea debido a la expansión que sufría el aire al calentarse, y se le ocurrió colocar una turbina a la salida del aire caliente para mover un compresor.

Dalén tuvo esta idea cuando se encontraba estu--- diando en EIDGENOSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE en Zu--- rich, con el profesor Stodola y continuó desarrollándola en AB de Laval Angturbim por algunos años más, sin - lograr resolver el problema de los materiales de cons--- trucción de la sección caliente.

También los franceses Marcel Armengaud y Charles Lemale, experimentaron con turbinas de gas al comienzo de este siglo y utilizaron la turbina de Laval en 1905, la cual quemaba parafina y se enfriaba con vapor de agua

y fundaron la Societe Anonime de Turbomoteurs en Paris, en donde en 1908 construyeron una turbina de gas de aproximadamente 60 Kw (80hp) con baja eficiencia térmica.

En 1903 en Alemania, Hans Holzwarth patentó un diseño de turbina de gas basada en su nuevo principio, -- pues mientras otras turbinas funcionaban a presión constante, la de Holzwarth la combustión era a volumen constante y la llamó "Turbina de Explosión"; en esta máquina la cámara de combustión tenía válvulas de admisión y de escape, así como bujía de encendido.

La primera turbina de gas basada en este principio fué construída en Hanover en 1908; después Holzwarth trabajó en la Compañía Brown Boveri de Suiza, en donde diseñó una máquina de 746 Kw (1000 hp). Brown Boveri continuó desarrollando este tipo de máquina hasta 1933, cuando abandonaron el principio de Holzwarth debido a lo complicado que resultaba.

Hasta este punto todas las máquinas tenían como finalidad, mover generadores eléctricos y eran demasiado pesados, tipo estacionario. Sin embargo, fué en la propulsión de aviones en donde se desarrolló grandemente la turbina de gas.

Desde 1930 se vislumbró la aplicación de este motor para producir un chorro de gas a alta velocidad, -- con lo cual generaba un empuje que podía servir para impulsar un avión a más altas velocidades de las que se -

podían alcanzar con hélices, además la baja relación peso-potencia, permitía al avión una gran potencia con bajo peso del motor.

Poco antes de estallar la segunda guerra mundial en 1939, el primer avión Jet, el HEINKEL HE 178, voló por primera vez en Warnemünde.

La turbina de gas presenta una serie de ventajas sobre otros motores de combustión interna recíproca, debido a:

- a) El único elemento en movimiento es el rotor, - que gira a velocidad constante, eliminando las vibraciones debidas al recíproca, además de tener menos puntos friccionantes.
- b) Las presiones son constantes en cada punto, lo cual elimina esfuerzos debido a presiones pulsantes.
- c) La combustión es un proceso más controlado, -- pues se tiene una mezcla apropiada de aire-combustible, lo cual se reduce las emisiones de humos.
- d) Su construcción es muy ligera comparada con -- cualquier otro tipo de motores.

Con respecto a las turbinas de vapor, tenemos que no hay necesidad de un generador de vapor, el cual además de costoso, obliga a la turbina de vapor a ser una máquina estacionaria.

Las principales aplicaciones de la turbina de gas en la actualidad son:

- a) Propulsión de aviones.
- b) Sistemas estacionarios para generación de energía -- eléctrica.
- c) Sistemas móviles para generación de energía eléctrica.
- d) Accionamiento mecánico para camiones, helicópteros, buques y lanchas rápidas.
- e) Accionamiento de bombas para rebombeo de hidrocarburos por ducto.

1.c) TENDENCIAS ACTUALES DE LA TURBINA DE GAS.

En el desarrollo de la turbina de gas, uno de los principales problemas que tuvieron los ingenieros constructores fueron:

La baja eficiencia de los componentes como son: el compresor, la turbina gasógena y la turbina de potencia, debido a la escasa información de aerodinámica sobre estos componentes; ya que la velocidad de éstos tenía que ser alta para tener una eficiencia adecuada que pudiera justificar su uso.

Además la falta de materiales para la fabricación de las partes calientes, como son: toberas, álabes, rotores y cámara de combustión. Estos son algunos componentes para poder elevar la eficiencia de la turbina.

Actualmente se han superado algunos problemas, gracias a las investigaciones de aerodinámica y descubrimientos en el área de la metalurgia; aunque a pesar de todo se sigue teniendo problemas en los materiales para la fabricación de las partes calientes.

Es interesante también hacer notar que la potencia en Kw de las turbinas de gas utilizada mundialmente, según datos tomados a mediados de 1960 recopilados por la revista Gas Turbine Magazine, fue un total de 5 800 000. Un año después la potencia en Kw total fue de 7 000 000, un aumento aproximadamente del 20%. Para Julio de 1964, se había instalado equipo que tenía 6 860 440 Kw aproximadamente.

A mediados de 1962, 51 diferentes fabricantes de turbinas de gas, habían proporcionado datos de especificaciones a la revista antes mencionada, cubriendo 319 modelos. Dos años después a mediados de 1964, habían aumentado a 84 fabricantes que proporcionaron datos de especificaciones a la misma revista, para 538 modelos de turbinas de gas.

1.d) CLASIFICACION DE LAS TURBOMAQUINAS.

DEF. Turbomáquina es aquella máquina cuyo funcionamiento se basa en la ecuación de Euler o ecuación fundamental de las turbomáquinas.

I) Primera clasificación de las turbomáquinas.

Para clasificar las turbomáquinas se pueden seguir criterios diversos. El primero es la compresibilidad del fluido.

Según este criterio las turbomáquinas se clasifican en turbomáquinas hidráulicas y turbomáquinas térmicas.

Las turbomáquinas hidráulicas son aquellas que el fluido puede considerarse como incompresible, porque su compresibilidad es prácticamente despreciable.

Turbomáquina térmica es aquella en que el fluido ha de considerarse como compresible, porque su compresibilidad no es despreciable.

DEF. Turbomáquina térmica. Turbomáquina térmica es aquella máquina cuyo principio de funcionamiento es la ecuación de Euler y cuyo diseño se hace teniendo en cuenta compresibilidad del fluido.

II) Segunda clasificación de las turbomáquinas.

Las turbomáquinas también se pueden clasificar, según el sentido que sigue la cesión de la energía, en turbomáquinas motoras y generadoras.

En las turbomáquinas motoras, el fluido cede energía a la máquina, por ejemplo, en una turbina de vapor, el vapor cede energía a la máquina que la transforma en energía útil para el accionamiento de un generador.

En las turbomáquinas generadoras, la máquina comunica energía al fluido, por ejemplo, en una bomba centrífuga se transfiere energía al agua.

III) Tercera clasificación de las turbomáquinas.

Según la dirección del flujo en el rodete las turbomáquinas se clasifican en radiales, axiales y mixtas.

En las máquinas radiales el fluido se mueve en el rodete un plano transversal al eje de la máquina.

En las máquinas axiales, el fluido se mueve en un plano paralelo al eje de la máquina. En las máquinas de flujo mixto o radio-axiales, el flujo se mueve en el rodete en una superficie que tiene como eje el eje de la máquina.

Resumen de la clasificación de las turbomáquinas

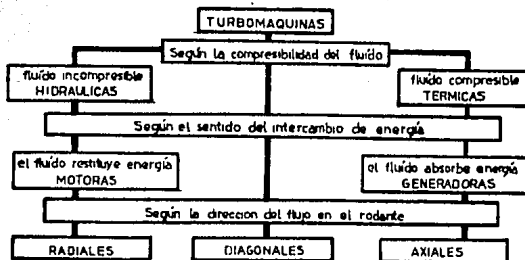


FIG.1

1.d.I) CLASIFICACION DE TURBINAS DE GAS.

La clasificación de turbinas de gas, la podemos clasificar en cuatro, las cuales se describen a continuación. Ver Fig. No. 2.

- a) Industriales pesadas.
- b) Industriales ligeras.
- c) Aeroderivativas.
- d) Jet expander.

- a) Industriales pesadas.- Este tipo de turbina es de construcción sólida, voluminosa y se caracteriza por ser de carcazas bipartidas; el diseño bipartido de esta máquina, es con el objetivo de tener fácil acceso y efectuar inspecciones del rotor compresor, cojinetes, sellos de laberinto, generador de gases, sin tener que efectuar el desensamble de la máquina.
- b) Industriales ligeras.- Las turbinas de gas ligeras, tienen como características, la décima parte del peso de una turbina de gas pesada, menos voluminosa y de fácil transportación para su aplicación en lugares remotos. Su diseño no es de carcazas bipartidas, por lo tanto no se tiene fácil acceso para efectuar inspecciones boroscópicas.
- c) Aeroderivativa.- Las turbinas de gas del tipo aeroderivativas, fueron máquinas industriales que se derivaron de turbo-reactores que al ser adaptadas al uso industrial fueron modi

ficadas para operar en otras condiciones diferentes a -- las de la aviación, quemando combustibles menos caros y contaminados.

- d) Jet expander.- El jet expander es el arreglo del turbo-- reactor con una turbina de expansión tipo industrial --- (Pesado), en donde los gases calientes son expandidos -- hasta la presión atmosférica; esta expansión genera energía mecánica útil para mover un alternador, bomba, com-- presor, hélice de barca, etc.

La característica de este arreglo, es que por no existir liga mecánica entre el turbo reactor (generador de gases) y el expander (generación de energía mecánica), la velo-- cidad angular de este puede ser diferente, esto es, adap-- tarse a las necesidades de la máquina accionada, sin re-- currir a incrementador o reductor de velocidad.

1.e) APLICACION DE LA TURBINA DE GAS MARCA SOLAR MOD. CENTAURO EN UNA ESTACION DE REBOMBEO DE HIDROCARBUROS.

Petróleos Mexicanos, para transportar los hidrocarburos de los centros de explotación hacia las diferentes refinерías como son: Tula, Hgo., Azcapotzalco, D.F., Salamanca, Gto., lo efectúa por medio de un sistema de ductos en donde se encuentran estaciones de rebombeo de hidrocarburos, localizadas a cierta distancia una de otra, a lo largo de los ductos; como se puede observar en la Fig. No. 3, donde se muestra la estereografía de ductos y estaciones.

Para efectuar dicho transporte, es necesario utilizar la potencia del eje de salida de la turbina de gas para accionar una bomba centrífuga, para darle el impulso a los hidrocarburos para realizar el transporte por ductos. Para explicar con más detalle, la aplicación de la turbina de gas es de la siguiente forma.

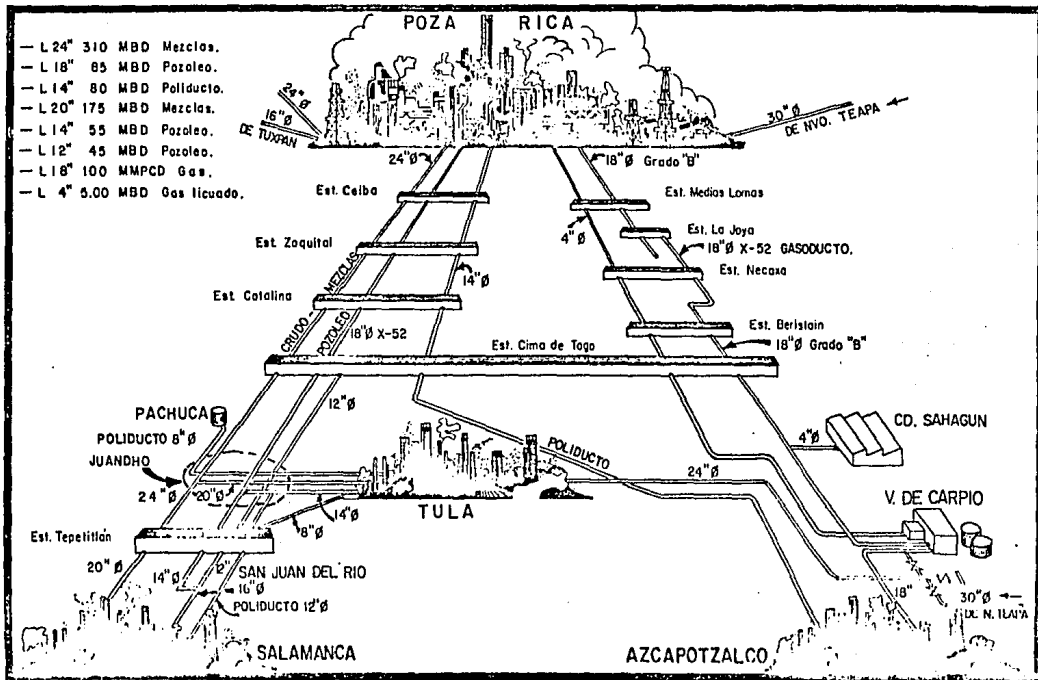
De los datos técnicos sabemos que la potencia del eje de salida de la turbina de gas es de 2856 Kw (3830hp) y gira a una velocidad de 15700 rpm. Del eje de salida de la turbina de gas, va acoplado a un reductor de velocidad cuya relación es de 2.225:1, del eje de baja velocidad del reductor va acoplado el eje de la bomba centrífuga, con los siguientes datos: 2 etapas, 6000-7200 rpm., 11052 Lts./min. (2920 gpm), carga 3546 ft, dimensiones de los impulsores 6 x 8 x 12 1/2

De los hidrocarburos que se bombean son de dos tipos:

Producto mezclas con 0.87 de gravedad específica y 10.91 centiestoques de viscosidad cinemática, y producto posoléo con 0.85 de gravedad específica, 14 centiestoques de viscosidad cinemática.

ESTEREOGRAMA DE DUCTOS Y ESTACIONES DE BOMBEO

- L 24" 310 MBD Mezclas.
- L 18" 85 MBD Pozoleo.
- L 14" 80 MBD Poliducto.
- L 20" 175 MBD Mezclas.
- L 14" 55 MBD Pozoleo.
- L 12" 45 MBD Pozoleo.
- L 18" 100 MMPCD Gas.
- L 4" 5.00 MBD Gas licuado.



CAPITULO II

DESCRIPCION DE LA TURBINA DE GAS

2.a) INTRODUCCION. La turbina de gas marca Solar Modelo Centauro, es una máquina¹ industrial de dos ejes con velocidad variable diseñada para flujo axial.

La turbina de gas produce un flujo continuo de aire comprimido para la sección del compresor, una combustión continua de la sección de la cámara de combustión, y una entrega continua de potencia desde la sección de la turbina de potencia, y los gases quemados son expulsados a la atmósfera a través de la sección de escape.

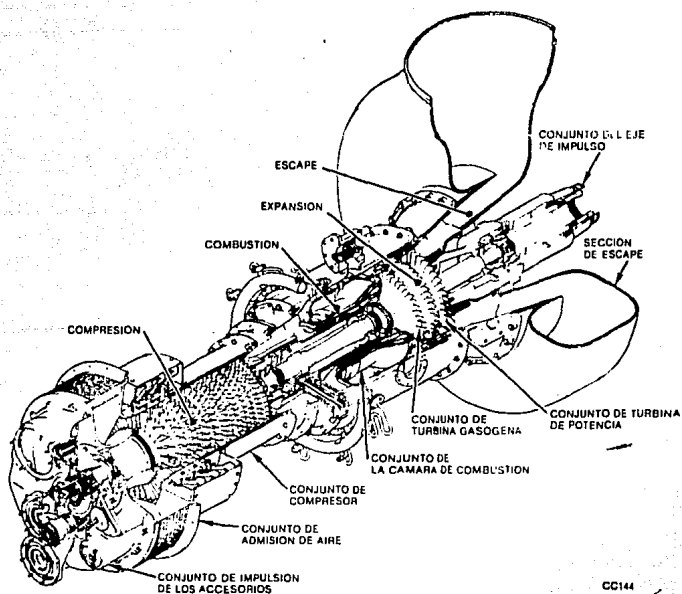
2.b) COMPONENTES PRINCIPALES.

La turbina de gas, incluye sistemas completos y componentes principales, para lograr un buen funcionamiento. Entre los principales tenemos:

- a) Compresor de aire de flujo axial, de once etapas, con álabes variables descargando a un difusor.
- b) Cámara de combustión tipo anular, provista de diez inyectores de gas combustible y un inflama-dor para el encendido inicial.
- c) El generador de gas o turbina gasógena, consta de dos etapas de rotor y tres etapas de toberas, gira en un solo cuerpo con el compresor de aire.

1) La palabra "máquina" tiene el significado de una unidad -- completa capaz de producir potencia (Kw) en su flecha de salida, para mover cualquier tipo de máquina.

- d) Turbina de potencia: consta de un rotor con su eje independiente, el cual va conectado al eje de salida para accionar la carga útil de la turbina. A la carcasa de la turbina de potencia va acoplado el conector de gases de escape.
- e) Caja de impulsión accesoria que va acoplada al eje del compresor de aire por su parte delantera en donde van montados los motores neumáticos de arranque y bombas necesarias para la operación de todo el sistema.



CG144

Figura 2-1. Principales conjuntos y procesos de la turbina Centaur

2.b.I) COMPONENTES EXTERNOS DE LA TURBINA DE GAS.

Los componentes externos de la turbina de gas, se pueden observar en la Fig. 2.2, en los que se incluyen los siguientes:

- 1.- Admisión de aire: Es una carcaza protegida por una malla, para que entre el aire a la turbina sin objetos extraños.
- 2.- Sistema de álabes guía variables. Regula la entrada de aire durante la aceleración para evitar un paro repentino.
- 3.- Actuador de álabes guía variables.
Provee la fuerza hidráulica necesaria al sistema de álabes guía.
- 4.- Múltiple de gas combustible.
Provee de gas combustible a los diez inyectores de gas combustible.
- 5.- Inyectores de gas combustible. Inyectan gas combustible para la combustión.
- 6.- Válvula de purga de aire.
Extraen el exceso de aire del compresor impulsando el aire hacia el sistema de escape.
- 7.- Carcaza del compresor. Aloja los componentes de estatores y rotores (discos) del compresor.
- 8.- Carcaza de la cámara de combustión. Aloja la cámara de combustión y el conjunto de la turbina gasógena.
- 9.- Carcaza de la turbina de potencia. Aloja a la -

turbina de potencia.

- 10.- Colector de gases de escape, posee un conducto de salida de los gases calientes hacia la atmósfera. Ver. Fig. 2.2

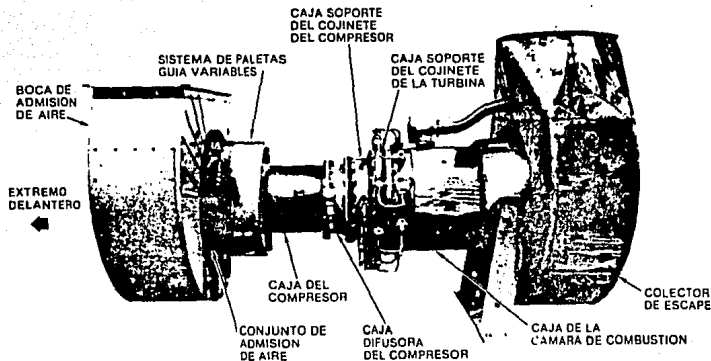


Figura 2-2. Vista de los componentes externos de la turbina

2.c) ANALISIS TERMODINAMICO.

La turbina de gas, es básicamente un motor térmico que genera energía térmica y la convierte en energía mecánica, mediante la aplicación de procesos termodinámicos.

La turbina de gas de ciclo abierto, es una de las máquinas menos complicadas descubierta hasta ahora, para la producción de fuerza (neumática y axial). La máquina produce un flujo continuo de aire comprimido para la sección del compresor de flujo axial, una combustión continua dentro de la sección de la combustión, y una entrega de continua potencia y opera por medio del ciclo sencillo termodinámico llamado ciclo de Brayton. En la siguiente fig. 2.3, se muestra esquemáticamente la distribución de los componentes de la turbina de gas.

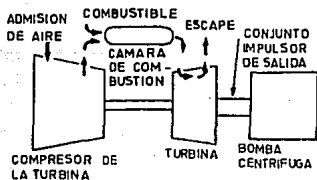


Figura:2-3 Diagrama de transferencia de potencia de la turbina de gas.

Los procesos del ciclo de Brayton son los cuatro siguientes, como se ve en la Fig. 2.4, que muestra el diagrama en el plano PV y TS.

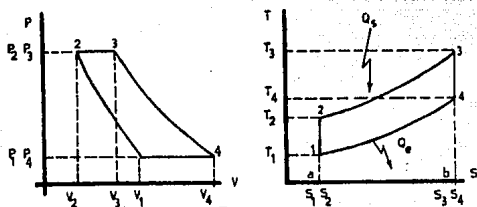


Fig. 2-4

- 1.2. Compresión isoentrópica. En donde se comprime el aire atmosférico.
- 2.3. Adición de calor a P=cte. En donde se añade combustible al aire comprimido y se produce la combustión.
- 3.4. Expansión isoentrópica. Lugar en donde los gases se expanden.
- 4.1. Escape. Los gases de combustión son descargados a la atmósfera.

En referencia a la Fig. 2.4, podemos determinar las fórmulas de rendimiento térmico de la turbina de gas.

Suponiendo el calor calorífico C_p del aire permanece constante, el calor suministrado es :

$$Q_s = m C_p (T_3 - T_2)$$

y el calor cedido es:

$$Q_c = mc_p (T_1 - T_4)$$

entonces la eficiencia es:

$$\eta = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} \quad \dots \dots \dots 1$$

definiendo $r_p = \frac{P_2}{P_1}$ como relación de presio-

nes y, como el proceso entre 1 y 2 es adiabático
co tenemos:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{K-1}{K}} = (r_p)^{\frac{K-1}{K}}$$

y como de 3-4, también es adiabático, tenemos

$$r_p = \left(\frac{P_3}{P_4}\right) \quad \text{y} \quad \left(\frac{T_3}{T_4}\right) = (r_p)^{\frac{K-1}{K}}$$

de donde tenemos que:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} \quad \text{y reordenando}$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} \quad \text{ó} \quad \frac{T_4}{T_1} - 1 = \frac{T_3}{T_2} - 1; \quad \frac{T_4 - T_1}{T_1} = \frac{T_3 - T_2}{T_2}$$

$$\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

por lo tanto tenemos:

$$N = 1 - \frac{T_1}{T_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} = \frac{T_3 - T_4}{T_3}$$

finalmente:

$$N = \frac{T_3 - T_4}{T_3} \quad \text{----- 2}$$

Otra forma de encontrar la eficiencia, es la siguiente:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = r^{k-1}$$

con lo cual la ecuación 1, se puede escribir:

$$N = 1 - \frac{1}{r_p^{k-1}} \quad \text{----- 3}$$

donde: $\frac{p_1}{p_2} = \frac{p_4}{p_3}$

$N = 1 - \frac{1}{r_p \frac{k-1}{k}}$; por lo tanto la eficiencia es

$$N = 1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad \text{----- (4)}$$

2.d) FUNCIONAMIENTO DE LAS TURBINAS DE GAS.

Los procesos termodinámicos que tienen lugar en la turbina de gas son continuos. Se produce un flujo continuo de aire comprimido de la sección del compresor, una combustión continua de la cámara de combustión y una salida de potencia continua desde la sección de la turbina de potencia.

El aire es aspirado hacia la sección del compresor a través de la sección de admisión de aire por el rotor del compresor, el principio por la potencia entregada al rotor del compresor por los motores neumáticos de arranque, y luego por la potencia producida por la sección -- del generador de gas al comenzar la combustión.

El aire comprimido pasa a través del difusor, en -- donde una parte de su energía cinética se convierte en -- presión y de aquí pasa la cámara de combustión en donde el combustible se inyecta hacia el aire a presión.

Durante el ciclo de arranque la mezcla aire-combustible es encendida por medio de una bujía, en el quemador, y ésta a su vez enciende la mezcla de combustible -- que entra a la cámara de combustión, manteniéndose una -- combustión continua.

El rápido aumento de temperatura dentro de la cámara de combustión produce un aumento considerable de volumen y de velocidad de flujo en los gases de combustión. Como resultado de esto, los gases calientes se expanden

a través de la sección del generador de gas produciéndose un movimiento rotatorio o energía cinética en el rotor de la turbina. Los gases que se van expandiendo impulsan los rotores de la turbina gasógena y de la turbina de potencia. Los rotores de la turbina gasógena y de la turbina de potencia son in dependientes mecánicamente.

El generador de gas que consta de dos pasos se utiliza para impulsar el compresor y los accesorios de la turbina de gas. El rotor de la turbina de potencia de una etapa absorbe la energía restante de los gases de escape, suministrando la potencia al equipo impulsado a través de la flecha de salida.

Durante la aceleración, puede acumularse exceso de aire en las etapas finales de compresión y podría causar un paro repentino en la turbina de gas; esto se puede evitar haciendo pasar parte del exceso de aire a través de la válvula de purga de aire hacia el colector de gases de escape.

2.d.I) CONJUNTO DE IMPULSION DE LOS ACCESORIOS.

El conjunto de impulsión de los accesorios, consta de una carcasa, un tren de engranaje de reducción de -- dos etapas acoplado a un piñón, colocado en el extremo delantero del compresor de aire de flujo axial. Sobre la primera etapa van acoplados los motores de arranque neumático, en la segunda etapa van acoplados los engranajes de la bomba de aceite para el Servo-Sistema, la bomba de lubricación e hidráulico.

El tren de engranajes es impulsado por los motores de arranque neumático a través de un embrague, durante su arranque y aceleración, e impulsado por el rotor y piñón del compresor durante su aceleración normal; como se puede ver en la Fig. 2.5, donde se muestra el -- sistema de engranajes del conjunto de impulsión de los accesorios.

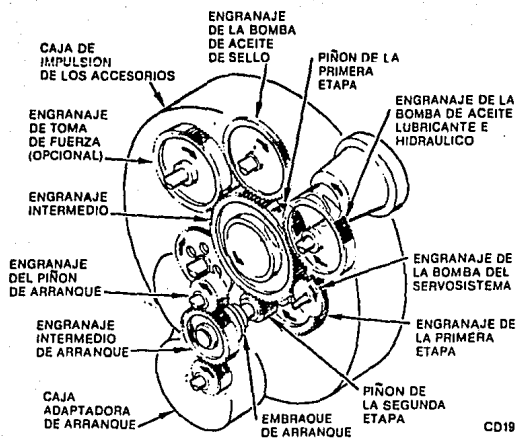


Figura 2-3.. Sistema de engranajes del conjunto de impulsión de los accesorios

1.e) DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES BÁSICOS DE LA TURBINA DE GAS.

La descripción de los componentes básicos de la turbina de gas, describiré únicamente aquellos que están íntimamente ligados, a la producción de energía de la turbina de gas, como son: compresor, cámara de combustión, turbina de gas o turbina gasógena y la turbina de potencia.

2.e.I) COMPRESOR.

El compresor es el primer elemento mecánico básico de la turbina de gas. El conjunto del compresor consta de once etapas, de flujo axial, con relación de compresión de 9:1; el compresor incorpora un conjunto de álabes variables guía de admisión.

Los álabes variables guía de admisión reducen el flujo de aire hacia las primeras etapas del compresor durante el arranque para no tener que restringir los límites de sobrepresión. Los álabes variables guía, comienzan abrirse aproximadamente al 70% de la velocidad y se abren completamente al llegar el 87% de la velocidad. Para mover los álabes variables, se utiliza un actuador de álabes variables, y usa como fuerza motriz la presión de aceite lubricante de 379 Kpaefe.

El conjunto del rotor del compresor, es apoyado en ambos extremos por cojinetes de zapata basculante.

A continuación enumeraré los álabes que tiene cada

paso del compresor. En la siguiente Fig. 2.6, se puede ver el conjunto del compresor y admisión de aire.

- 1er. Paso 33 álabes 33N
- 2o. Paso 35 álabes 35N
- 3er. Paso 30 álabes 30N
- 4o. Paso 60 álabes 60N
- 5o. Paso 63 álabes 63N
- 6o. Paso 65 álabes 65N
- 7o. Paso 67 álabes 67N
- 8o. Paso 81 álabes 81N
- 9o. Paso 77 álabes 77N
- 10o. Paso 73 álabes 73N
- 11o. Paso 71 álabes 71N

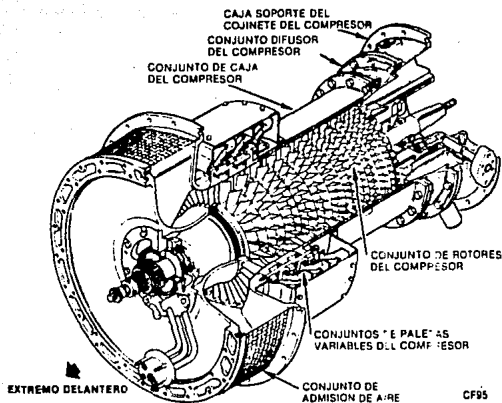


Figura 2-6 Conjunto compresor y admisión de aire

2.e.II) CAMARA DE COMBUSTION.

La cámara de combustión es el segundo elemento básico en el ciclo de la turbina de gas.

La turbina de gas solar modelo "Centaurus", tiene una cámara de combustión, tipo "anular", provista de diez inyectores distribuidos alrededor de la cámara de combustión; como se observa en la Fig. 2.7, la cámara de combustión.

La relación apropiada de aire-gas combustible, para obtener una combustión completa, se requiere de 15 partes de aire por una parte de gas combustible.

Una de las características más comunes de las turbinas de gas, es el exceso de consumo de aire; de hecho la turbina de gas consume aproximadamente diez partes más de aire que un motor recíprocante.

El proceso total de la combustión se divide en dos pasos:

a) La relación apropiada de aire-gas combustible debe ser de 15:1.

b) El flujo de aire total se distribuye en tres categorías.

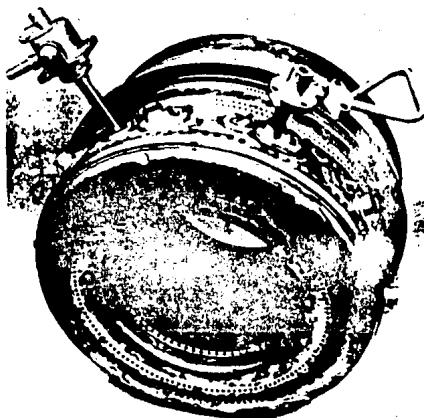
1.- Aire Primario = 25%

2.- Aire Secundario = 65%

3.- Aire de Control = 10% (Para trabajo neumático).

El aire primario o el 25% del aire total de la turbina de gas constituye la relación apropiada de aire-combustible de 15:1. La velocidad del gas a través de la zona primaria en donde se quema la mezcla aire-gas combustible debe ser de aproximadamente de 0.396 m/sq; para evitar que a una velocidad mayor se extinga la flama de encendido.

El aire secundario se utiliza para refrigerar la zona crítica o partes calientes de la turbina de gas.



CG63

Figura 2-7 Conjunto de la cámara de combustión

2.e.III) GENERADOR DE GASES.

El tercer elemento básico de la turbina de gases es el generador de gases o turbina gasógena, consta de un eje y dos etapas de rotor. El generador de gases extrae energía térmica de los gases calientes de combustión, convirtiéndola en energía mecánica para impulsar al compresor de flujo axial y otros accesorios.

Aproximadamente las dos terceras partes de la potencia total producida por el generador de gases, se utiliza para impulsar al compresor de flujo axial y accesorios. El tercio restante de la energía total, es utilizada para impulsar a la turbina de potencia, el cual convierte en energía utilizable o trabajo útil. Ver Fig. 2.8 que es el conjunto de la cámara de combustión y del generador de gases.

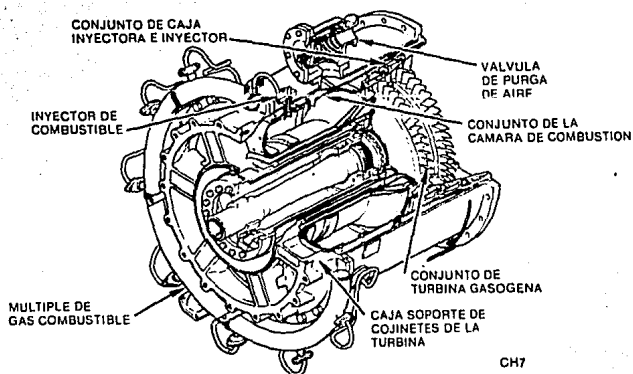


Figura 2.8. Conjunto de la cámara de combustión y turbina gasógena

2.e.IV) TURBINA DE POTENCIA.

El cuarto elemento básico de la turbina de gas, es la turbina de potencia. El conjunto de la turbina de potencia consta de un conjunto de rotor de una etapa que va acoplada al conjunto del eje de salida y al colector de escape. Como se puede observar la Fig. 2.9, que nos muestra el conjunto de la turbina de potencia y la sección de escape.

La carcasa del cojinete de la turbina de potencia, soporta el cojinete del rotor de la turbina de potencia, y va acoplada al conjunto del eje impulsor de salida.

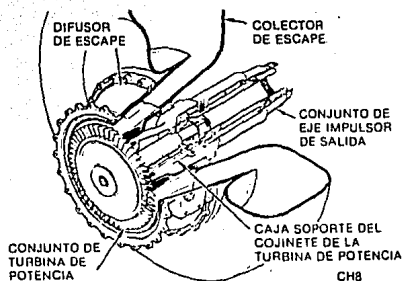


Figura 2.9. Conjunto de turbina de potencia y sección de escape.

2.f) DATOS TECNICOS DE LA TURBINA DE GAS.

Los datos técnicos de la turbina de gas Marca "Solar" Modelo "Centaur", se basan en las siguientes condiciones "ISO".

- a) Operación al nivel de mar $= 1$, a una temperatura (T_1) en la entrada de la sección de admisión de 15°C .
- b) Ninguna salida de aire purgada de compresor o sea con la válvula de purga de aire cerrada.
- c) Sin caja de engranajes de reducción de velocidad a la salida.
- d) Una velocidad nominal del 100% de la turbina de gasógena (15000 rpm).
- e) Velocidad óptima de velocidad de la turbina de potencia (15700 rpm).

En las turbinas de gas, hay tres parámetros que afectan su rendimiento:

- Temperatura del aire de entrada de la sección de admisión de aire de la turbina de gas. 25.6°C .
- Presión ambiente del aire de entrada a la sección de admisión de aire (altitud) 1011.5 Kpaefec.
- Pérdidas de presión de admisión y de escape de la turbina de gas.

2.f.1) ESPECIFICACIONES DE LA TURBINA DE GAS.

COMPRESOR.

Tipo - - - - - Axial
 Número de etapas - - - - - 11.
 Relación de compresión - - - - - 9.0:1
 Velocidad- - - - - 15000 rpm.

CAMARA DE COMBUSTION.

Tipo - - - - - Anular
 Encendido- - - - - Antorcha
 Número de inyectores de gas combusti--
 ble- - - - - Diez

TURBINA PRODUCTORA DE GASES.

Número de etapas - - - - - 2
 Velocidad- - - - - 15000 rpm.

TURBINA DE POTENCIA.

Número de etapas - - - - - 1
 Velocidad- - - - - 15700 rpm.
 Kw - - - - - 2856

2.f.II) PARAMETROS DE OPERACION.

1.- TEMPERATURA DE OPERACION.

Temperatura de entrada a la turbina de gas ---
26.6 a 46°C.

Temperatura de salida de los gases calientes -
450°C.

2.- PRESION DE OPERACION.

Presión de descarga del compresor es de 62 a -
724 Kpa efect. a 100% de velocidad.

3.- SISTEMA ELECTRICO.

Suministro de corriente eléctrica 24 Volts.C.C.

4.- SISTEMA DE AIRE.

1.- Aire de purga. La válvula de purga de aire
abre a 152 Kpa efect. y cierra completamen
te arriba de 290 Kpa efect.

2.- Control de álabes variables. Los álabes va
riables de entrada de aire, se encuentran
en mínima abertura a 207 Kpa efect. y la -
máxima abertura es cuando la presión de --
descarga del compresor es de 531 Kpa efect.

5.- SISTEMA DE ARRANQUE.

Motores de arranque. Presión de operación es -

de 1275.5 Kpa efect. por cada motor de arranque neumático (Son dos), con un par de torsión de 149.1 N-M.

6.- SISTEMA DE ACEITE.

- Tanque de aceite lubricante: capacidad 836.7 litros.
- Bomba auxiliar de aceite lubricante: entrega 211.96 litros/min. a una presión de 137 Kpa efect. (Bomba de Pre/Pos lubricación).
- Bomba principal de aceite lubricante impulsada por la turbina de dos elementos, entrega 558 litros/min., a 200 rpm al 100% de la turbina de gas, por cada elemento, a una presión de 620.53 a 1034.2 Kpa efect.

7.- SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE.

- Suministro de gas combustible de 1137.8 a 1379 Kpa efect.
- Tipo de encendido. Excitador de encendido y encendedor de bujía calibrada a 0.075" a 0.085".

2.f.III) REQUERIMIENTOS DEL GAS COMBUSTIBLE Y ACEITE LUBRICANTE.

GAS COMBUSTIBLE.

La selección de un combustible satisfactorio depende de la composición física y química. Por lo tanto los requerimientos del gas combustible son los siguientes:

Temperatura del gas	de 40°C a 71°C.
Poder calorífico Inferior	de 298072 a 409849 KJ/mm ³ .
Composición	La composición del gas será tal que el punto de condensación, a la presión del suministro de 1413.4 Kpa efect. sea de -12°C.
Peso específico	1.77

ACEITE LUBRICANTE.

Viscosidad	183 mm ³ /S 6 CSt (2200 SUS)
Límite de cambio de viscosidad	+ 15%, -15%
Número de écito total máximo	2.0
Contenido de agua partes por millón máximo	2000
Límites de temperatura ambiente	De -54°C a + 60°C.

De acuerdo con las especificaciones técnicas de los fabricantes de aceite lubricante, indican que las siguientes -

marcas se adaptan a estas especificaciones:

- 1.- Mobil SHC 824
- 2.- Bray Oil Company
- 3.- Sun Oil Company
- 4.- Exxon Company
- 5.- Shell Company
- 6.- Texaco Incorporated
- 7.- Chevron Oil Company.

2.f.IV) CURVAS DE RENDIMIENTO.

El siguiente grupo de curvas de rendimiento, son usadas para conocer el comportamiento de la turbina de gas - durante la operación, como son: gráfica para conocer la potencia de salida, el consumo específico de gas combustible, factor de corrección del rendimiento para diferentes altitudes, pérdidas de presión en el sistema de admisión y escape.

GRAFICA PARA CONOCER LA POTENCIA DE SALIDA.

- 1.- Léase la gráfica en donde se indica la temperatura del aire de entrada a la turbina de gas, por ejemplo 60°F (15.5°C); siga la curva de temperatura de 60°F hasta que ésta interseccione la línea de velocidad de la turbina de potencia, por ejemplo 97% Npt.
- 2.- Proceda horizontalmente hasta obtener la máxima potencia continua en el eje de salida de 3830 hp (2856 Kw). Ver Fig. 2.10.

GRAFICA PARA CONOCER EL CONSUMO ESPECIFICO DE GAS COMBUSTIBLE.

- 1.- Lea la gráfica en el punto en donde se indica la temperatura del aire de entrada a la turbina de gas por ejemplo 80°F (26.6°C); siga la curva de temperatura de 80°F (26.6°C), hacia la izquierda hasta que ésta interseccione la línea de velocidad

de la turbina de potencia por ejemplo 85% Npt.

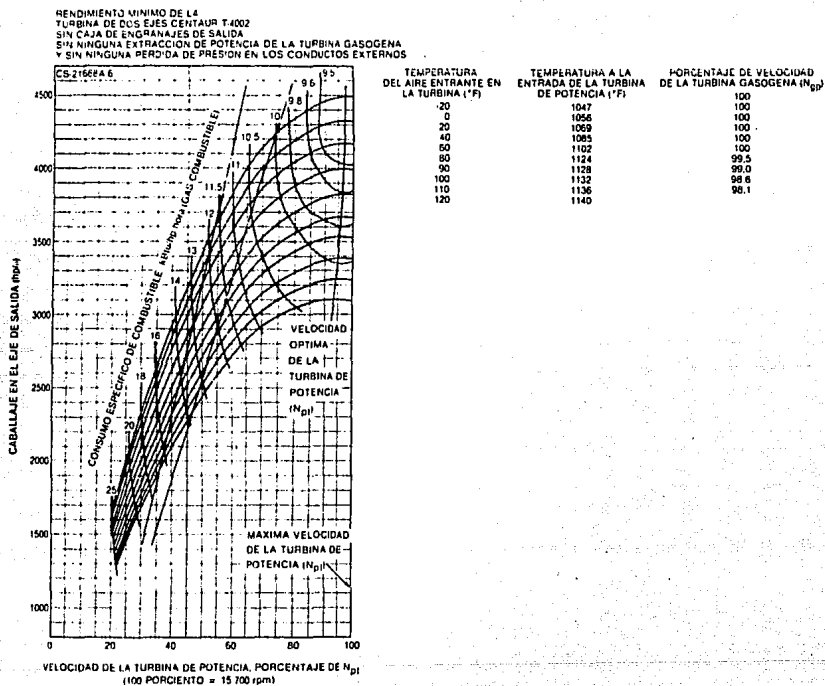
- 2.- Al interpolar el punto de intersección de las curvas de consumo de gas combustible de 9.8 y 10 obtendremos un consumo específico de combustible de 9.9 Kbtu/Hp-hora. Ver Fig. 2.10

FACTOR DE CORRECCION DEL RENDIMIENTO PARA DIFERENTES ALTITUDES.

Debe aplicarse un factor de corrección de altitud a los datos de rendimiento si la instalación se encuentra a una altitud superior de 152.5 m (500 Pies) por encima del nivel del mar. La altitud no afecta el consumo específico de combustible pero reduce la potencia de salida. Ver Fig. 2.11

- 1.- Leer la gráfica en la parte inferior de la altitud apropiada o de la presión ambiente correspondiente. Proceda verticalmente hasta intersectar la línea de presión. Siga horizontalmente hacia la izquierda y lee el factor de corrección.

- 2.- Para efectuar el cálculo de corrección de altitud, multiplíquese la potencia de salida en Kw por el factor de corrección.



CR20C

Figura 4-1. Máximo régimen continuo y consumo específico de combustible utilizando gas natural como combustible

PERDIDAS DE PRESION EN EL SISTEMA DE ADMISION Y ESCAPE.

Las pérdidas de presión en el sistema de admisión y escape, tienen efecto en el rendimiento de la turbina de gas y, a menos que se mantengan a un mínimo, pueden reducirse considerablemente la potencia disponible de salida.

- 1.- Lea la gráfica en el punto donde indica la potencia de salida en la Fig. 2.12

Proceda verticalmente hasta intersectar la curva de pérdida de presión de escape.

- 2.- Proceda horizontalmente hacia la izquierda de la intersección y léase la reducción de potencia de salida por pérdidas de presión de escape.

- 3.- Proceda horizontalmente hacia la derecha de la intersección hasta intersectar la línea de pérdida de presión. De esta intersección proceda verticalmente hacia abajo para determinar la pérdida de potencia de presión en el escape. --
Ver. Fig. 2.12.

EJEMPLO: Hallar la máxima potencia nominal de salida con pérdidas de presión de 4 y 6 pulgadas de agua en la admisión y en el escape respectivamente, cuando la temperatura del aire de entrada a la turbina de gas es de 60°F a una altitud de 5000 pies.

- a) Obtener el factor de corrección por altitud, en la -- Fig.

$$3000 = 0.9$$

- b) Determinar la máxima potencia de salida al nivel del mar en la Fig.

$$\text{hp} = 3830 \text{ ————— } 2856.03 \text{ Kw.}$$

- c) Determinar el efecto de la pérdida de presión en el -- escape y admisión sobre la potencia de salida de 3830 hp (2856.03 Kw).

- Pérdida de potencia correspondiente a una -- pérdida de presión de 4 pulgadas de agua en la admisión = 76 hp (57.8 Kw).

$$= 76 \text{ hp ————— } 57.80 \text{ Kw.}$$

- Pérdida de potencia correspondiente a una -- pérdida de presión de 6 pulgadas de agua en el escape.

$$= 54 \text{ hp ————— } 40.27 \text{ Kw.}$$

- La pérdida total de potencia es:

$$76 + 54 = 130 \text{ hp ————— } 98.07 \text{ Kw.}$$

- La potencia de salida al nivel del mar:

$$3830 - 130 = 3700 \text{ hp} = 2760 \text{ Kw.}$$

- hp x 3000 pies = 3700 x 0.9 = 3330 hp.

$$\text{————— } 2483.2 \text{ Kw.}$$

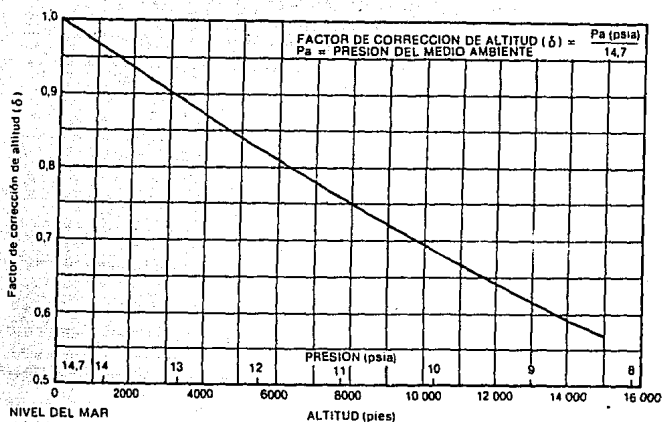
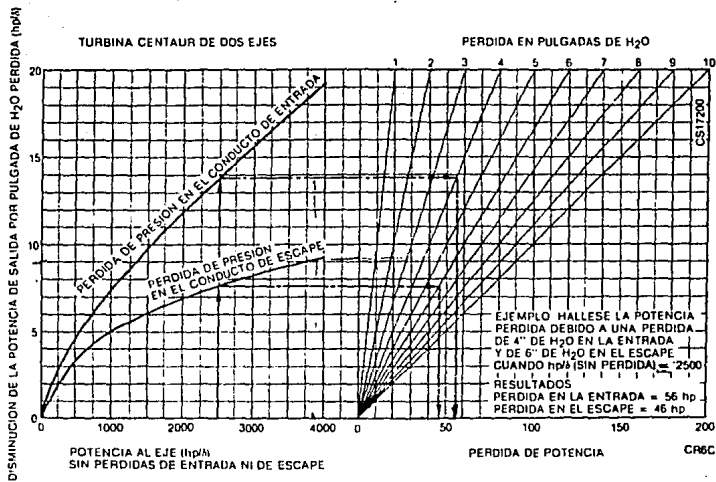


Figura 2-II Factores standard de corrección de altitude



2.g.) SISTEMA DE ARRANQUE NEUMÁTICO.

El sistema de arranque neumático está adaptado específicamente a los requerimientos de la turbina de gas y puede usar ya sea gas o aire comprimido como medio accionante. El sistema de arranque neumático requiere de un suministro de gas o aire de $73.6 \text{ m}^3 / \text{min}$. (2600 scfm) a una presión entre 1137.6 Kpa efect. y 1379 Kpa efect.

El sistema consta de los motores gemelos de arranque neumático, caja del adaptador, lubricadores con válvulas de retención para los motores de arranque, válvula de cierre de suministro gas o aire para los motores de arranque, colador de entrada de aire/gas, válvulas piloto, filtro y válvula de alivio.

Los motores de arranque neumático, van montados en el lado delantero de la caja de impulsión de accesorio.

Ver la Fig. 2.13, donde muestra la instalación del sistema de arranque neumático.

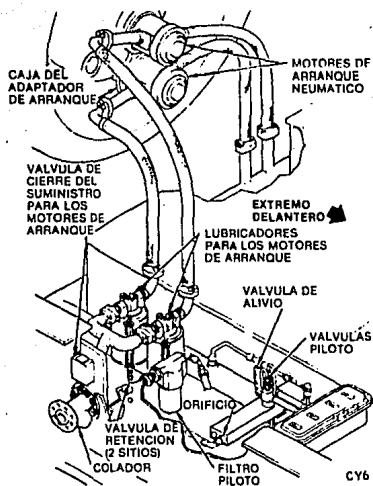


Figura 2.13 Instalación del sistema de arranque neumático

2.g.1) FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

El sistema neumático de arranque, requiere un suministro de entrada de $73.6 \text{ M}^3/\text{min.}$ (2600 scfm), a una presión de entre 1137.6 a 1379 Kpa efect. Cada operación de arranque requiere de 59.43 Kpa efect. de aire o gas.

Al iniciarse el ciclo de arranque de la turbina de gas, la presión del gas piloto abre la válvula de arranque. El suministro de gas o aire a presión, entre por la válvula de arranque y lubricadores y pasa hacia los motores gemelos de arranque, con lo que los motores comienzan a girar.

El piñón de los motores de arranque engrana con un engranaje intermedio por medio de un embrague de cuña, - el cual transmite la rotación de arranque al eje de la turbina.

Una vez que se detecta presión se produce la combustión y aumenta la velocidad de la turbina de gas, este comienza a impulsar al tren de engranes de la caja de impulsión de accesorios.

Cuando la velocidad del tren de engranajes excede de la velocidad de los motores de arranque, las cuñas del embrague se desacoplan, permitiendo que el embrague gire y ruede libre.

Cuando la velocidad de la turbina de gas alcanza el 60% se cierra el suministro de gas o aire a los motores de arranque neumático, con lo que éstos se paran.

Al final de este inciso se podrá observar el diagrama No. 2.16, que trata del sistema de arranque neumático de esta turbina de gas.

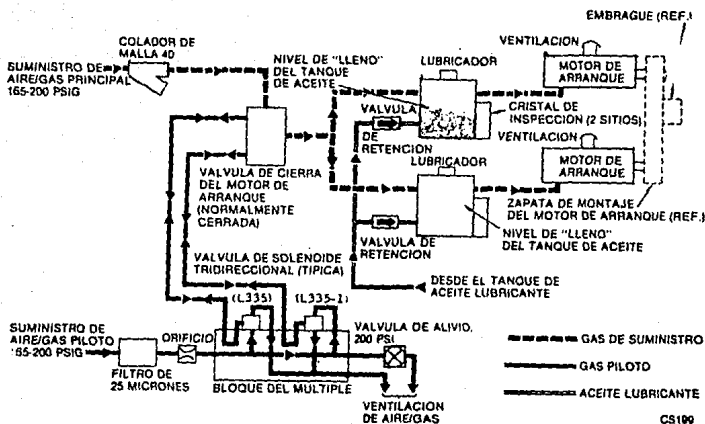


Figura 2-16 Diagrama del sistema de arranque neumático

2.g.II) DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA.

a) VALVULA DE CIERRE DE SUMINISTRO PARA LOS MOTORES DE ARRANQUE.

Esta válvula permanece cerrada, cuando el solenoide de la válvula está desactivada. Al pasar la presión piloto, la válvula de cierre de suministro para los motores de arranque se abre y permanece abierta durante el tiempo en que haya presión piloto de aire/gas, mediante la desactivación del solenoide de la válvula piloto. Como se puede observar en la Fig. 2.14.

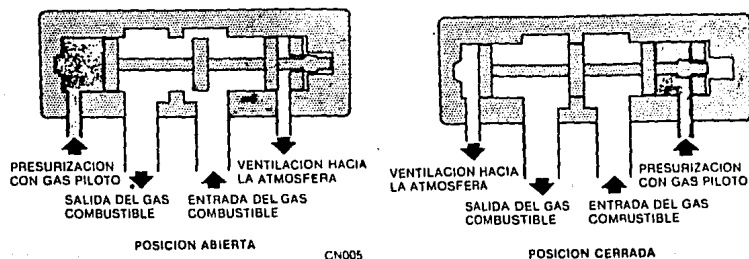
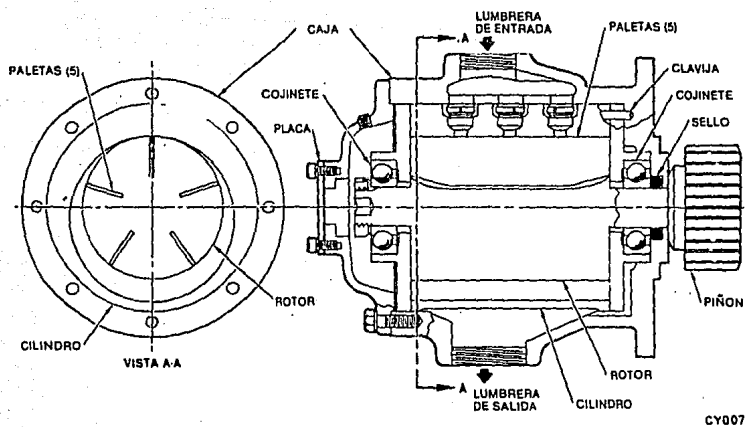


Figura 2.14 Diagrama de la válvula de cierre de suministro de los motores de arranque

b) MOTORES DE ARRANQUE.

Los motores gemelos de arranque, operados neumáticamente, están montados en los cojinetes en la caja -- adaptadora de arranque de la caja de impulsión de acceso -- rio. Los motores transmiten la fuerza de arranque a la -- turbina, a través de un embrague del tipo de rueda libre. Durante el ciclo de arranque, cuando la turbina alcanza el 60% de la velocidad, los motores de arranque son pue^s -- tos fuera y el embrague sigue girando libremente. El mo -- mento torsional total desarrollado por los dos motores -- al 30% de la velocidad de la turbina es de 298.3 N-m, a una presión de entrada a los motores de arranque de -- -- 1275.5 Kpa efect. Ver Fig. 2.15, que muestra el motor de arranque.



• Figura 2.15 Motor de arranque neumático y engranaje

c) VALVULA DE ALIVIO.

La válvula de alivio se abre a una presión de - 1379 Kpa efect. Esta válvula se utiliza para limitar la presión en la línea de aire-gas.

d) VALVULAS PILOTO.

Las válvulas piloto operadas por solenoide de 24 V de corriente continua, al estar desactivadas aplican presión piloto a la válvula de cierre de suministro para los motores de arranque, manteniéndola en posición cerrada. Al ser activadas, la presión piloto se ventila a través de la válvula de cierre de suministro para los motores de arranque, lo que permite que se abra.

e) LUBRICADORES.

Los lubricadores están instalados en la línea de abastecimiento de cada motor de arranque neumático, para proporcionar aceite lubricante atomizado a las paletas de cada motor.

Cada lubricador entrega un flujo nominal de aceite de 60 gotas por minuto, cuando los motores de arranque neumáticos funcionan a 2000 rpm aproximadamente. En la siguiente Fig. No. 2.16 muestra el diagrama esquemático del sistema de arranque neumático de la turbina de gas.

2.h.) SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE.

El sistema de combustible de gas natural incluye todos los componentes necesarios para el control del flujo de gas combustible durante el arranque, y el funcionamiento desde "sin carga" o "carga".

2.h.1) FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

El gas combustible es suministrado y avanza a través del colector y hacia la válvula primaria de cierre y el filtro de gas piloto. A medida que la turbina de gas comienza a girar después de iniciarse el arranque, el gas piloto abre la válvula primaria de cierre de gas, admitiendo gas, y la válvula secundaria de cierre de gas permanece cerrada.

Después de un período de cinco segundos, la presión piloto cierra la válvula primaria de cierre. A una velocidad de 15% la presión piloto se ventila y la válvula secundaria de cierre se abre, permitiendo que el gas aprisionado pase hacia el sistema de combustible.

Después de este paso se está indicando que la válvula primaria de cierre ha permanecido cerrada y que la válvula secundaria se ha abierto satisfactoriamente.

La presión del servoaceite, la cual aumenta uniformemente junto con la rotación de la turbina de gas, manteniendo al servoactuador extendido y la válvula del acelerador cerrada.

Diez segundos después de que la turbina alcanza una

velocidad del 15%, las válvulas de gas combustible se abren. El combustible avanza hacia la válvula de control de combustible, y seguidamente el combustible regulado fluye hacia el múltiple de gas y hacia el quemador. El combustible fluye a los diez inyectores y se inyecta a la cámara de combustión. Entonces, se activa el encendido.

Simultáneamente se emite una señal al servoactuador para que se retracte lentamente y mueva la válvula del acelerador hacia la posición de abertura máxima para enriquecer progresivamente la mezcla gas combustible/aire. Es entonces cuando el encendido se inicia sin problemas.

Cuando la temperatura de la turbina de gas aumenta aproximadamente a 176.4°C (350°F), se deja de emitir la señal al servoactuador. Entonces, el control del servoactuador, y por consiguiente el control de la válvula del acelerador, se transfiere al circuito de control de "topping" de combustible.

Diez segundos después de iniciarse la combustión, se desactiva el circuito de encendido y la combustión se mantiene por sí sola.

Si la temperatura de la turbina de gas o la velocidad de la turbina de potencia aumentan por encima del máximo preseleccionado, el sistema de control de "topping" modifica la posición de la válvula del acelerador para reducir la temperatura o la velocidad a niveles operacionales. Al apretar el interruptor de paro las válvulas -

de gas combustible se cierran, entonces la combustión cesa y la turbina de gas continua girando por su propia inercia, hasta detenerse totalmente. Ver la Fig. 2.17, - donde se ve la instalación del sistema de gas combustible.

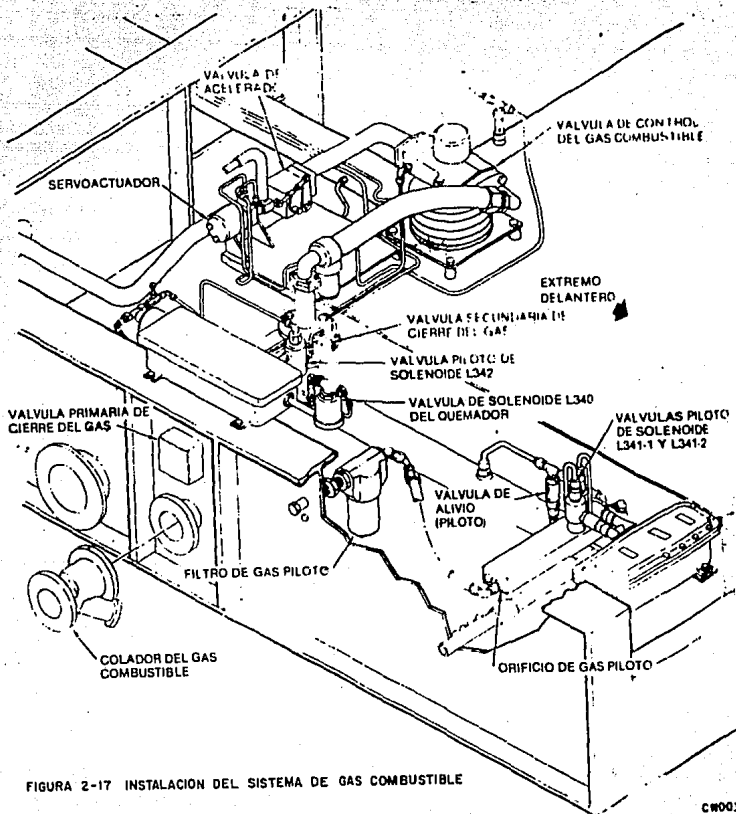


FIGURA 2-17 INSTALACION DEL SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE

2.h.II) DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA.

a) INYECTORES Y MULTIPLE DE GAS COMBUSTIBLE.

El múltiple de gas combustible y los inyectores -- constan de un conjunto de múltiple de gas combustible, -- conjunto de tubos del múltiple a la cámara de combus--- tión y diez inyectores de combustible que también sir-- ven para posicionar el revestimiento de la cámara de -- combustión.

El conjunto del múltiple de combustible, va emper-- nado a la carcasa de soporte de los cojinetes de la tur-- bina gasógena mediante seis abrazaderas, incorpora una protuberancia de entrada de combustible y diez protube-- rancias de salida para la conexión de los conjuntos de tubos del múltiple a la cámara de combustión.

Diez conjuntos de tubos del múltiple a la cámara - de combustión, cada uno con un orificio dosificador, -- alimentan gas del colector a las protuberancias de los inyectores en la carcasa de la cámara de combustión.

Los conjuntos de inyección de aire y combustible - mezclan el gas con el aire suministrado por el compre-- sor al permitir que el aire fluya a través del orificio de alimentación de gas hacia la cámara de combustión. - Ver. Fig. 2.18, que nos muestra los inyectores y el múl-- tiple de gas.

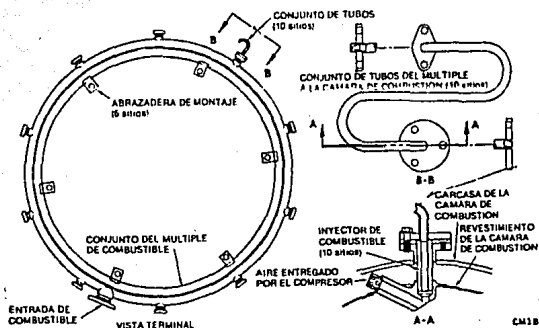


Figura 2-18. Inyectores y múltiple de gas combustible

b) QUEMADOR.

El conjunto del quemador incluye la caja del quemador, tubo de encendido, conexión de entrada de gas y -- una bujía de encendido.

El aire del combuster entra en el tubo de encendido. El gas combustible procedente de la válvula solenoide del quemador se mezcla con el aire que ha de quemarse; la mezcla se enciende por medio de la bujía de encendido calibrada a 0.085 de pulg.

El gas combustible y el encendido al mismo tiempo son suspendidos cuando la turbina de gas alcanza los --- 176.6°C (350°F), y la combustión es autosuficiente. Como se puede observar en la siguiente Fig. 2.19.

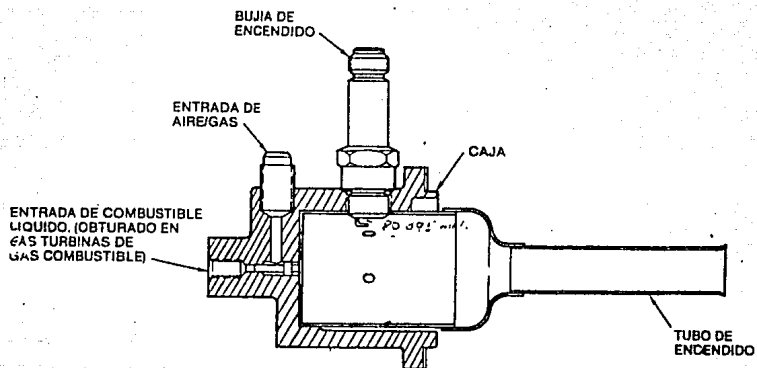


Figura 2-19 Quemador

c) SERVOACTUADOR ELECTROHIDRAULICO.

El actuador es una unidad controlada eléctricamente y accionada hidráulicamente. La presión hidráulica es suministrada por la bomba de servoaceite impulsada por la turbina.

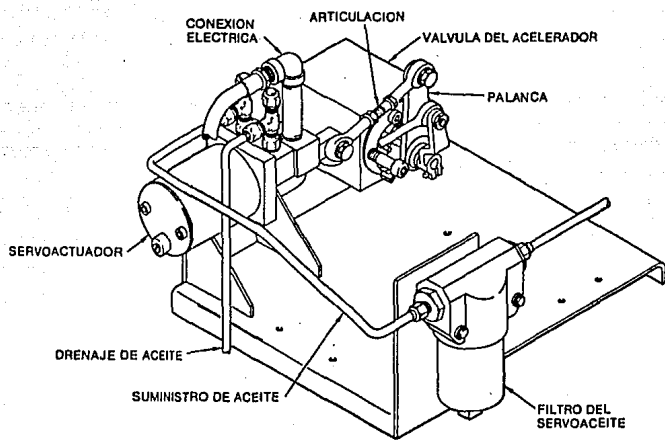
Durante la secuencia de encendido de la turbina de gas, el actuador es activado por una señal eléctrica, la cual empieza en el momento en que el quemador es encendido. El servoactuador empieza abrir gradualmente la válvula del acelerador, hasta que la combustión pueda propagarse sin problemas, evitando así que el encendido sea sometido a sobrepresión por exceso de combustible.

d) VALVULA DEL ACELERADOR.

La válvula del acelerador, de tipo mariposa, es accionado por la articulación del servoactuador electrohidráulico.

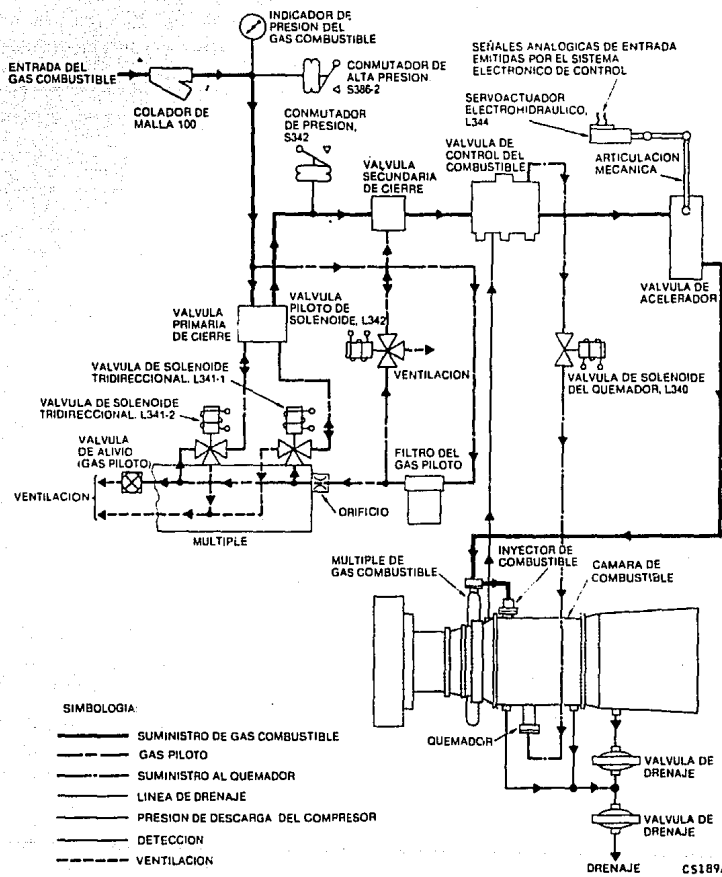
El flujo de gas combustible a la turbina de gas, es controlado por la válvula del acelerador de acuerdo a la posición del servoactuador.

En la Fig. No. 2.20, se pueden ver la articulación del servoactuador y de la válvula del acelerador.



CN009

Figura 2-20 Articulación del servoactuador y de la válvula del acelerador



CS189A

CS1-CB

Figure 2-21 Diagrama esquemático del sistema de gas combustible

2.1) SISTEMA DE ACEITE.

El sistema de aceite de la turbina de gas incluye, el sistema de aceite lubricante, aceite hidráulico, servoaceite. Estos sistemas están estrechamente interrelacionados.

2.1.I) SISTEMA DE ACEITE LUBRICANTE.

El sistema de aceite lubricante proporciona aceite lubricante para los engranajes y cojinetes de la turbina de gas, también proporciona aceite, a una presión regulada de entrada en la turbina, para el actuador de control de los álabes variables, para los sistemas de aceite hidráulico, y de servoaceite.

Los componentes principales del sistema de aceite lubricante incluyen el tanque de aceite, bomba auxiliar de aceite de pre/post lubricación, la bomba principal de aceite lubricante impulsada por la turbina de gas. También se incluyen los filtros de aceite.

2.1.II) FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ACEITE LUBRICANTE.

Al iniciar el arranque, la bomba auxiliar de aceite de pre/post lubricación, succiona aceite del tanque y lo envía al conjunto regulador y a los filtros de aceite. La presión aceite auxiliar se mantiene a 137.9 Kpa efect. (20 psig.), mediante una válvula de alivio. Seguidamente, el aceite fluye a través de un múltiple hacia los sistemas de lubricación de la turbina de gas.

Después de un intervalo de prelubricación, la turbina comienza a girar y la bomba de aceite impulsada por la turbina comienza a suministrar aceite. A medida que se incrementa la velocidad de la turbina de gas, aumenta el volumen de aceite suministrado por la bomba impulsada por la turbina de gas.

Cuando la presión de este aceite alcanza generalmente 241.3 Kpa efect. (35 psig.), la bomba auxiliar se detiene.

El aceite suministrado por la bomba principal de aceite al conjunto regulador se mantiene a 379.2 Kpa efect. (55 psig.), mediante la válvula reguladora descargadora de presión.

Si la temperatura del aceite excede generalmente de 60°C (140°F), entra en funcionamiento un enfriador de aceite por aire.

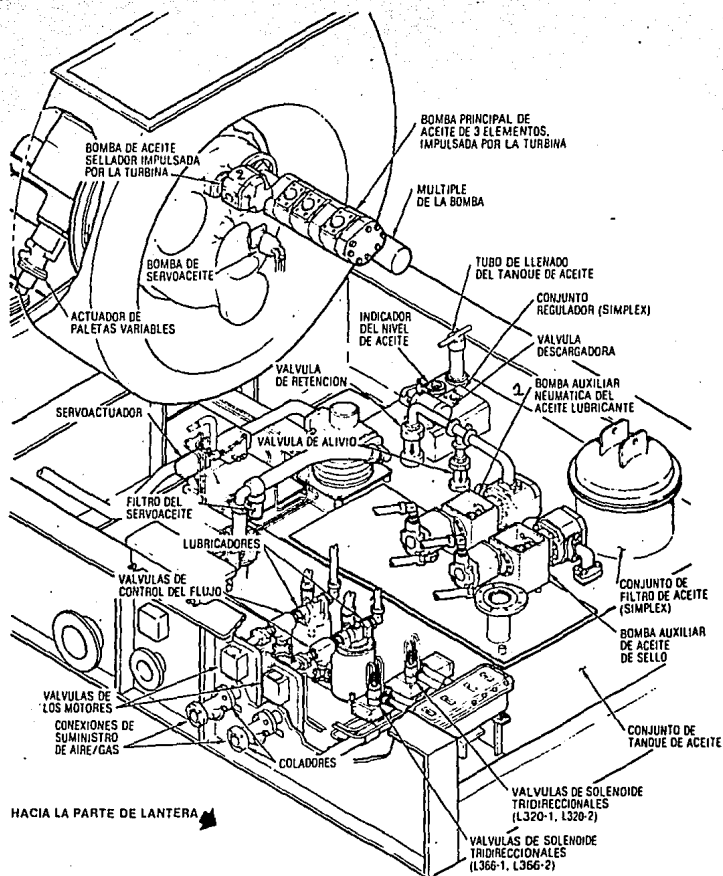
El aceite destinado al conjunto de impulsión de los accesorios lubrica los engranajes y el cojinete delantero del rotor del compresor. Existen conductos de aceite a las cajas soporte de cojinetes del compresor y del generador de gas, que suministran aceite al cojinete trasero del compresor y a los cojinetes de la turbina gasógena. El aceite recogido en las cajas soporte de cojinetes retorna al tanque de aceite por gravedad.

Una vez detenida la turbina de gas, la bomba auxiliar de aceite lleva a cabo la post lubricación. Dicha bomba auxiliar es puesta en marcha por el sistema eléc-

trico de control. Durante el ciclo de post lubricación - la bomba auxiliar, se encarga de enfriar los cojinetes y los engranajes durante 55 minutos. En la Fig. 2.22, es - la instalación de los sistemas de aceite lubricante, hidráulico.

2.1.III) SISTEMA DE ACEITE HIDRAULICO.

El sistema de aceite hidráulico suministra aceite - de alta presión para impulsar el motor del enfriador, pa - ra el motor hidráulico. La bomba principal de aceite lu - bricante impulsada por la turbina de gas, incorpora un - elemento adicional para bombear el aceite hidráulico. -- Hay una válvula de alivio en la tubería de suministro al motor del ventilador que limita la presión del aceite hi - dráulico a 3792.1 Kpa efect. (1500 psig.)



CT007

Figura 2.22 Instalación de los sistemas de aceite lubricante, aceite hidráulico y servoaceite

2.i.IV) SISTEMA DE SERVOACEITE.

El sistema de servoaceite suministra aceite de baja presión, para accionar el pistón del servoactuador electrohídrico del sistema de gas combustible, por medio de una bomba, accionada por la turbina, a una presión de 3447.4 Kpa efect.

2.i.V) DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE ACEITE.

a) BOMBA AUXILIAR DE ACEITE LUBRICANTE.

La bomba auxiliar o bomba de pre/post lubricación, es impulsada por un motor neumático. La bomba auxiliar, alimenta aceite lubricante a la turbina de gas durante los ciclos de arranque y parada (Pre Post Lubricación).

Opera a 1750 rpm, con un gasto de 212 litros/min, a una presión de 345 Kpa efect.

b) TANQUE DE ACEITE.

El tanque de aceite, tiene una capacidad de -- 837 litros, y va montado en la base del patín.

Para mantener la viscosidad apropiada del aceite lubricante, puede instalarse un calentador en el tanque de aceite, para mantener la temperatura del aceite a 55°C. El calentador se instala cuando el clima es demasiado frío.

c) BOMBA PRINCIPAL DE ACEITE LUBRICANTE.

La bomba principal de aceite lubricante, impulsada por la turbina de gas. Esta bomba gira a 2000 rpm cuando la turbina funciona al 100% de velocidad y entrega un gasto de aceite lubricante de 1114 Litros/ min. a una presión de 617.5 Kpa efect. a 1034 Kpa efect.

d) BOMBA DEL SERVOACEITE.

La bomba del servoaceite impulsada por la turbina, montada en la carcasa de impulsión de accesorios. A una velocidad del 100% de la turbina de gas esta bomba entrega un gasto o caudal de 125 Litros/ min. a una presión de 3447 Kpa efect. de servoaceite al servoactuador electrohidráulico.

e) ENFRIADOR DEL ACEITE.

La función del enfriador de aceite, es la de mantener la temperatura del aceite lubricante dentro de los límites aceptables.

El enfriador de aceite por aire, es una instalación remota y va colocado horizontalmente para permitir el flujo de aire vertical. Durante su operación normal, el ventilador sopla aire con un gasto de $340 \text{ m}^3 / \text{min}$.

f) SISTEMA DE FILTROS DEL ACEITE LUBRICANTE.

El sistema de aceite lubricante puede constar de un conjunto simplex de un solo filtro o un conjunto duplex de dos filtros.

El conjunto filtrante simplex consta de un solo filtro con seis elementos reemplazables.

El conjunto filtrante duplex tiene dos cajas de filtro cada una contiene seis elementos filtrantes reemplazables. Estas cajas están colocadas adyacentemente en la tapa del tanque de aceite.

2.j) SISTEMA DE AIRE.

El sistema de aire de la turbina de gas, además de su función principal de proveer aire para la combustión presuriza los sellos de aceite, enfría el rotor de la turbina gasógena y las toberas de la primera etapa, facilita el funcionamiento uniforme de la turbina de gas, al impedir estados de sobrepresión a altas velocidades y suministra aire de control para la operación del sistema de control de gas combustible.

2.j.1) AIRE DE COMBUSTION.

El sistema de aire de la turbina de gas, comienza a funcionar, cuando empieza a girar el rotor del compresor, aspirando aire del medio ambiente. El aire, se comprime y se dirige a través del difusor hacia la cámara de combustión, en donde se inyecta el gas combustible y se inicia la combustión de mezcla aire-gas.

Esta acción transforma el aire en un gas caliente que se expande a través del generador de gas, transformando la energía térmica en energía mecánica en la turbina de potencia, y se expulsa a la atmósfera a través del colector de escape.

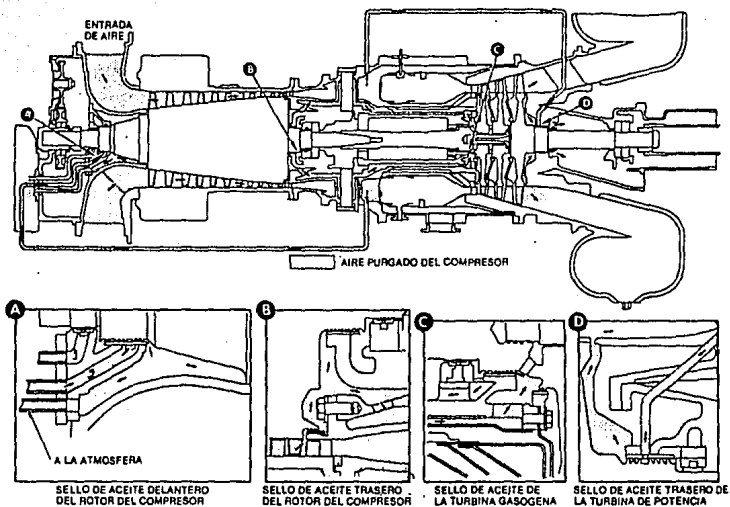
2.j.11) AIRE PRESURIZANTE DE SELLOS DE ACEITE.

La turbina de gas, tiene cuatro sellos de laberinto presurizados por aire para evitar fugas de aceite lubricante de los cojinetes. El aire de descarga del compre--

El aire, obtenido en la parte de la caja soporte de cojinetes de la turbina gasógena en dos puntos, se dirige a través de tubos extremos hacia el sello de aceite trasero de la turbina de potencia.

El aire proveniente de la onceava etapa del compresor se dosifica a través de conductos internos hacia el sello de aceite trasero del rotor del compresor y hacia el sello de aceite de la turbina gasógena.

El flujo de aire total dirigido a los sellos, se descarga hacia el tanque de aceite, y se escapa a través de la ventilación del tanque de aceite. En la siguiente Fig. se muestra el diagrama del flujo de aire presurizado de los sellos de aceite de la turbina de gas.



CS14A

Figura 2-23. Diagrama del flujo de aire presurizante de los sellos de aceite de la turbina

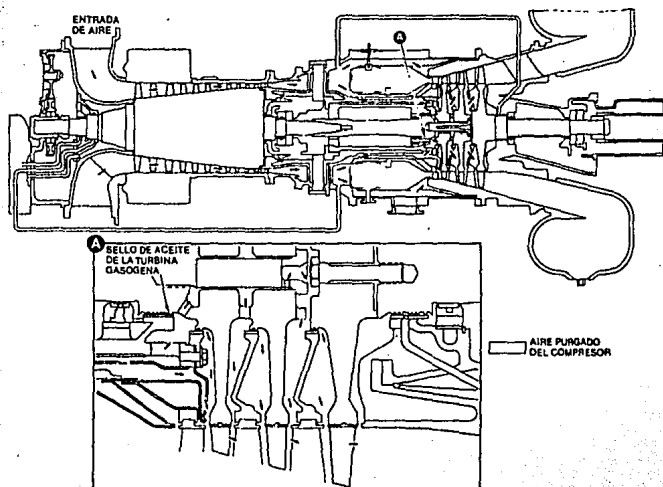
2.j.III) AIRE DE ENFRIAMIENTO DE LA TURBINA DE GAS.

El aire de enfriamiento para la turbina de gas, se obtiene del aire de la onceava etapa del compresor. El flujo de aire pasa a través de los orificios que hay en la carcasa de cojinetes del compresor, hacia el perno central del rotor del generador de gas.

Una parte de este aire se dosifica hacia la parte frontal del rotor de la turbina gasógena, a través del sello de laberinto. Otra parte de aire pasa a través de orificios en el perno central de la turbina gasógena hacia la cavidad que se halla en la parte trasera de la segunda etapa del rotor.

Una cantidad pequeña de aire de presión de descarga del compresor, se dirige a través de un conducto hacia el diafragma de las toberas en la primera etapa de la turbina gasógena.

El aire sale a través de orificios dosificadores y enfría el borde delantero del rotor de la primera etapa de la turbina gasógena. En la Fig. 2.24 se muestra el diagrama del flujo de aire de enfriamiento de la turbina de gas.



CS15A

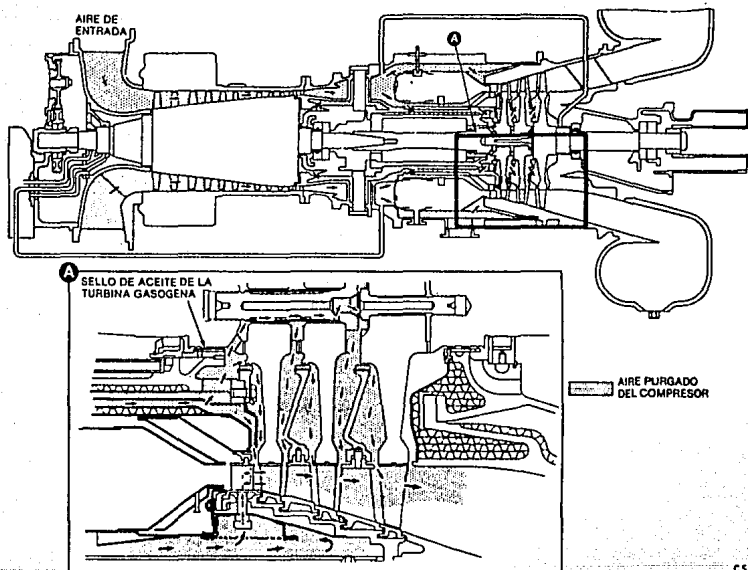
Figura 2-24 Diagrama del flujo de aire enfriador de la turbina

2.j.IV) AIRE DE ENFRIAMIENTO DE LAS TOBERAS.

El aire de enfriamiento para las toberas de la tur
bina gasógena, es aire adicional de la onceava etapa --
del compresor.

Este aire, proveniente del área circundante del re
vestimiento de la cámara de combustión.

Por lo tanto el aire de enfriamiento entra en las
toberas de la primera etapa a través de tubos instalados
en cada segmento de tobera, y sale finalmente a través
de orificios dosificadores ubicados en el borde de cada
tobera.



CS97

Figura 2.25 Diagrama del flujo de aire enfriador de las toberas

2.j.V) DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AIRE.

a) VALVULA DE PURGA DE AIRE.

El aire es purgado de la carcaza de la cámara de combustión, cuando la turbina de gas funciona a una velocidad aproximada de 75%, con el objetivo de evitar sobrepresiones en la turbina de gas durante la aceleración.

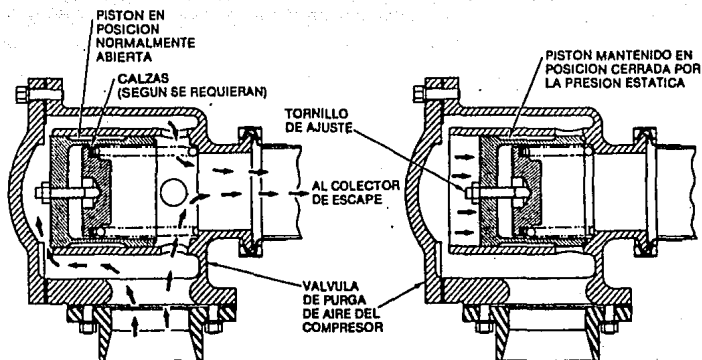
Esta función se lleva a cabo mediante una válvula de purga de aire, que opera por presión de --descarga del compresor y envía el aire purgado hacia el colector de escape.

La válvula de purga de aire del compresor, es tá montada en la carcaza de la cámara de combustión.

El aire del compresor que sale de la cámara de combustión, va conectado directamente al cilindro del pistón. Al iniciarse el arranque de la turbina de gas, el resorte del pistón mantiene la válvula abierta. A medida que se incrementa la velocidad de la turbina de gas, la presión de descarga del compresor (Pcd), comienza a mover al pistón de la válvula de purga a 141.7 Kpa efect. (22 psig.), venciendo la resistencia del resorte y cerrando la válvula de purga de aire.

La válvula se cierra completamente cuando la presión de descarga del compresor (Pcd), es de ---

aproximadamente 289.6 Kpa efect. (42 Psig.) y la velocidad de la turbina de gas del 75% aproximadamente. Ver. Fig. 2.26.



CS13C

Figura 2.26 Actuación de la válvula de purga de aire del compresor

b) ACTUADOR DE ALABES VARIABLES.

El sistema de álabes variables, cuyo objetivo es mantener el máximo rendimiento del compresor, durante el arranque y aceleración así como su operación normal.

El sistema es controlado neumáticamente por la presión de descarga del compresor (P_{cd}), y es operado hidráulicamente.

Los álabes variables tienen dos posiciones diferentes, la posición de máxima abertura y la de mínima abertura. El cambio de posición de los álabes variables, varía el ángulo efectivo en que el aire fluye entre los álabes del rotor del compresor.

El ángulo determina las características de compresión para una etapa determinada del compresor.

El movimiento de los álabes variables, operan proporcionalmente con los cambios de la presión de descarga del compresor; el pistón del actuador comienza abrirse a 220.6 Kpa efect. (32 Psig.) y está totalmente abierto a 289.6 Kpa efect. (42 Psig.).

CAPITULO III

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA TURBINA DE GAS.

- 3.a) INTRODUCCION. El mantenimiento preventivo y la inspección de la turbina de gas marca Solar modelo Centauro, son necesarios establecerlos a intervalos requeridos. -- Una comprobación de las necesidades de servicio bajo con condiciones de operación establecerá los programas de mante nimiento preventivo e inspección.

A través del mantenimiento preventivo se disminuirá al mínimo el mantenimiento correctivo de la turbina de gas.

DEF. MANTENIMIENTO. El mantenimiento es una serie de actividades o trabajos que hay que realizar, para -- alargar y conservar la vida útil de la turbina de gas. --

- 3.b) DEF. MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

El mantenimiento preventivo, es una serie de trabajos o actividades necesarios para alargar la vida útil de la turbina de gas y evitar que interrumpa su servicio. A menudo se considera el mantenimiento preventivo con el término de "mantenimiento planeado".

De los beneficios que obtenemos con la ejecución -- del mantenimiento preventivo de la turbina de gas tenemos:

- I. Disminuye el tiempo oscioso.

- II. Disminuye los pagos por tiempo extra de los trabajos de mantenimiento.
- III. Menor número de reparaciones repetitivas.
- IV. Disminuye los costos de reparaciones de los desperfectos sencillos realizados antes de las paradas imprevistas.
- V. Reducción de los costos de mantenimiento de mano de obra y refacciones.
- VI. Mayor seguridad de los trabajadores y mejor protección para la estación de bombeo.
- VII. Alarga la vida útil de la turbina de gas.

De estos puntos sacamos la justificación de los programas de mantenimiento y de la necesidad del departamento de mantenimiento, se encuentra en que sirven para asegurar la disponibilidad de las turbinas de gas en un punto de óptimo rendimiento. Por tanto el mantenimiento se considera como punto integral de la compañía.

3.c.) FACTORES QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO DE LA TURBINA DE GAS.

Los factores primordiales que afectan a la turbina de gas, son: El ciclo de trabajo, frecuencia de arranques, calidad del combustible y el medio ambiente.

I. CICLO DE TRABAJO. Las partes de la sección caliente de la turbina de gas están diseñadas para operar en un amplio rango de temperaturas. Los requerimientos de inspección y mantenimiento serán incrementados si están sometidos a choques térmicos que se producen con las variaciones drásticas de temperatura.

II. FRECUENCIA DE ARRANQUES. El número de arranques puede considerarse un factor importante en la vida útil de la turbina de gas.

Entre más frecuentes sean las arrancadas y paradas de la turbina de gas, más frecuentes estarán los componentes de la misma, sujetos a choques térmicos. El choque térmico ocurre después de cada arrancada y cada cambio de carga. Por lo tanto no puede eliminarse, pero puede controlarse con la inspección inmediata después de ese funcionamiento defectuoso y puede evitarse reparaciones costosas.

III. CALIDAD DEL COMBUSTIBLE. Los gases naturales constituyen el combustible excelente para las turbinas -

de gas, por lo que requerirán menos mantenimiento, ya que el gas natural contiene menos impurezas corrosivas que afectan adversamente la vida y funcionamiento de la turbina de gas.

IV. MEDIO AMBIENTE. El medio ambiente en general de una instalación de un productor de gas, no es un factor muy crítico si se supone que seguirán los procedimientos apropiados de mantenimiento de los filtros de aire de entrada. El flujo de aire a través del ducto hacia el comp. axial y turbina gasógena tiene tres funciones principales. El aire es necesario para la combustión, enfriamiento interior y flujo de masa a través de la turbina de gas, para el desarrollo de la energía. Las impurezas en el suministro de aire como polvo y humo se pueden depositar en el interior del compresor axial y reducir su eficiencia, las partículas abrasivas pueden pasar por el interior y tienden a rayar y erosionar los álabes del rotor del compresor axial.

Las sustancias extrañas en el suministro de aire que se depositan en el compresor axial, pueden causar erosión y/o picaduras, especialmente en los álabes del rotor del compresor axial y en la sección caliente. La consecuencia de álabes en el compresor sucios, pueden causar pérdidas de flujo de aire y de potencia, así como temperatura excesiva en el arranque.

3.d.) INSPECCION DE LA TURBINA DE GAS.

La inspección de la turbina de gas, consiste en -- realizar observaciones cuando la turbina de gas está en operación. Los datos que se obtengan de la inspección -- darán una referencia para la investigación de futuras -- fallas, y evitar el paro repentino de la turbina de gas.

También la inspección de la turbina de gas servirá como base para realizar los programas de mantenimiento.

Los siguientes datos deberán ser registrados para permitir la evaluación al final de cada programa de mantenimiento.

- Tiempo de arranque.
- Velocidad del generador de gases.
- Velocidad de la turbina de Potencia.
- Presión de descarga del compresor (Pcd).
- Presión de Pre/Post Lubricación de la bomba principal.
- Presión de Lubricación.
- Temperatura del aceite.
- Presión de gas combustible.

3.d.1) TIPOS DE INSPECCION.

Los tipos de inspección pueden ser clasificados como inspección preventiva, inspección operacional e inspección de desmonte.

I. INSPECCION PREVENTIVA. Esta inspección puede -- realizarse, cuando la turbina de gas se encuentra en operación. Este tipo de inspección incluye el servicio rutinario.

II. INSPECCION OPERACIONAL La inspección operacional, se considera como indicador de la condición general de la turbina de gas, y como guía para planear los programas de mantenimiento preventivo.

La inspección operación, no puede realizarse con la turbina de gas en operación, es necesario parar la unidad por algunas horas.

III. INSPECCION DE DESMONTE. La inspección de desmonte o desensamble, se lleva a cabo cuando la turbina de gas no está en operación. Este tipo de inspección se realizar cuando se ha detectado alguna anomalía o cuando a llegado a las --- 20 000 Hrs. de operación continua. Entre los -- componentes principales se incluyen, chumaceras, compresor de flujo axial, cámara de combustión y las partes de la sección caliente.

3.e) PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LA TURBINA DE GAS
MARCA "SOLAR" MODELO "CENTAURO"

Los programas de mantenimiento preventivo para la -
turbina de gas, los voy a clasificar en 7 tipos de mante-
nimiento y son los siguientes:

- a) Mantenimiento preventivo antes de la opera-
ción.
- b) Mantenimiento preventivo a las 750 Hrs.
- c) Mantenimiento preventivo a las 2 250 Hrs.
- d) Mantenimiento preventivo a las 4 500 Hrs.
- e) Mantenimiento preventivo a las 10 000 Hrs.
- f) Mantenimiento preventivo a las 15 000 Hrs.
- g) Mantenimiento preventivo de inspección ma-
yor a las 20,000 Hrs.

3.e.1) PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ANTES DE LA OPERA-
CION.

Las siguientes actividades, son recomendadas para -
aplicarse al mantenimiento preventivo, antes de la opera-
ción y deben ser efectuadas tan a menudo como sea neces-
ario.

Antes de empezar a efectuar el mantenimiento, es ne-
cesario tomar los datos de la turbina de gas, así como -
las lecturas observadas en los indicadores de la unidad,

antes y después de dicho mantenimiento. Esto es necesario para hacer el historial de dicha turbina y conocer su comportamiento conforme se van aplicando los programas de mantenimiento preventivo a las diferentes horas.

FECHA - - - - -
 ESTACION NO. - - - - -
 TURBINA NO. - - - - -
 POTENCIA (Kw) - - - - -
 LECTURA HOROMETRO - - - - -

LECTURAS OBSERVADAS ANTES Y DESPUES DEL MANTENIMIENTO.

	ANTES	DESPUES
VELOCIDAD P. G. %	- - - - -	- - - - -
VELOCIDAD T. P. %	- - - - -	- - - - -
TEMPERATURA DE OPERACION	- - - - -	- - - - -
PRESION DE DESCARGA DEL COMPRESOR (pcd).	- - - - -	- - - - -
PRESION DE PRE/POST LUBR.	- - - - -	- - - - -
PRESION DE LUBRICACION	- - - - -	- - - - -
TEMPERATURA DEL ACEITE	- - - - -	- - - - -
PRESION DEL GAS COMBUSTIBLE	- - - - -	- - - - -
TEMP. AMBIENTE.	- - - - -	- - - - -

DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES.

- 1.- Verificar el nivel de aceite en el tanque, si el nivel es-

tá bajo, llene hasta la marca que muestra el indicador del tanque de aceite. No llene el tanque arriba de la marca de "lleno".

- 2.- Comprobar la presión de suministro de gas combustible a la turbina de gas, la presión adecuada es de 1275.5 Kpa efect.
- 3.- Inspeccionar que en la turbina de gas, no haya fugas de -- aceite o de gas combustible, eliminar las fugas en caso de encontrarlas.
- 4.- Inspeccione que los ductos de aire estén limpios, retiren polvo, basura o cualquier otro material extraño que pueda obstruir el paso del aire.
- 5.- Verifique que el sistema de escape no esté obstruido.
- 6.- Inspeccionar visualmente los acoplamientos de los motores de las bombas auxiliares de aceite lubricante por si tuvieran alguna fuga o desgaste.
- 7.- Inspeccionar visualmente que todos los pernos, tuercas, y sujetadores estén bien apretados.
- 8.- Compruebe el estado de todas las conexiones eléctricas, evitando que se encuentren en mal estado.

9.- Inspeccione visualmente que en el área de las turbinas de gas, se encuentre limpio de polvo, basura o aceite en el piso.

10.- Inspeccione que se encuentren limpios los filtros atmosféricos.

Los recursos humanos y materiales necesarios para efectuar el mantenimiento antes de la operación de la turbina de gas, son los siguientes:

- a) Operario especialista mecánico de piso.
- b) Ayudante de operario especialista mecánico de piso.
- c) Operario de primera mecánico de piso.
- d) Ayudante de operario de primera mecánico de piso.
- e) Operario especialista instrumentista.
- f) Ayudante de operario especialista instrumentista.
- g) Operario especialista electricista.
- h) Ayudante de operario especialista electricista.
- i) Ingeniero mecánico electricista.

RELACION DE LABORES.

La siguiente relación de labores es para el personal encargado de efectuar las labores de mantenimiento

de turbina de gas.

PUESTO: Ingeniero Mecánico

FUNCION BASICA: Coordinar las actividades de mantenimiento.

OBLIGACIONES Y RESPONSABILIDADES.

- 1.- Es responsable de coordinar y organizar las actividades de mantenimiento.
- 2.- Apoyar en forma activa e iniciar programas para el mejoramiento de los programas de mantenimiento.
- 3.- Por medio de la clasificación del trabajo, controlar la -- distribución del personal de mantenimiento.
- 4.- A través de informes y de estar en contacto con el perso--
nal, el Ingeniero debe vigilar lo siguiente:
 - a) Verificar la calidad del trabajo.
 - b) Distribución de herramientas y refacciones.
 - c) Control de materiales de mantenimiento.
 - d) Vigilar que el personal tenga la indumentaria -
que proporciona la empresa (zapatos, ropa, cas-
co protector).
- 5.- A través de datos informativos proporcionar el avance de -
mantenimiento, además de los costos.

PUESTO: Operario Especialista Mecánico de Piso.

FUNCION BASICA: Efectuar las labores de mantenimiento - de acuerdo con las órdenes e instrucciones de su superior.

OBLIGACIONES Y RESPONSABILIDADES.

- 1.- Tiene la obligación de efectuar trabajos especializados en la rama de mecánico de piso, tales como:
 - a) Reparación, reconstrucción, prueba y ajuste de turbinas de gas, bomba centrífuga y motores de combustión interna.
 - b) Toda clase de trabajos de banca.
- 2.- Tiene la obligación de llevar a cabo trabajos de instalación, desmantelamiento, siguiendo las instrucciones y órdenes de su superior.

PUESTO: Ayudante de Operario Especialista Mecánico de - Piso.

FUNCION BASICA: Acatar las órdenes que le indique su jefe inmediato.

OBLIGACIONES Y RESPONSABILIDADES.

- 1.- Auxiliar en el trabajo encomendado al operario especialista mecánico de piso.
- 2.- Tener los conocimientos y práctica en el manejo de la he--

ramienta, así como su nomenclatura.

- 3.- Tiene la responsabilidad de cuidar la herramienta y equipo.
- 4.- Tener limpio el área de trabajo.

PUESTO: Operario de Primera Mecánico de Piso.

FUNCION BASICA: Efectuar trabajos que no requieren ajustes de alta precisión.

OBLIGACIONES Y RESPONSABILIDADES.

- 1.- Es responsable de efectuar limpieza del equipo (Turbina de gas y bomba centrífuga, etc.)
- 2.- Tiene la obligación de efectuar subensambles bajo la supervisión de su jefe inmediato.
- 3.- Tiene la obligación de verificar el correcto funcionamiento de aparatos de medición.
- 4.- Auxiliar directamente al operario especialista a las labores de mantenimiento.

PUESTO: Ayudante de Operario de Primera Mecánico de Piso

FUNCION BASICA: Auxiliar directamente en las labores de mantenimiento a su jefe inmediato.

OBLIGACIONES Y RESPONSABILIDADES

- 1.- Tener los conocimientos y práctica en el manejo de herramientas y equipo.
- 2.- Proporcionar la herramienta y equipo necesaria al efectuar las labores de mantenimiento.
- 3.- Tiene la responsabilidad de cuidar la herramienta y el equipo.
- 4.- Tener limpio el área de trabajo.

PUESTO: Operario Especialista Instrumentista.

FUNCION BASICA: De acuerdo con las órdenes e instrucciones de su superior ejecutar las labores de reparación general, construcción y limpieza del equipo de su rama.

OBLIGACIONES Y RESPONSABILIDADES.

- 1.- Tiene la obligación de desempeñar sus labores en el taller o lugares que sean necesarios sus servicios.
- 2.- Instalar, reparar y desmantelar toda clase de instrumentos de medición y calibrar para su correcta operación.
- 3.- Solicitar oportunamente los materiales, equipo y herramienta necesaria para la ejecución de las labores de mantenimiento.

- 4.- Recibir las órdenes de trabajo de superiores en forma verbal o escrita, e informar sobre las labores encomendadas.

PUESTO: Ayudante de Operario Especialista Instrumentista.

FUNCION BASICA: Auxiliar a su jefe inmediato en las labores de mantenimiento.

OBLIGACIONES Y RESPONSABILIDADES.

- 1.- Tener los conocimientos y práctica necesarios en el manejo de herramientas y equipo.
- 2.- Conocer las unidades de medición.
- 3.- Tiene la responsabilidad de cuidar el equipo y herramienta que utilicen en el desempeño de sus labores.
- 4.- Tener limpio el área de trabajo.

PUESTO: Operario Especialista Electricista.

FUNCION BASICA: De acuerdo con las órdenes e instrucciones de sus superiores, ejecutar toda clase de trabajos en la instalación, reparación, desmantelamiento de toda clase de equipo eléctrico.

OBLIGACIONES Y RESPONSABILIDADES.

- 1.- Ejecutar las labores de su especialidad en toda clase de instalaciones.
- 2.- Llevar a cabo las labores de mantenimiento siguiendo las instrucciones y órdenes de su superior.
- 3.- De acuerdo con la magnitud e importancia del trabajo, solicitar a su jefe inmediato el equipo, refacciones y personal necesario.
- 4.- Solicitar oportunamente equipo de protección.

PUESTO: Ayudante de Operario Especialista Electricista.

FUNCION BASICA: Auxiliar en las labores de mantenimiento que le indique su jefe inmediato.

OBLIGACIONES Y RESPONSABILIDADES.

- 1.- Tener los conocimientos y práctica en el manejo de herramienta y equipo de su área.
- 2.- Conocer las unidades y saber la operación de instrumentos del área eléctrica.
- 3.- Tiene la responsabilidad de cuidar el equipo y herramienta.
- 4.- Tener limpio el área de trabajo.

3.e.II) PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LA TURBINA DE GAS A LAS 750 HRS. DE OPERACION.

Para realizar este programa de mantenimiento preventivo a las 750 Hrs., es necesario registrar antes de la operación del productor gas, las lecturas de operación, para compararlas con las lecturas al final de haber efectuado este programa.

DATOS DE LA TURBINA DE GAS.

FECHA - - - - -
 ESTACION NO. - - - - -
 TURBINA NO. - - - - -
 POTENCIA (Kw) - - - - -
 LECTURA HOROMETRO - - - - -

LECTURAS OBSERVADAS ANTES Y DESPUES DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

VO.	ANTES	DESPUES
VELOCIDAD P.G.%	- - - - -	- - - - -
VELOCIDAD T.P. %	- - - - -	- - - - -
TEMPERATURA DP.(°C)	- - - - -	- - - - -
PRESION DE DESCARGA DEL COMPRESOR (Pcd)	- - - - -	- - - - -
PRESION DE PRE/POST LUBR.	- - - - -	- - - - -
PRESION DE LUBRICACION	- - - - -	- - - - -
TEMPERATURA DEL ACEITE	- - - - -	- - - - -
PRESION DEL GAS COMBUSTIBLE	- - - - -	- - - - -
TEMP. AMBIENTE	- - - - -	- - - - -

ACTIVIDADES A DESARROLLAR

- 1.- Revisión y limpieza de los inyectores de gas combustible - en caso de detectar alguna fisura cambiarlo, así como revisar el estado de las juntas tipo espiroal y los anillos - o ring.
- 2.- Efectuar revisión, limpieza y sopletar las líneas asociadas a:
 - I) Filtro de aceite del servoactuador.
 - II) Válvula de control de combustible.
 - III) Tubos de presión de descarga del compresor (Pcd).
 - IV) Actuador de álabes variables.
- 3.- Engrasar la rótula de articulación entre el servoactuador de combustible y la válvula reguladora de gas combustible, verificando su funcionamiento.
- 4.- Inspeccionar y limpiar los orificios del tubo de encendido, el cable de ignición, excitador de encendido y bujía; incluyendo la calibración de ésta de 0.065" a 0.085", además verificar conexiones eléctricas del excitador. En caso de ser necesario cambiar la parte que se encuentre deteriorada.

Contar antes con todas las herramientas, instrumentos y partes de repuesto que posiblemente se encuentren dañados según experiencia.
- 5.- Desmontar e inspeccionar el estado físico de los termopares, así como la verificación de sus conexiones eléctricas.

- 6.- Inspección y limpieza de las válvulas solenoides, verificando que éstas abran y cierren correctamente.
- 7.- Efectuar limpieza y calibración a los indicadores de presión diferencial a los filtros de:
 - I) Alta presión diferencial filtros de aceite.
 - II) Alta presión diferencial filtros de gas combustible.
 - III) Alta presión diferencial filtro de admisión de aire.
- 8.- Inspección y limpieza del filtro de admisión de aire al -- productor de gas, para verificar el estado físico o efectuar solamente limpieza en caso de encontrarse en buen estado.
- 9.- Tomar muestras de aceite lubricante, para ser analizado en el laboratorio de análisis y conocer su comportamiento.
- 10.- Inspección de las paletas de los motores de arranque neumático incluyendo limpieza de los lubricadores por niebla de aceite.
- 11.- Inspección de los motores neumáticos de las bombas auxiliares de lubricación y aceite hidráulico.
- 12.- Comprobación de funcionamiento de las lámparas indicadoras de condiciones de operación. Cambiar las fundidas.
- 13.- Limpieza al banco de baterías y verificación de la densidad del electrolito. Rellenar las baterías según convenga.
- 14.- Inspección y limpieza al cargador de baterías, reapretar conexiones al cargador y baterías.

15.- Efectuar lavado del compresor de flujo axial.

16.- Inspección del generador de gases por medio del boroscopio para determinar si existen anomalías o no.

Los recursos humanos necesarios para realizar este mantenimiento preventivo de 750 Hrs. al productor de gas, son los siguientes:

- a) Operario especialista mecánico de piso.
- b) Ayudante de operario especialista mecánico de -
piso.
- c) Operario de primera mecánico de piso.
- d) Ayudante de operario de primera mecánico de pi-
so.
- e) Operario especialista instrumentista.
- f) Ayudante de operario especialista instrumentis-
ta.
- g) Operario especialista electricista.
- h) Ayudante de operario electricista.
- i) Ingeniero mecánico electricista.

3.e.III) PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA TURBINA DE GAS A LAS 2 250 HRS. DE OPERACION.

Para poder efectuar el mantenimiento preventivo de las 2 250 Hrs. al productor de gas, Marca "Solar", Mod. "Centaurus", es necesario haber efectuado completamente el programa de las 750 Hrs. y haber hecho las comparaciones de los datos de operación antes y después de dicho programa de mantenimiento; para conocer el comportamiento efectivo del productor de gas.

Al realizar el programa de las 2 250 Hrs., es necesario que la unidad se encuentre fuera de operación.

DATOS DE LA TURBINA DE GAS.

FECHA - - - - -

ESTACIÓN NO. - - - - -

TURBINA NO. - - - - -

POTENCIA (Kw) - - - - -

LECTURA HOROMETRO - - - - -

LECTURAS OBSERVADAS ANTES Y DESPUES DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

	ANTES	DESPUES
VELOCIDAD P. G. %	- - - - -	- - - - -
VELOCIDAD P. T. %	- - - - -	- - - - -
TEMP. DE OPERACION	- - - - -	- - - - -
PRESION DE DESCARGA DEL COMPRESOR (pcd)	- - - - -	- - - - -
PRESION DE PRE/POST LUBR.	- - - - -	- - - - -
PRESION DE LUBRICACION DE LA BOMBA PRINCIPAL DE LUBR.	- - - - -	- - - - -
TEMPERATURA DEL ACEITE	- - - - -	- - - - -
PRESION DEL GAS COMBUSTIBLE	- - - - -	- - - - -
TEMP. AMBIENTE.	- - - - -	- - - - -

DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES.

Para efectuar este programa de mantenimiento preventivo de las 2 250 Hrs., es necesario parar la turbina de gas. Verificar el cierre de gas combustible.

- 1.- Anote las lecturas sospechosas. Investigue la causa hasta solucionar la anomalfa.
- 2.- Inspeccionar los filtros de aceite, los filtros de gas combustible, los filtros de control de gas combustible, y los filtros de admisión de aire. En caso de localizar alguna -

anomalía en cualquiera de ellos, sustituirlos.

- 3.- Cuando se inspeccione el filtro de aceite lubricante, obtener una muestra de aceite lubricante para enviarlo a laboratorio. En caso de ser necesario cambiar el aceite.
- 4.- Efectúe la limpieza y sopleteo de los inyectores de gas combustible.
- 5.- Efectuar limpieza y sopleteo asociados a:
 - a) Tubefías de presión de descarga del compresor.
 - b) Actuador de control de álabes variables.
 - c) Válvula de control de gas combustible.
 - d) Filtro de aceite de servoactuador.
- 6.- Inspección y desarmado del actuador de álabes variables, - para efectuar limpieza y verificar el estado físico de los anillos O'ring.
- 7.- Checar la calibración nuevamente del actuador de álabes variables, una vez que se ha inspeccionado y armado.
- 8.- Desmontar e inspeccionar el estado físico de los componentes de la válvula de purga de aire.
- 9.- Desmontar e inspeccionar el estado físico de los termopares.
- 10.- Efectuar limpieza del compresor de flujo axial.

Los recursos humanos necesarios para la realización del programa de mantenimiento a las 2 250 Hrs. de operación.

- a) Operario especialista mecánico de piso.
- b) Ayudante de operario especialista mecánico de piso.
- c) Operario de primera mecánico de piso.
- d) Ayudante de operario de primera mecánico de piso.
- e) Operario especialista instrumentista.
- f) Ayudante de operario especialista instrumentista.
- g) Operario especialista electricista.
- h) Ayudante de Operario especialista electricista.
- i) Ingeniero mecánico electricista.

3.e.IV) PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA TURBINA DE GAS SOLAR MODELO CENTAURO, A LAS 4 500 HRS. DE OPERACION.

Para poder efectuar el mantenimiento preventivo de las 4 500 Hrs., a la turbina de gas Marca "Solar" Mod. -- "Centauro", es necesario haber efectuado completamente el programa de mantenimiento preventivo de las 2 250 Hrs., y haber efectuado las comparaciones de los datos de operación antes y después de dicho programa de mantenimiento; con el objeto de conocer el comportamiento de la turbina de gas.

Al realizar el programa de mantenimiento de las ---- 4 500 Hrs., es necesario parar la unidad durante.

DATOS DE LA TURBINA DE GAS.

FECHA - - - - -

ESTACION NO. - - - - -

TURBINA NO. - - - - -

POTENCIA (Kw) - - - - -

LECTURA HOROMETRO - - - - -

LECTURAS OBSERVADAS ANTES Y DESPUES DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

	ANTES	DESPUES
VELOCIDAD P.G.%	- - - - -	- - - - -
VELOCIDAD P.T.%	- - - - -	- - - - -
TEMP. DE OPERACION	- - - - -	- - - - -
PRESION DE DESCARGA DEL COMPRESOR (Pcd)	- - - - -	- - - - -
PRESION DE PRE/POST LUBR.	- - - - -	- - - - -
PRESION DE LUBRICACION DE LA BOMBA PRINCIPAL	- - - - -	- - - - -
TEMPERATURA DEL ACEITE	- - - - -	- - - - -
PRESION DEL GAS COMBUSTIBLE	- - - - -	- - - - -
TEMPERATURA AMBIENTE	- - - - -	- - - - -

DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES

Para efectuar este programa de mantenimiento preventivo de las 4 500 Hrs., es necesario parar la turbina aproximadamente 10 jornadas, tiempo necesario para efectuar este mantenimiento.

- 1.- Verificar el funcionamiento de las lámparas indicadoras de las condiciones de operación. Cambiar las que se encuentren fundidas.
- 2.- Efectuar revisión y limpieza a los indicadores de presión diferencial asociados:

- a) Alta presión diferencial de los filtros de aceite.
- b) Alta presión diferencial de los filtros de gas -- combustible.
- c) Alta presión diferencial de los filtros de admisión de aire.

- 3.- Efectuar limpieza al sistema de lubricación, cambiar el aceite y los filtros de lubricación, de acuerdo con los reportes del análisis efectuado en el laboratorio.
- 4.- Inspección del estado físico de los filtros de aceite, de gas combustible, filtro de la válvula de control de gas combustible, de admisión, de aire y de gas piloto.
- 5.- Verificar que los motores neumáticos de las bombas auxiliares de aceite lubricante, de aceite de sello y motores de arranque funcionen correctamente y verificar que el flujo de aceite de lubricación sea el adecuado (de 60 a 100 g^otas por minuto), de ser necesario desarmar dichos motores neumáticos.
- 6.- Inspeccionar el servoactuador y sus articulaciones tengan el apretado correcto. Es necesario desarmar el servoactuador para verificar el estado en que se encuentran los anillos O'ring.
- 7.- Retirar y efectuar limpieza de la válvula de purga de aire.

del compresor.

- 8.- Sopletear las líneas asociadas al actuador de álabes variables y retirar dicho actuador para verificar el estado de los anillos "O" rings, para evitar fugas de aceite. Montarlo y calibrarlo nuevamente.
- 9.- Inspección y limpieza de los inyectores de gas combustible, así como los anillos "O" rings.
- 10.- Inspeccionar el cable de ignición, el excitador de encendido y bujía.
- 11.- Desmontar e inspeccionar el estado físico de los termopares o detectores de temperatura de la turbina de gas.
- 12.- Efectuar el lavado del compresor de flujo axial. Al final del capítulo describiré los tres métodos de lavado del compresor.
- 13.- Efectuar un análisis de vibración a la turbina de gas empleando el analizador 7H-8.

3.e.V) PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA TURBINA DE GAS A LAS 10 000 HRS.

Para efectuar este programa de mantenimiento preventivo, es necesario que la turbina se encuentre fuera de operación durante 10 jornadas, tiempo necesario para efectuar este mantenimiento.

Antes de empezar este programa de mantenimiento es necesario registrar:

DATOS DE LA TURBINA DE GAS.

FECHA - - - - -

ESTACION NO. - - - - -

TURBINA NO. - - - - -

POTENCIA (KW) - - - - -

LECTURA HOROMETRO - - - - -

LECTURAS OBSERVADAS ANTES Y DESPUES DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

	ANTES	DESPUES
VELOCIDAD P.G.%	- - - - -	- - - - -
VELOCIDAD P.T.%	- - - - -	- - - - -
TEMP. DE OPERACION ($^{\circ}$ C)	- - - - -	- - - - -
PRESION DE DESCARGA DEL COMPRESOR (Pcd)	- - - - -	- - - - -
PRESION DE PRE/POST LUBR.	- - - - -	- - - - -
PRESION DE LUBR. (Kpa)	- - - - -	- - - - -
TEMPERATURA DEL ACEITE	- - - - -	- - - - -
PRESION DEL GAS COMB.(Kpa)	- - - - -	- - - - -
TEMP. DE ENTRADA AMB.($^{\circ}$ C)	- - - - -	- - - - -

Los recursos necesarios para realizar este programa de mantenimiento preventivo de las 10 000 Hrs. a la turbina de gas son los siguientes:

- a) Operario especialista mecánico de piso.
- b) Ayudante de operario especialista mecánico de piso.
- c) Operario de primera mecánico de piso.
- d) Ayudante de operario de primera mecánico de piso.
- e) Operario especialista instrumentista.
- f) Ayudante de operario especialista instrumentista.
- g) Operario especialista electricista.
- h) Ayudante de operario especialista electricista.
- i) Ingeniero mecánico electricista.

ACTIVIDADES A DESARROLLAR.

- 1.- Revisión y limpieza del banco de baterías y verificar la densidad del electrolito. Rellenar las baterías según convenga.
- 2.- Efectuar el cambio de aceite lubricante y tomar muestras del aceite en uso para su análisis.
- 3.- Desmontar y sopletear con aire, los inyectores y múltiple de gas combustible, además cambiar los anillos "O" ring.
- 4.- Inspeccionar los termopares de temperatura; sustituirlos de ser necesario.
- 5.- Desmontar las válvulas primaria y secundaria, de cierre de gas combustible para limpiarlas, efectuar el cambio de anillos "O" ring y filtros.
- 6.- Desmontar la válvula del acelerador y servoactuador electrohidráulico para inspección y limpieza, además verificar el estado del filtro de servoaceite. Al término de esta inspección calibrarlos nuevamente con el conjunto de la articulación.
- 7.- Desmontar las válvulas piloto y válvula de alivio, para inspección y limpieza, y efectuar el cambio de filtros.

- 8.- Desmontar e inspeccionar el estado del cable de ignición, - excitador de encendido, tubo de encendido y bujía, verificando su calibración de 0.065 Pulg. a 0.085 Pulg.
- 9.- Desmontar la válvula de purga de aire, para realizar su limpieza correspondiente y calibración.
- 10.- Inspección y limpieza de las válvulas solenoides, para localizar posibles fugas y suciedad.
- 11.- Desmontar e inspeccionar la válvula de control de gas combustible.
- 12.- Desmontar el actuador de álabes variables, para efectuar limpieza y verificar el estado de los anillos "O" ring, para evitar posibles fugas de aceite; además sopletear las líneas asociadas a este sistema.
- 13.- Desmontar e inspeccionar los motores gemelos de arranque neumático, verificando el grado de desgaste y que sus sellos no tengan fugas y que los lubricadores provean el flujo de aceite apropiado que es de 60 a 100 gotas por minuto.
- 14.- Verificar que todos los medidores e indicadores de la unidad funcionen correctamente, de ser necesario calibrarlos nuevamente.

- 15.- Efectuar la limpieza del compresor de flujo axial de la -
unidad, a base de (carboblant.MR)
- 16.- Verificar el alineamiento entre el reductor de velocidad
y la bomba centrífuga.
- 17.- Efectuar un análisis de vibración.

3.e.VI) PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA TURBINA
DE GAS SOLAR MODELO CENTAURO A LAS 15 000 HRS.

Para poder efectuar el programa de mantenimiento --- preventivo de las 15 000 Hrs. a la turbina de gas Marca - Solar Modelo Centauro, es necesario haber efectuado com--- pletamente el programa de mantenimiento preventivo de las 10 000 Hrs. y haber efectuado las comparaciones de los da tos de operación, antes y después de dicho programa de -- mantenimiento; el objetivo de estas comparaciones, son -- las de conocer el comportamiento de la turbina de gas por medio de la aplicación del programa de mantenimiento.

DATOS DE LA TURBINA DE GAS.

FECHA - - - - -

ESTACION NO. - - - - -

TURBINA NO. - - - - -

POTENCIA (Kw) - - - - -

LECTURA HOROMETRO - - - - -

NO. DE SERIE - - - - -

LECTURAS OBSERVADAS ANTES Y DESPUES DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.	ANTES	DESPUES
VELOCIDAD P.G.%	- - - - -	- - - - -
VELOCIDAD P.T.%	- - - - -	- - - - -
TEMP. DE OPERACION	- - - - -	- - - - -
PRESION DE DESCARGA DEL COMPRESOR	- - - - -	- - - - -
PRESION DE PRE/POST LUBR.	- - - - -	- - - - -
PRESION DE LUBRICACION DE LA BOMBA PRINCIPAL	- - - - -	- - - - -
TEMPERATURA DEL ACEITE	- - - - -	- - - - -
PRESION DEL GAS COMB.	- - - - -	- - - - -
TEMPERATURA AMBIENTE	- - - - -	- - - - -

DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES

Para efectuar este programa de mantenimiento preventivo - de las 15 000 Hrs. es necesario parar la turbina de gas durante 10 jornadas, tiempo suficiente para este mantenimiento.

- 1.- Inspeccionar todas las tuberias y mangueras, a su vez tratar de localizar posibles fugas; cambiar las tuberias y -- mangueras que se encuentren en mal estado.
- 2.- Inspección y limpieza de los filtros de admisión de aire y del conducto de entrada de aire; cambiar los filtros que -

se encuentren en mal estado. Mantener limpio el área de filtros.

3.- Verificar el funcionamiento de las lámparas indicadoras de las condiciones de operación, cambiar las que se encuentran fundidas.

4.- Verificar que el sistema de alimentación de energía eléctrica de baterías y cargador de baterías funcionen correctamente.

5.- Inspección, limpieza y sopleado de líneas asociadas a:

- a) Filtro de aceite del servoactuador.
- b) Actuador de álabes variables.
- c) Válvula de control de gas combustible.
- d) Presión de descarga del compresor.

6.- Efectuar el cambio de aceite lubricante, de acuerdo con el análisis efectuado en el laboratorio.

7.- Efectuar el lavado del compresor de aire de flujo axial y revisar el estado físico de la malla protectora de la carcasa de aire; de ser necesario cambiarla.

8.- Efectuar la inspección boroscópica de la turbina de gas.

La necesidad de efectuar la inspección boroscópica a la turbina de gas, es con el objetivo de conocer el esta

do físico de cada uno de los componentes de esta unidad. - En caso de localizar defectos o cuerpos extraños dentro de la unidad, es necesario efectuar el desensamble para corregir dicha anomalía y evitar daños más costosos; de otro modo se puede incurrir en errores tal como desensambles innecesarios de la turbina de gas. Los boroscopios utilizados para realizar esta inspección son de dos tipos a saber:

- a) Boroscopio rígido (American Cystoscope ACMI-95)
- b) Boroscopio Olympus fiberope flexible.

PUNTOS DE INSPECCION.

- a) Grietas, abolladuras, grietas en soldaduras.
- b) Puntos quemados.
- c) Erosión o corrosión.
- d) Fricción de las puntas de los álabes.
- e) Alabes agrietados, rotos.
- f) Suciedad y cuerpos extraños.

8.A) INSPECCION BORDSCOPICA DE LA ZONA CALIENTE.

Para efectuar esta inspección, es necesario parar la turbina de gas.

El acceso de la turbina de gas para la introducción de la sonda de boroscopio, es a través del orificio del inyector de gas combustible, a través de la brida de la -

válvula de la purga de gas, a través de los orificios de los termopares. T₅.

TABLA NO. 1

PARTE	INSPECCION POR	ACCESO	TIPO DE BOROSCOPIO
Revestimiento interno y externo de la C.C.	Abolladuras, grietas en las soldaduras, corrosión, suciedad.		Rígido y Flexible.
Puntas del inyector.	Desgaste y corrosión.		Rígido y Flexible.
Conjunto de toberas de la 1a. y 2a. etapa.	Erosión, corrosión, grietas causadas por objetos extraños y por desgaste.		Rígido y Flexible.
Alabes del primer y segundo paso de la turbina gasógena.	Daño por objetos extraños, erosión, corrosión, grietas visuales.	Orificio de los termopares T ₅ .	Rígido.
Conjunto de toberas de la 3a. etapa.	Erosión, corrosión, grietas, desgaste.	Orificio de los termopares T ₅ .	Rígido.
Turbina de potencia.	Daño por objetos extraños, erosión, corrosión y por desgaste.	Orificio de los termopares T ₅ .	Rígido.

8.b) INSPECCION BOROSCOPICA DE LA SECCION FRIA.

TABLA NO. 2

PARTE	INSPECCION POR	ACCION	TIPO DE BOROSCOPIO
1a. etapa de -- álabes varia--- bles de entrada	Daño por obje- tos extraños,- suciedad y <u>á</u> <u>l</u> bes rotos o <u>d</u> <u>o</u> blados.		Flexible
1a. etapa del - compresor de <u>a</u> re de flujo --- axial.	Alabes rotos,- suciedad im--- pregnada en -- los <u>á</u> labes y - material extra <u>ñ</u> o.		Flexible
2a. etapa de -- álabes varia--- bles de entrada	Daño por obje- tos extraños,- suciedad y <u>á</u> <u>l</u> bes rotos o <u>d</u> <u>o</u> blados.		flexible
2a. etapa del - compresor de <u>a</u> re de flujo --- axial.	Alabes rotos,- suciedad im--- pregnada en -- los <u>á</u> labes y - material extra <u>ñ</u> o.		

Los recursos humanos necesarios para realizar el programa de mantenimiento preventivo de las 15 000 Hrs. de operación, -

son las siguientes:

- a) Operario especialista mecánico de piso.
- b) Ayudante de operario especialista mecánico de piso.
- c) Operario de primera mecánico de piso.
- d) Ayudante de operario de primera mecánico de piso.
- e) Operario especialista instrumentista.
- f) Ayudante de operario especialista instrumentista.
- g) Operario especialista electricista.
- h) Ayudante de operario especialista electricista.
- i) Ingeniero mecánico electricista.

3.e.VII) MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE INSPECCION MAYOR A LAS --
20 000 HRS. DE OPERACION.

La inspección mayor de la turbina de gas, Marca Sollar Modelo Centauro, será planeado a las 20 000 Hrs., dependiendo de la carga utilizada de trabajo y de los requerimiento de operación.

Para efectuar la inspección mayor de la turbina de gas, es necesario efectuar el desensamble; mismo que he dividido en cuatro subensambles, los cuales se indican a continuación:

- 1.- Subensamble de la sección caliente.
- 2.- Subensamble de la sección intermedia.
- 3.- Subensamble del compresor de flujo axial.
- 4.- Subensamble de los álabes variables de entrada.

Una vez que la turbina de gas se encuentre en el área de subensamble, es necesario colocarla en posición horizontal, para retirar los siguientes componentes externos:

- a) Válvula de purga de aire.
- b) Actuador de álabes variables.
- c) Mallas protectoras de la carcaza de admisión de aire.
- d) Tubos de lubricación.

SUBENSAMBLE DE LA SECCION CALIENTE.

Para realizar los cuatro subensambles de la turbina, es necesario colocarle en posición vertical. Por lo tanto los pasos a seguir para este desensamble son los siguientes:

- 1.- Se retira anillo del tercer paso.
- 2.- Retirar el ensamble completo del tercer paso de toberas.
- 3.- Se retira el perno de la turbina gasógena y se retira el segundo paso del rotor de la turbina de gas.
- 4.- Retirar el ensamble de las zapatas del segundo paso.
- 5.- Retirar el ensamble del segundo paso de toberas.
- 6.- Retirar el primer paso del disco rotor de la turbina gasógena.
- 7.- Retirar la flecha de la turbina gasógena.
- 8.- Retirar el ensamble de la carcaza de toberas.
- 9.- Se retiran los diez inyectores y el múltiple de gas combustible.
- 10.- Retirar la cámara de combustión y la carcaza de combustión.
- 11.- Se retira el soporte y alojamiento de la chumacera No. 3.

Mantenimiento de inspección mayor de la sección caliente.

TABLA NO. 3

PARTE	ACCION	INSPECCION POR
Zapatas de la primera y segunda etapa de toberas.	Limpieza con chorro de vapor de agua y jabón industrial.	Grasa y Suciedad.
Toberas de la primera, segunda y tercera etapa.	Limpieza, primero con ácido y después con chorro de vapor	Erosión, corrosión, desgaste, grietas y suciedad en los orificios de entrada de aire de refrigeración.
Carcasa de toberas.	Limpieza con chorro de vapor y jabón industrial.	Corrosión, erosión y desgaste.
Primera y segunda etapas de discos rotor de la turbina que genera.	Limpieza, primero con ácido y después con chorro de vapor y jabón industrial.	Daño por golpes contundentes, erosión, corrosión, y grietas en álabes y discos.
Cámara de combustión	Limpieza con chorro de vapor de agua y jabón industrial. Corregir las grietas en las soldaduras.	Abolladuras, desgaste, erosión, corrosión, grietas en las soldaduras.
Flecha del generador de gases.	Rectificar muñón.	Uso y rayaduras.
Chumacera No. 3.	Inspección.	Enviarla a la sección de metrología para conocer su estado.

Continúa.....

PARTE	ACCION	INSPECCION POR
Inyectores y múltiple de gas combustible.	Limpieza, cambiar todos los anillos "O" ring, y soldar las posibles fugas de gas combustible	Golpes contundentes y fugas de gas combustible.

SUBENSAMBLE DE LA SECCION INTERMEDIA.

Los pasos para efectuar este desensamble es el siguiente:

- 1.- Se retiran 6 tuercas candado de ajuste de juego axial del compresor.
- 2.- Se retiran, anillo retenedor, portachumacera de empuje, chumacera de empuje, espaciador de la -- chumacera, retirar perno seguro de la manga del sello de laberinto.
- 3.- Se retira la carcaza alojamiento de la chumacera No. 2; con herramienta especial se retira la chumacera radial No. 2.
- 4.- Se retira la carcaza difusor de salida.

Mantenimiento de inspección de la sección intermedia.

PARTE	ACCION	INSPECCION POR
Anillo retenedor, -- portachumacera de empuje, chumacera de empuje de salida, espaciador de chumacera, perno seguro de la manga del sello de laberinto.	Limpieza con solvente para retirar la grasa; enviar estos componentes a la sección de metrología.	Desgaste y rayaduras.
Carcaza alojamiento de la chumacera No.2	Limpieza.	Suciedad.
Carcaza del difusor.	Limpieza.	Suciedad.

SUBENSAMBLE DEL COMPRESOR DE FLUJO AXIAL.

Los pasos para desensamblar el compresor de flujo axial es de la siguiente forma:

- 1.- Se afloja y se retira la tuerca de la flecha del compresor axial.
- 2.- Se retira el onceavo paso de disco de rotor del compresor de flujo axial y la flecha. Además se retira el onceavo paso de estator.
- 3.- Inmediatamente después se retira el décimo paso del disco rotor y estator del compresor. Este paso se repite sucesivamente hasta llegar al paso número tres del disco del rotor del compresor.
- 4.- Retirar los tornillos que sujetan a la carcaza del compresor de aire de la carcaza de admisión de aire.

Mantenimiento de inspección mayor del compresor de aire.

TABLA NO. 5

PARTE	ACCION	INSPECCION PLR
Flecha del compresor de aire de flujo axial.	Limpieza con agua y un abrasivo (lija) teniendo cuidado con no dañar la cuerda.	Posible fractura, que se encuentra flexionada y daño en la cuerda.
Discos rotor de cada paso del compresor de aire de flujo axial.	Limpieza; introducir los discos de rotor durante 30 minutos, posteriormente lavarlos con chorro de vapor de agua y jabón industrial.	Daño por objetos extraños, erosión, corrosión y suciedad, grietas.
Estatores del compresor de aire de flujo axial.	Limpieza; introducir los discos de rotor durante 30 minutos, posteriormente lavarlos con chorro de vapor de agua y jabón industrial.	Daño por objetos extraños, erosión, corrosión y suciedad.
Carcasa del compresor.	Limpieza.	Golpes contundentes y verificar que sus dimensiones estén dentro
Sello de aceite de laberinto del cono del primer paso de rotor.	Limpieza.	Daño por roce excesivo.

SUBENSAMBLE DE LOS ALABES VARIABLES.

Los pasos para efectuar el desensamble de los álabes variables, es de la siguiente forma:

- 1.- Una vez que se ha retirado la carcasa del compresor, se procede a retirar o sacar de los tornillos, el tercer paso de álabes variables.
- 2.- Retirar el segundo paso del rotor disco del compresor y el segundo paso de álabes variables.
- 3.- Retirar el primer paso del rotor disco del compresor y el primer paso de álabes variables.
- 4.- Retirar la chumacera No. 1, de la carcasa de admisión de aire.

Mantenimiento de inspección mayor de los álabes variables.

TABLA NO. 6

PARTE	ACCION	INSPECCION POR
10, 20 y 3er. paso de discos de álabes variables.	Limpieza	Suciedad, golpes contundentes por objetos extraños en los álabes, y partes como bujes, arandelas, brazo actuador y anillo bipartido.
Primer y segundo paso disco del rotor del compresor de aire de flujo axial.	Limpieza	Suciedad, golpes contundentes en los álabes y en el disco rotor. Inspeccionar el estado del sello de laberinto del cono del primer paso -- del rotor disco del compresor.
Carcasa de admisión de aire.	Limpieza	Suciedad.
Chumacera No. 1.	Inspección	Enviarla a la sección de metrología para conocer el estado de sus componentes.

LIMPIEZA DEL COMPRESOR DE FLUJO AXIAL DE LA TURBINA DE GAS.

Las impurezas en el suministro de aire a la turbina de gas como el polvo y el humo se pueden depositar en el interior del compresor de flujo axial, reduciendo su eficiencia. Las partículas abrasivas que pueden pasar por la máquina tienden a erosionar los álabes del rotor del compresor y la parte de la sección caliente.

Los álabes sucios del compresor, pueden causar pérdidas de flujo de aire y de potencia de salida. La contaminación, por lo general se acumula lentamente. Por lo tanto, el efecto en el funcionamiento de la máquina es gradual. Sin embargo, el problema puede advertirse inmediatamente por el aumento de temperatura de arranque y la pérdida de potencia útil.

La protección más efectiva contra estos posibles daños, -- consiste en efectuar frecuentes inspecciones en el área de admisión de aire y vigilar cuidadosamente la presión de descarga -- del compresor (P_{cd}).

Con la limpieza del compresor, se eliminan los depósitos de suciedad en los álabes y se restaura la eficiencia hasta un 10 % de la pérdida de potencia de la máquina. Antes de iniciar la limpieza, es necesario registrar los siguientes parámetros: Temperatura ambiente, Velocidad de la turbina gasógena (N_{gp}), y de la turbina de potencia (N_{pt}), Temperatura T_5 , Potencia de --

salida, y Presión de descarga del compresor (Pcd). Registrar los mismos parámetros después de haber efectuado la limpieza, para determinar la efectividad de los procedimientos de limpieza.

MÉTODOS DE LIMPIEZA.

- a) Limpieza con agua.
- b) Limpieza con detergente/solvente.
- c) Limpieza con abrasivos.

a) Limpieza con agua.

Este método de limpieza con agua, es recomendable -- efectuarlo periódicamente, cuando la turbina de gas, - funciona en una atmósfera polvorienta o salina. La limpieza con agua, se efectúa a la velocidad de giro de - arranque, habiendo desactivado el encendido y el suministro de gas combustible.

Se utiliza agua, que se rocía por la boca de admisión de aire, con un gasto de 28 a 30 litros/minuto y a una presión de 137.9 Kpa efect. a 275.8 Kpa efect. - durante cuatro a cinco minutos.

b) Limpieza con detergente/solvente.

Este método de limpieza, se utiliza cuando los álabes del rotor del compresor de flujo axial, están su--

cios de aceite y polvo. Este tipo de limpieza, se lleva a cabo a una velocidad de giro de arranque de la turbina de gas, habiendo desactivado el encendido y el suministro de gas combustible.

Para el proceso de limpieza se requiere aproximadamente de 40 litros de agua, 25 litros de petróleo y una cantidad de 0.5 Kg. de detergente, así como agua para el enjuagado. Tanto el líquido de lavado como el enjuagado se aplican a través de la admisión de aire.

c) Limpieza con abrasivos.

Este método de limpieza se efectúa, cuando la acumulación de aceite y polvo es excesiva, y que los métodos anteriores de limpieza son inefectivos. La limpieza se lleva a cabo, cuando la turbina de gas funciona a la velocidad de giro de arranque, habiendo desactivado el encendido y el suministro de gas combustible.

Entre los materiales abrasivos, se encuentran, la cáscara de nuez molida y el carboblast. Cualquiera de los dos materiales se pueden inyectar por medio de la succión del aire, en la entrada de la sección de aire. Para efectuar esta limpieza con abrasivos, es necesario tener cuidado que la cantidad del material abrasivo sea

el adecuado de acuerdo a la experiencia, el uso indiscriminado puede causar el deterioro de toberas y álabes o -- que se llegue a amarrar el compresor, teniendo consecuencias graves.

3.e.VIII) DESCRIPCION DE LAS OPERACIONES EN EL TALLER DE MANTTO.

Para describir las actividades que se realizan en el recorrido en el taller, para el mantenimiento de la turbina de gas es necesario contar con el diagrama de actividades correspondientes a la distribución de las operaciones, como se puede observar en la Fig. 2.27

En esta figura se puede detectar que hay 10 actividades y 3 inspecciones para este recorrido, y tienen que pasar las siguientes áreas: Área de desensamble, Área de limpieza, Área de inspección por corrientes parásitas y partículas magnéticas y magna flux, a metrología, balanceo dinámico, ensamble, pintura y por último a prueba de vibraciones.

En la Fig. 2.28, que es el diagrama de proceso para el ensamble de la turbina de gas, donde muestra la secuencia cronológica de todas las operaciones para el ensamble. Señala la entrada de todos los componentes y subensambles al ensamble con el conjunto principal. Otro punto de importancia de este diagrama, es que en cada operación va asignado el tiempo en que debe realizar dicha operación.

TESIS LUIS R CUEVAS MRTZ UNAM
 DIAGRAMA DE RECORRIDO DE ACTIVIDADES CORREAS
 PONIENTE A LA DISTRIBUCION DE LAS OPERACIONES
 PARA LA REPARACION DE TURBINAS DE GAS.
 ESC. ACOT. 1:125
 FECHA: 09-85 LPCM
 DISEÑADA: 2.27

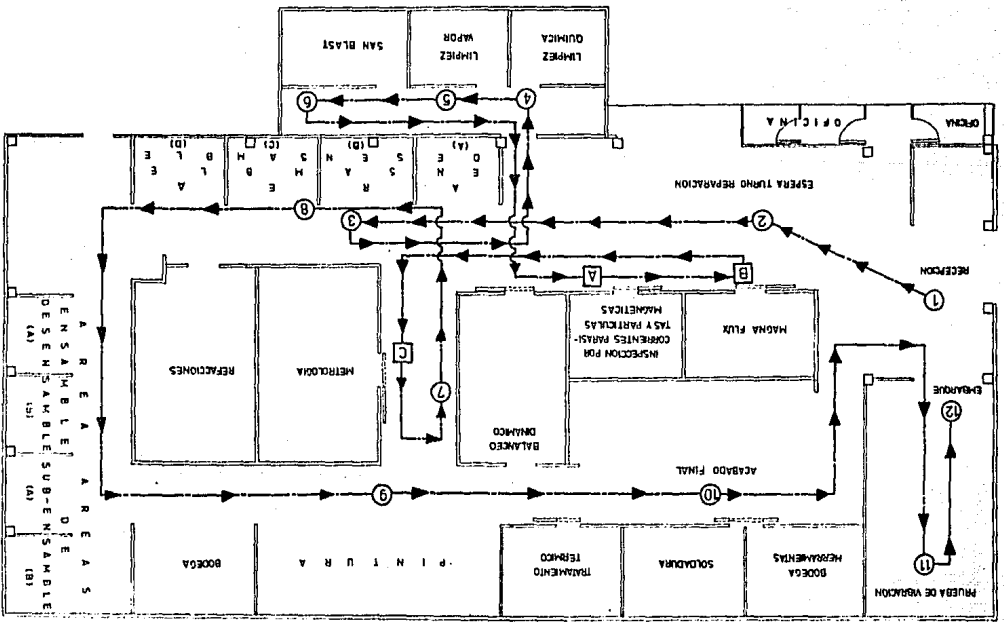


DIAGRAMA DE OPERACIONES DE PROCESO

Mantenimiento preventivo de La turbina de gas marca SOLAR modelo CENTAURO (tiempos empujados en ENSAMBLAJE)
Realizado por Luis F. Cuevas Martínez Julio, de 1987.

140

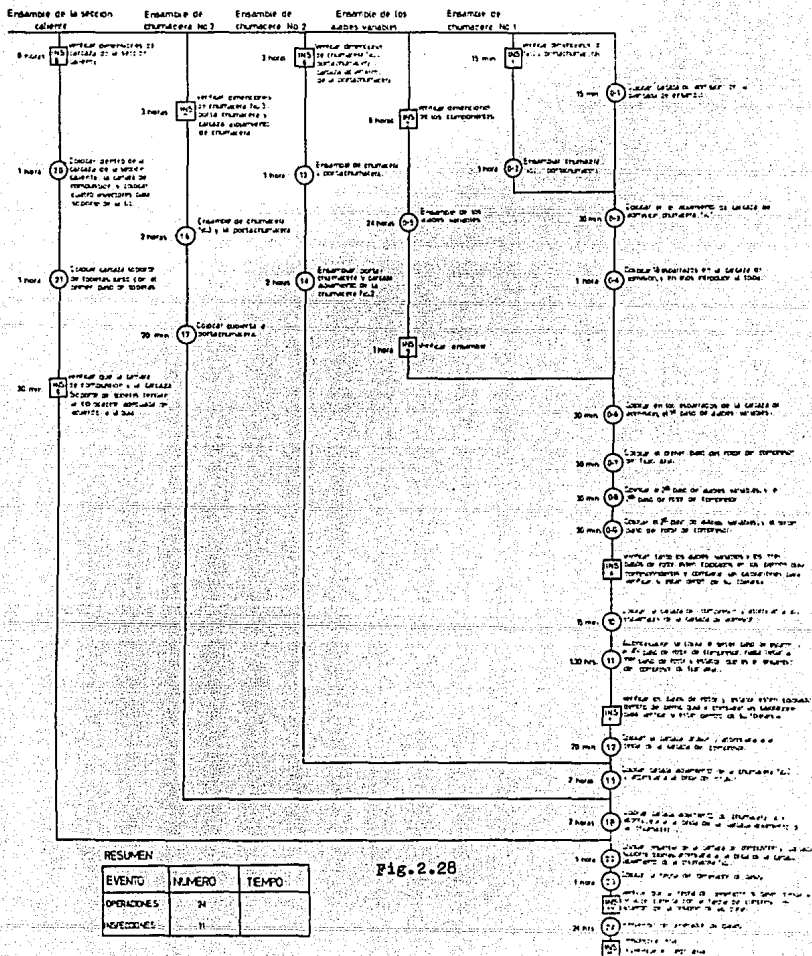


Fig. 2.28

CAPITULO IV

ESTIMACION DEL COSTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA TURBINA DE GAS.

4.a) INTRODUCCION: Las principales partidas que deben ser consideradas en el análisis económico del mantenimiento preventivo de la turbina de gas Marca Solar, Modelo Centauro, son las siguientes:

COSTO DE LOS PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

- a) Costo del programa de mantenimiento preventivo antes de la operación.
- b) Costo del programa de mantenimiento preventivo a las 750 Hrs.
- c) Costo del programa de mantenimiento preventivo a las 2 250 Hrs.
- d) Costo del programa de mantenimiento preventivo a las 4 500 Hrs.
- e) Costo del programa de mantenimiento preventivo a las 10 000 Hrs.
- f) Costo del programa de mantenimiento preventivo a las 15 000 Hrs.
- g) Costo de mantenimiento preventivo de inspección mayor a las 20 000 Hrs. de operación.

Costo de mano de obra

Costo de refacciones.

Costo de servicios foráneos.

4.b) COSTO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ANTES DE LA OPERACION.

RECURSOS HUMANOS	CANT.	SALARIO \$	JORNADAS	COSTO TOTAL \$
Op.Esp.Mec.de Piso	1	11 000	3	33 000
Ayte.Op.Esp.Mec.de Piso	1	7 500	3	22 500
Op.Esp.Mec.de Piso	1	11 000	3	33 000
Ayte.Op.Esp.Mec.de Piso	1	7 500	3	22 500
Op.de Primera Mec.de Piso	1	9 300	3	27 900
Ayte.de Primera Mec.de Piso	1	6 900	3	20 700
Op.Esp. Instrumentista	1	11 000	3	33 000
Ayte.Op.Instrumentista	1	7 500	3	22 500
Op.Esp.Electricista	1	11 000	3	33 000
Ayte.de Op.Esp.Electricista	1	7 500	3	22 500
Ing. Mecánico Electricista	1	17 000	3	51 000
				<u>\$ 266 100</u>
				=====

Costo de mano de obra

Costo de refacciones.

Costo de servicios foráneos.

4.b) COSTO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ANTES DE LA OPERACION.

RECURSOS HUMANOS	CANT.	SALARIO \$	JORNADAS	COSTO TOTAL \$
Op.Esp.Mec.de Piso	1	11 000	3	33 000
Ayte.Op.Esp.Mec.de Piso	1	7 500	3	22 500
Op.Esp.Mec.de Piso	1	11 000	3	33 000
Ayte.Op.Esp.Mec.de Piso	1	7 500	3	22 500
Op.de Primera Mec.de Piso	1	9 300	3	27 900
Ayte.de Primera Mec.de Piso	1	6 900	3	20 700
Op.Esp. Instrumentista	1	11 000	3	33 000
Ayte.Op.Instrumentista	1	7 500	3	22 500
Op.Esp.Electricista	1	11 000	3	33 000
Ayte.de Op.Esp.Electricista	1	7 500	3	22 500
Ing. Mecánico Electricista	1	17 000	3	51 000
				<hr/>
				\$ 266 100
				=====

4.c) COSTO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LAS 750 HORAS DE OPERACION.

RECURSOS HUMANOS	CANT.	SALARIO \$	JORNADAS	COSTO TOTAL \$
Op.Esp.Mec.de Piso	1	11 000	7	77 000
Ayte.Op.Esp.Mec.de Piso	1	7 500	7	52 500
Op.de Primera Mec.de Piso	1	9 300	7	65 100
Ayte.de Primera Mec.de Piso	1	6 900	7	48 300
Op.Esp.Instrumentista	1	11 000	7	77 000
Ayte.Op.Esp.Instrumentista	1	7 500	7	52 500
Op.Esp. Electricista	1	11 000	7	77 000
Ayte.Esp. Electricista	1	7 500	7	52 500
Ing. Mecánico Electricista	1	17 000	7	119 000
				<u>\$620 900</u>

4.d) COSTO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LAS 2 250 HORAS DE OPERACION,

RECURSOS HUMANOS	CANT.	SALARIO	JORNADAS	COSTO TOTAL \$
Op.Esp.Mec.de Piso	1	11 000	10	110 000
Ayte.Op.Esp.Mec.de Piso	1	7 500	10	75 000
Op.de Primera Mec.de Piso	1	9 300	10	93 000
Ayte.Op.de Primera Mec.de Piso	1	6 900	10	69 000
Op.Esp.Instrumentista	1	11 000	10	110 000
Ayte.Op.Esp.Instrumentista	1	7 500	10	75 000
Op.Esp.Electricista	1	11 000	10	110 000
Ayte.Op.Esp.Electricista	1	7 500	10	75 000
Ing. Mecánico Electricista	1	17 000	10	170 000
SUB-TOTAL;				887 000
COSTO DE MATERIALES:				
Cambio de 837 litros de aceite.				1 255 500
Materiales usados para efectuar el lavado del compresor de flujo axial.				14 500
T O T A L :				\$2 157 000
				=====

4.e) COSTO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LAS 4 500
HRS. DE OPERACION.

RECURSOS HUMANOS	CANT.	SALARIO \$	JORNADAS	COSTO TOTAL \$
Op.Esp.Mec.de Piso	1	11 000	10	110 000
Ayte.Op.Esp.Mec.de Piso	1	7 500	10	75 000
Op.de Primera Mec.de Piso	1	9 300	10	93 000
Ayte.Op.de Primera Mec.de Piso	1	6 900	10	69 000
Op.Esp.Instrumentista	1	11 000	10	110 000
Ayte.Op.Instrumentista	1	7 500	10	75 000
Op.Esp.Electricista	1	11 000	10	110 000
Ayte.Op.Esp.Electricista	1	7 500	10	75 000
Ing. Mecánico Electricista	1	17 000	10	170 000
SUB-TOTAL:				887 000
COSTO DE MATERIALES:				
Cambio de 837 litros de aceite lubricante.				1 255 500
Cambio de filtros para aceite.				25 000
Cambio de O'ring, empaques.				6 000
Material de lavado del compresor.				14 500
Costo de prueba de vibración.				95 000
SUB-TOTAL:				1 396 000
COSTO TOTAL:				\$2 283 000
				=====

4.F) COSTO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LAS ----
10 000 HRS. DE OPERACION.

RECURSOS HUMANOS	CANT.	SALARIO \$	JORNADAS	COSTO TOTAL \$
Op.Esp.Mec.de Piso	1	11 000	10	110 000
Ayte.Op.Esp.Mec.de Piso	1	7 500	10	75 000
Op.de Primera Mec.de Piso	1	9 300	10	93 000
Ayte.Op.de Primera Mec.de Piso	1	6 900	10	69 000
Op.Esp.Instrumentista	1	11 000	10	110 000
Ayte.Op.Esp.Instrumentista	1	7 500	10	75 000
Op.Esp. Electricista	1	11 000	10	110 000
Ayte.Op.Esp.Electricista	1	7 500	10	75 000
Ing. Mecánico Electricista	1	17 000	10	170 000

SUB-TOTAL: 887 000

COSTO DE MATERIALES:

Cambio de 837 litros de aceite.	1 255 500
Materiales usados para efectuar el lavado del compresor.	14 500
Costo de prueba de vibración.	95 000
Refacciones.	45 000

SUB-TOTAL: 1 410 000

COSTO TOTAL: \$2 297 000

4.g) COSTO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LAS ----
15 000 HRS. DE OPERACION.

RECURSOS HUMANOS	CANT.	SALARIO \$	JORNADAS	COSTO TOTAL \$
Op.Esp.Mec.de Piso	1	11 000	10	110 000
Ayte.Op.Esp.Mec.de Piso	1	7 500	10	75 000
Op.de Primera Mec.de Piso	1	9 300	10	93 000
Ayte.Op.de Primera Mec.de Piso	1	6 900	10	69 000
Op.Esp.Instrumentista	1	11 000	10	110 000
Ayte.Op.Esp.Instrumentista	1	7 500	10	75 000
Op.Esp.Electricista	1	11 000	10	110 000
Ayte.Op.Esp.Electricista	1	7 500	10	75 000
Ing. Mecánico Electricista	1	17 000	10	170 000
				887 000
COSTO DE MATERIALES:				
Cambio de 837 litros de aceite.				1 255 500
Costo de prueba de vibración.				95 000
Refacciones.				40 000
				1 390 500
				COSTO TOTAL: \$2 277 500
				=====

4.h.) COSTO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE INSPECCION MAYOR A LAS 20 000 HRS. DE OPERACION.

ACTIVIDAD	RECURSOS HUMANOS	CANT.	SALARIO \$	JORNADAS	COSTO TOTAL \$
Desensamble	Op.Especialista	1	11 000	14	154 000
	Ayte.Op.Esp.	1	7 500	14	105 000
	Obrero general	1	6 600	14	94 200
	Supervisor	1	13 000	10	130 000
	Ing. Mecánico	1	17 000	5	85 000
Limpieza	Op. de 1a.	1	9 300	5	46 500
	Ayte. Op. 1a.	1	6 900	5	34 500
	Obrero General	1	6 600	5	33 000
Area de Metrología	Op.Especialista	2	11 000	6	132 000
	Ayte. Op. Esp.	2	7 500	6	90 000
	Obrero General	2	6 600	6	79 200
	Ing. Mecánico	1	17 000	6	102 000
Ensamble	Op. Especialista	1	11 000	14	154 000
	Ayte. Op. Esp.	1	7 500	14	105 000
	Obrero General	1	6 600	14	94 200
	Supervisor	1	13 000	10	130 000
	Ing. Mecánico	1	17 000	8	136 000
Prueba de la Turbina de Gas.	Op. Especialista	1	11 000	8	88 000
	Ayte. Op. Esp.	1	7 500	8	60 000
	Op. de 1a.	1	9 300	8	74 400
	Ayte. Op. 1a.	1	6 900	8	63 200
	Obrero General	1	6 600	8	52 800
	Ing. Mecánico	1	17 000	8	136 000
COSTO TOTAL:					2 179 000
					=====

4.h.I) COSTO DE REFACCIONES.

DESCRIPCION	CANT.	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
Tuerca candado	6	3 800	22 800
Tuerca piñón	1	139 200	139 200
Piñón	1	741 600	741 600
Manga sello de Lab. No. 1	1	39 600	39 600
Manga sello de Lab. No. 2	1	51 600	51 600
Perno de la manga de sello de Lab. 1	1	2 460	2 460
Buje interior	108	576	62 208
Buje anillo de salida	72	38 400	2 764 800
Chumacera No. 1	1	784 800	784 800
Manga sello de Lab. No. 3	1	105 200	105 200
Tubo de ignición	1	231 600	231 600
Sello panel 1er. P. de rotor	1	466 800	466 800
Anillo zapata	1	3 321 600	3 321 600
Arandela de empuje	1	183 600	183 600
Arandela de empuje	1	340 800	340 800
Empaque	1	7 200	7 200
O'ring	1	264	264
Laina	11	1 200	13 200
O'ring	2	276	552
O'ring	2	104	208
Abrazadera	6	396	2 376
Empaque	10	900	9 000
Empaque	1	1 400	1 400

COSTO TOTAL: \$9 292 868

=====

4.h.II) COSTO DE SERVICIOS FORANEOS PARA LA REHABILITACION DE COMPONENTES DE LA TURBINA DE GAS.

DESCRIPCION	CANT.	PRECIO UNITARIO \$	IMPORTE \$
Balanceo dinámico del rotor del compresor axial.	1	390 845	390 845
Balanceo dinámico del rotor de la turbina gasógena.	1	275 000	275 000
Rehabilitación de la cámara de combustión.	1	1 450 000	1 450 000
Rehabilitación de la carcasa del compresor.	1	470 000	470 000
SUB-TOTAL:			\$ 2 585 845

I. Costo de mantenimiento de inspección mayor a las 20 000 Hr.

a) Costo de mano de obra.	2 179 000
b) Costo de refacciones.	9 292 868
c) Costo de servicios foráneos.	2 585 845

SUB-TOTAL: \$14 057 713

II. Costo de los programas de mantenimiento. \$ 9 901 500

COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO: \$23 959 213

=====

El costo de mantenimiento preventivo de inspección mayor a las 20 000 Hrs. de la turbina de gas, efectuado en los talleres de Cía. Fabricante, es el siguiente:

	M. N.	DOLARES
I. Insumos Nacionales.	30 000	
II. Insumos Importados.		35 966
III. Partes reemplazadas.		2 981
IV. Partes que no llegaron con el equipo.		290 005
V. Partes acondicionadas.	12 240 255	
VI. Mano de obra.	1 332 593	
	<hr/>	<hr/>
	\$ 13 602 848	328 952
1 Dólar: \$ 427.00	140 462 504	
	<hr/>	
COSTO TOTAL:	\$154 065 352	

Comparando los costos de mantenimiento de inspección mayor efectuado con mano de obra nacional y el efectuado con mano de obra extranjera, nos damos cuenta de la enorme diferencia que existe entre ambos.

Por ejemplo el costo de mantenimiento de inspección mayor, realizado con mano de obra nacional, tiene un costo de: - - -

\$ 14 057 713; este mismo tipo de mantenimiento efectuado en -- los talleres de solar, tiene un costo de \$ 140 462 504, ante - esta evidencia es necesario implementar programas de capacita- ción tanto a operarios como a los ingenieros, para así evitar fuga de divisas.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Del trabajo desarrollado en esta Tesis, he llegado a la conclusión, que si se lleva a cabo correctamente este tipo de mantenimiento preventivo a la turbina de gas, la empresa (Pemex), puede obtener una serie de beneficios como son:

- a) Mayor vida útil.
- b) Disminución del costo de mano de obra de mantenimiento.
- c) Disminución de compras de refacciones.
- d) Disminución de reparaciones repetitivas.
- e) Disminución de pagos generados por el tiempo extra en reparaciones, etc.
- f) Disminución de divisas.

Ya que de no ser así, cuando se le efectúa el mantenimiento de reparación mayor a la turbina de gas, se han encontrado severas fallas debido a la falta de este mantenimiento; entre las fallas más comunes que se han localizado son: roturas de los álabes del compresor y suciedad en el interior del mismo y altas temperaturas. Así mismo se ha observado que al llevar a cabo estos programas de mantenimiento, disminuye el costo de mantenimiento de inspección.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Del trabajo desarrollado en esta Tesis, he llegado a la conclusión, que si se lleva a cabo correctamente este tipo de mantenimiento preventivo a la turbina de gas, la empresa (Pemex), puede obtener una serie de beneficios como son:

- a) Mayor vida útil.
- b) Disminución del costo de mano de obra de mantenimiento.
- c) Disminución de compras de refacciones.
- d) Disminución de reparaciones repetitivas.
- e) Disminución de pagos generados por el tiempo extra en reparaciones, etc.
- f) Disminución de divisas.

Ya que de no ser así, cuando se le efectúa el mantenimiento de reparación mayor a la turbina de gas, se han encontrado severas fallas debido a la falta de este mantenimiento; entre las fallas más comunes que se han localizado son: roturas de los álabes del compresor y suciedad en el interior del mismo y altas temperaturas. Así mismo se ha observado que al llevar a cabo estos programas de mantenimiento, disminuye el costo de mantenimiento de inspección.

A continuación se anexa un dictámen técnico de una turbina de gas, el cual estuvo en operación y por no llevar a cabo los programas de mantenimiento se encontraron diversas fallas que a continuación describiré.

I.- Sección del compresor.

- a) Los estatores del 4º al 11º paso se encontraron dañados.
- b) Los discos de rotor del compresor del 3er. al 11º paso se encontraron dañados, así como en los álabes.
- c) Chumacera No. 1, se encontró con desgaste excesivo en sus segmentos.
- d) El muñón del compresor, se encontró con desgaste excesivo.

II.- Sección intermedia.

- a) Chumacera No. 2, se encontró con desgaste excesivo en los segmentos.
- b) El muñón del compresor, se encontró con desgaste excesivo.

III.- Sección caliente.

- a) Cámara de combustión, se encontró con grietas y - desgaste excesiva por lo que no es posible repararla.
- b) El conjunto de toberas del 1er. paso, se encontraron dañadas.

B I B L I O G R A F I A

CLAUDIO MATAIX,
Turbomáquinas térmicas,
Editorial Dossat, S. A.,
Madrid.

W.H. SEVERNS, H.E. DEGLER, J.C. MILES,
Energía mediante vapor, aire o gas,
Editorial Reverte, S. A.,
España. 1975.

LUCIEN VIVIER,
Turbinas de gas y vapor,
Editorial Urmo, S. A. de ediciones,
Bilbao, España.

Comisión de promoción y venta de motores
primarios y gran tonelaje de aire acondicionado,
American Gas Association, Inc.

Manual de turbinas de gas,
Compañía Editorial Continental, S. A.,
México.

GUNTHER SCHNAIDER,
Manual del Ingeniero Técnico, Tomo 19,
Editorial Urmo,
Madrid.

Solar Turbines International,
Operación y mantenimiento rutinario de la
turbina de gas solar,
Publicación Técnica, T.T.-062F(S), Mayo de 1979,
U.S.

Solar Turbines International,
Curso de operación y mantenimiento de la
turbina de gas solar,
Publicación Técnica, SD 78-30171, Febrero de 1979.