

Universidad Nacional del Callao

Programa Académico de Ingeniería Mecánica



**ANALISIS DE AVERIAS EN MOTORES
A REACCION**

TESIS

683

Presentada por :

GLORIA MARIA HELENA ALVARADO GOICOCHEA

Para Optar el Título de :

INGENIERO MECANICO

Bellavista – Callao

1984

A MIS QUERIDOS PADRES Y HERMANOS
QUIENES ME ANIMARON Y AYUDARON
HACIENDO POSIBLE SU CULMINACION.

A MI HIJA GRACE MARIEL QUIEN,
CON ANHELO Y ESPIRITU DE SUPE
RACION, ESPERO QUE SEA FUTURA
PROFESIONAL DE Y PARA EL PERU.

ANALISIS DE AVERIAS EN MOTORES A REACCION

INDICE

PAG.

I

CAPITULO I.- INTRODUCCION.....

CAPITULO II -- DESCRIPCION DEL MOTOR A REACCION

2.1 Definiciones.....	4
2.2 Clasificación.....	5
2.3 Conjunto turbo-compresor.....	28
2.4 Sistemas típicos de combustión.....	46
2.5 Sistema de control de velocidad.....	46
2.6 Sistema de control de flujo.....	55
2.7 Sistema de combustión para posquemador.....	59
2.8 Sistema de emergencia de combustión.....	64
2.9 Sistema de tobera de escape de área variable.....	67
2.10 Sistema de control de presión.....	71

CAPITULO III.- ANALISIS DE LAS AVERIAS EN LOS MOTORES A REACCION

3.1 Fallas en las condiciones de operación del motor.....	75
3.1.1 Alabes guías de paso variable.....	75
3.1.2 Aletas guías y paletas del estator.....	76
3.1.3 Toberas de escape de la turbina.....	76
3.1.4 Toberas de escape de área variable.....	77
3.1.5 Límite máximo de combustible del sist. princp....	78
3.1.6 Reglaje de combustible del posquemador.....	79
3.2 Fallas en la velocidad de rotación del motor.....	79
3.2.1 Alta velocidad de rotación.....	81
3.2.2 Baja velocidad de rotación.....	83
3.3 Falla del compresor.....	84
3.3.1 Desgaste de los espaciadores del compresor.....	86
3.3.2 Desperfectos del anillo del compresor.....	87
3.3.3 Desperfecto por fatiga de los álabes.....	88
3.3.4 Falla de los rodajes del rotor.....	88
3.3.5 Daños causados por objetos extraños.....	97

	PAG.
3.3.6 Desperfectos causados por un estol	92
3.4 Fallas en la turbina.....	96
3.4.1 Falla de los flabes de la turbina.....	96
3.4.2 Falla del arietado.....	97
3.4.3 Falla del disco.....	102
3.5 Control de la temperatura de operación del motor.....	103
3.5.1 Falla por operación con sobretemperatura.....	103
3.5.2 Falla de los rodajes.....	105
3.5.3 Incendio.....	107
3.6 Falla en el sistema de combustible.....	109
3.6.1 Dosificación inadecuada del combustible.....	110
3.6.2 Contaminación del combustible.....	111
3.7 Falla en el sistema de lubricación.....	116
3.7.1 Falla del lubricante.....	116
3.7.2 Dosificación inadecuada.....	119
3.7.3 Contaminación del lubricante.....	120

CAPITULO IV 1- APLICACION DEL OVERHAUL AL MOTOR ALLECON 501D22 PARA LAS 3.000

HORAS DE VUELO.

4.1 Recepción del motor.....	125
4.2 Desarmado del motor.....	127
4.3 Lavado y limpieza.....	127
4.4 Inspección.....	127
4.5 Anomalías encontradas en el overhaul.....	129
4.6 Determinación del proceso.....	132
4.7 Ensamble de los subconjuntos.....	133
4.8 Montaje total.....	134
4.9 Ensayo del motor.....	134
4.10 Gráficas de los ensayos al motor.....	135

<u>CAPITULO V .- JUSTIFICACION ECONOMICA</u>	PAG.
5.1 Costo de mano de obra.....	146
5.2 Costo de materiales.....	147
5.3 Costo de equipo y herramientas.....	147
5.4 Costo total.....	148
<u>CAPITULO VI.- PREVENCION Y PROTECCION DE ACCIDENTES AL PERSONAL DE MAN-</u>	
<u>TEJIMIENTO DE MOTORES A REACCION.....</u>	152
<u>CAPITULO VII.- CONCLUSIONES.!!.....</u>	156
<u>RECOMENDACIONES.....</u>	159
<u>BIBLIOGRAFIA.....</u>	161

CAPITULO I

INTRODUCCION

El presente estudio ha sido preparado con la finalidad de analizar y discernir sobre las fallas que pueden presentarse en un motor a reacción, elementos matrices de los aviones y poder adoptar medidas tendientes a evitarlas; proporcionando seguridad del vuelo, desarrollando progreso y perfeccionamiento en el avance de las investigaciones con la aplicación de factores tecnológicos que revierten seguridad y alto rendimiento operativo, señal indicadora de nuestra permanente superación para la defensa tutelar de la Patria, ya que el Perú es uno de los países Latino-americanos que tienen una de las más difíciles situaciones geopolíticas.

La industria aeronáutica desarrollará la tecnología apropiada que facilite su crecimiento industrial, el diseño, fabricación de productos de acuerdo a las necesidades del país y de los mercados extranjeros, así mismo, establecerá y desarrollará centros de ensamblaje, mantenimiento y reparación general de aeronaves, motores y sistemas anexos para atender los requerimientos integrales de las F.F.A.A, Aviación Civil, Comercial, Deportiva y Privada del país y del extranjero.

Conjuga el enorme despliegue de horas-hombre y máquinas versátiles por las innumerables rutas aéreas del Perú, labor integral cada vez más creciente, que comprende a los pobladores de las más apartadas regiones de la costa, sierra y selva, de esta manera la agreste geografía peruana es vencida por los conductores de la aviación, apoyando los planes de desarrollo nacional así como las más apremiantes casos de emergencia, tal como se puede comprobar después del sismo y aluvión del 31 de Mayo de 1970 en el Callejón de Huaylas, el represamiento del río Mantaro, se contó oportunamente con la información aerofotográfica requerida para evaluar los daños y la posterior ubicación de los

CAPITULO II

DESCRIPCION DEL MOTOR A REACCION

El propósito de esta sección es proporcionar un conocimiento fundamental de las características y limitaciones operacionales de los motores.

Se ofrece como ayuda para determinar cuando se ha producido una falla en el motor, así como calificar el tipo y naturaleza, igualmente, establecer la causa exacta y las causas contribuyentes a la ocurrencia de la falla y por último para seleccionar la más práctica acción correctiva que debe tomarse para prevenir accidentes similares en el futuro.

La información de mayor utilidad puede obtenerse del axámen exterior e interior de las partes del motor, el exámen de los daños ocurridos como consecuencia del impacto, falla de alguno ó algunos de sus componentes, dará siempre indicaciones útiles en la determinación de la secuencia en que se produjeron los hechos así como el tipo y naturaleza de la falla.

La apariencia de un daño tanto como la creencia de los mismos serán útiles en la determinación de la falla.

El establecer lo que no ha ocurrido, en sí, no satisface los propósitos de los análisis de las averías.

Por eso para comprender plenamente por que ocurren ciertas fallas y por que siempre quedan ciertas indicaciones que las identifican es necesario un conocimiento del diseño, limitaciones y características operacionales del motor.

2.1 DEFINICIONES:

F Propulsión Térmica a Reacción, llamada también propulsión térmica a chorro, es una de las formas actuales empleadas para la propulsión de máquinas, especialmente aviones.

Consiste en incrementar la cantidad de movimiento de cierto caudal de aire aspirado por el motor, para ello los gases son expandidos en una tobera en la que incrementan su velocidad, obteniendose de este modo un empuje de reacción utilizable para propulsar una máquina.

Hay diferentes motores que emplean este principio de aceleración térmica a de una masa de gas, entre ellos nos interesan los llamados turboreactores. En general, el nombre de motores a reacción es dado a cualquier tipo ó sistema propulsor que utiliza aire de sus alrededores que luego de ser calentado por combustión de un combustible, constituye el caudal fluido empleado para la propulsión.

El principio de operación es el siguiente, dentro de la unidad se introduce aire ambiente, se le comprime hasta cierta presión, se le calienta hasta cierta temperatura por acción del combustible luego se le permite escapar através de una tobera, haciendolo evidente a una velocidad mayor a la que ingreso al motor, puesto que la energía contenida en los gases de escape es mayor que la del aire antes de la combustión.

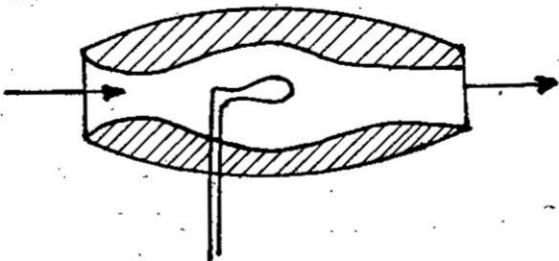
La fuerza de reacción obtenida sobre una máquina es proporcional al incremento de la cantidad de movimiento del fluido circulante en la unidad de tiempo.

2.I CLASIFICACION:

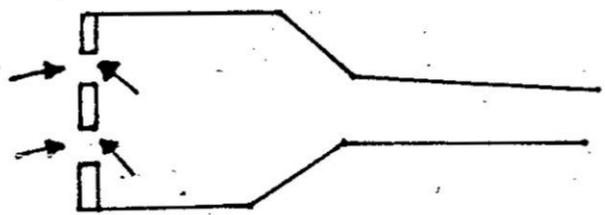
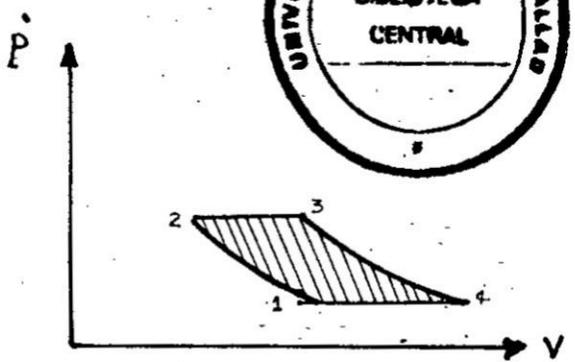
Los motores térmicos a reacción pueden dividirse en tres grandes grupos.

2.I.I ESTATOREACTORES: Esta es la forma más simple de motor a reacción; consiste unicamente en un conducto adecuadamente formado para que cuando esté en movimiento en la dirección de su eje, circule por su interior una corriente de aire, y la energía cinética del aire que ingresa al motor sea transformada en presión por medio de un cambio de sección fig

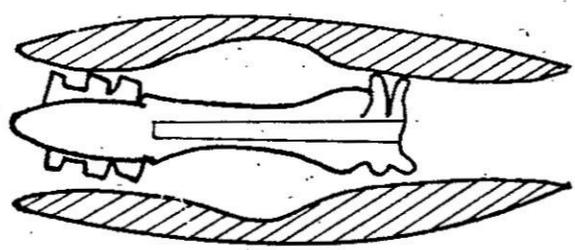
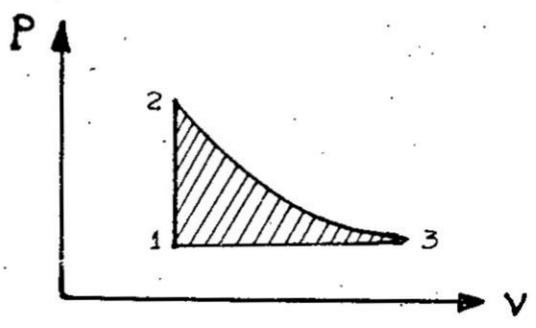
2.1.a.



2.1.a



2.1.b



2.1.c

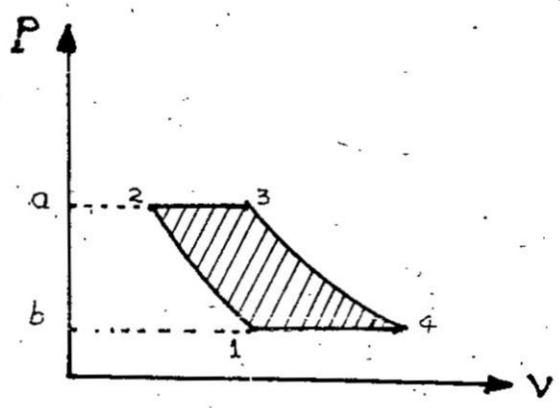
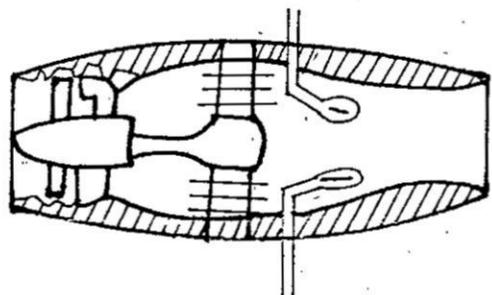
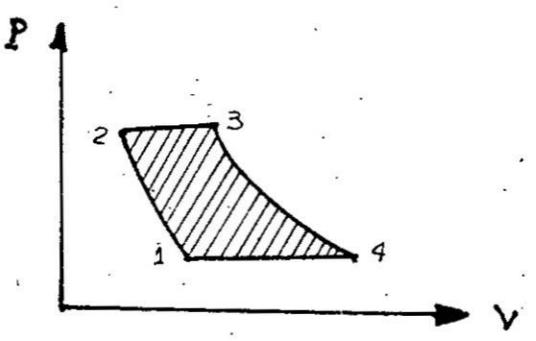


FIG. 2.1 PROPULSION TERMICA A CHORRO

UyBUnhEACUy

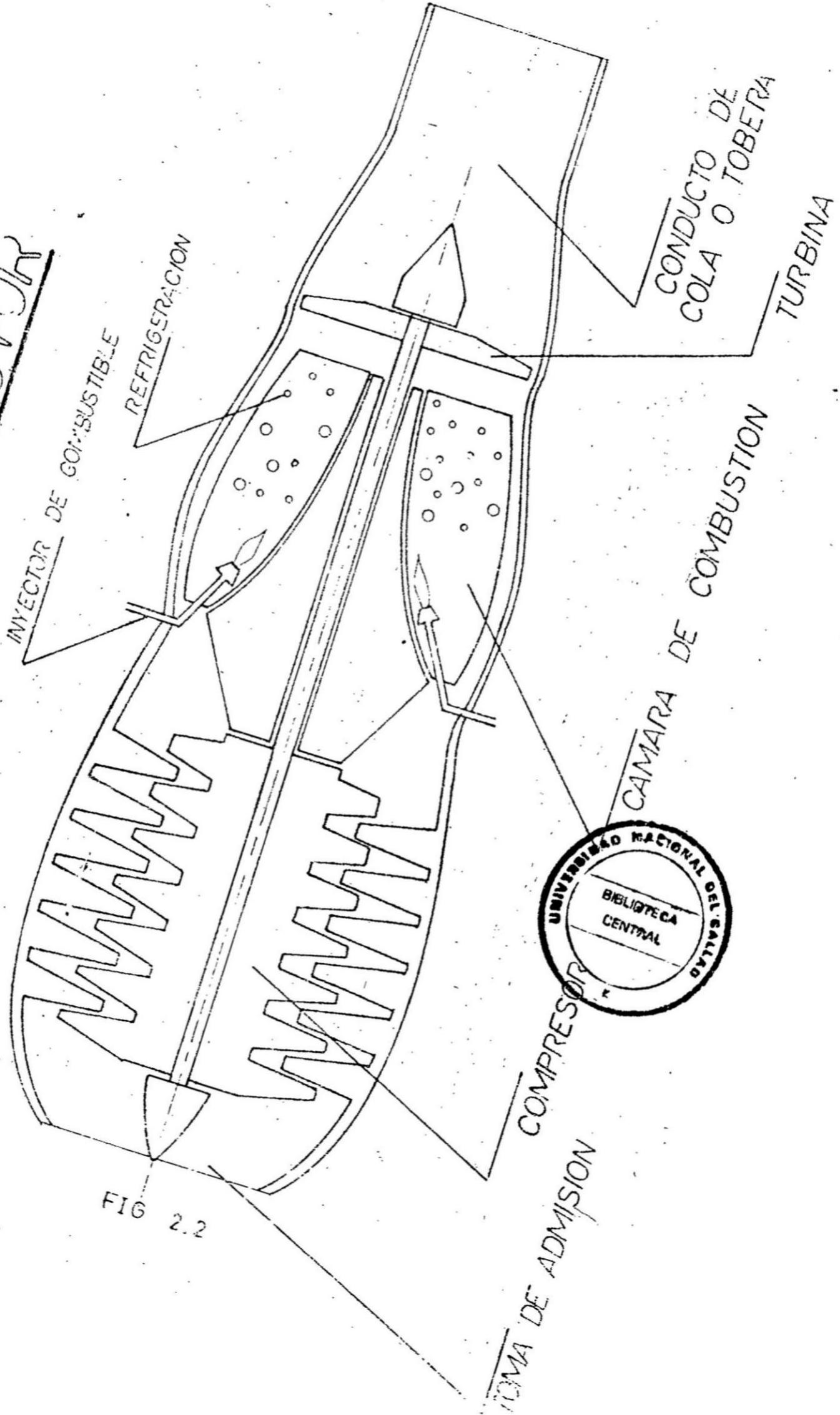


FIG 2.2



de gran velocidad y emplea una turbina en su ciclo de operación.

Para mover una gran masa de aire se tiene que aplicar una fuerza igualmente grande, si se desea acelerar esta masa de aire a una gran velocidad, también necesitaremos emplear una gran fuerza, por lo tanto la cantidad de aire que va ha ponerse en movimiento y la velocidad que se le va a impartir podrán ser tomadas como una medida de la fuerza que debe ser aplicada.

Si se tiene en cuenta que la masa de aire puesta en movimiento y la velocidad que alcanza son una medida del empuje, es necesario mover la mayor masa que sea posible, sin embargo las limitaciones de tamaño y peso impuestos por la aplicación del avión restringirán la cantidad de masa de aire que pueda moverse. Para obtener el máximo empuje teniendo una limitada masa de aire es necesario acelerarla a la velocidad más alta posible.

La reacción de la aceleración de este aire resulta en un empuje hacia adelante en el motor.

Cabe establecer entonces que el empuje no resulta del apoyo del chorro de aire que está detrás, sino de la reacción a las aceleraciones del motor.

El empuje desarrollado es una fuerza igual al régimen de cambio del momento ó velocidad-masa del aire, conforme pasa através del motor.

El momento del aire que sale puede ser llamado MV_j , que es la masa del gas multiplicado por la velocidad de salida; y el momento del aire que ingresa puede señalarse como MV_p ó sea la masa multiplicada por la velocidad del avión.

De lo dicho anteriormente podemos establecer que el cambio del momento es igual:

$$MV_j - MV_p$$

la expresión MV_j se refiere comunmente al empuje total del motor ya que ésta sería la fuerza total que actúa hacia adelante.

la expresión MV_p es definida como la resistencia del motor y es igual a

la pérdida producida al tomar el aire é introducirlo en el motor.

El empuje neto de un motor a reacción es igual al empuje total menos la resistencia del motor:

$$F = M (V_j - V_p)$$

El empuje neto es igual a la masa multiplicada por su diferencia de velocidad en el motor.

En este tipo de motores la energía entregada por el combustible es transformada íntegramente en energía cinética del gas.

El motor admite el aire a una velocidad que depende de la velocidad de avance del avión y por lo tanto, puede ser nula cuando el motor funciona en un punto fijo, pero puede ser elevada con el avión en vuelo.

La primera parte de la compresión del aire, es en realidad efectuada en el difusor de entrada del motor, esquemáticamente representada en la fig. 2.2, el incremento de presión alcanzado en el difusor, depende de la reducción de velocidad efectuada en el mismo, y sus características aerodinámicas.

Del difusor el aire pasa al compresor, donde su presión es elevada hasta un valor que depende del compresor en sí, es decir de la relación de presiones que corresponde a la velocidad y caudal de operación.

El aire comprimido pasa luego a las cámaras de combustión, donde la temperatura se eleva hasta el valor tolerado para su ingreso a la turbina.

En ésta sufre su primera expansión, entregando un trabajo igual al requerido para el funcionamiento del compresor.

Los gases salen de la turbina con una presión aún más elevada, llegando a la tobera, donde esta presión se transforma en velocidad del chorro de escape.

La reacción, consecuencia de la aceleración sufrida por el fluido dentro

del motor, cambia de velocidad de U a V , es decir es la fuerza de empuje obtenida.

Para el estudio del empuje y sus variaciones, adoptaremos, como sistema coordinado, el avión, supondremos por lo tanto que el avión está en reposo y que el aire se aproxima al motor a una velocidad de U (la del avión). Los gases escapan por la tobera a la velocidad V , que es impartida por el motor y que dependerá de la energía utilizada en el ciclo, y los rendimientos correspondientes.

Estudiando la cantidad de movimiento del aire en la sección de entrada del motor sea su peso G_a en Kg, su cantidad de movimiento será:

$$M_o = (G_a / g) U$$

En la sección de salida el peso pasante ha sido aumentado por el del combustible G_c y si la velocidad es V la cantidad de movimiento será:

$$M_s = (G_a + G_c) / g \times V$$

El incremento de la cantidad de movimiento será:

$$DM = M_s - M_o = (G_a + G_c / g) \times V - (G_a / g) \times U$$

De donde tenemos que:

$$DM = G_a / g (V - U) + G_c / g \times V$$

La fuerza de reacción será:

$$F = DM / t = G_a / t (V - U) / g + G_c / t \times V / g$$

Donde t es el tiempo en que circula la masa G_a de aire ó G_c de combustible evidente.

$$G_a / t = Q_a$$

O sea caudal en Kilogramos por segundo

$$G_c / t = Q_c$$

Caudal de combustible en Kgr/seg. reemplazando:

$$F = Q_a (V - U) / g \times Q_c V/g$$

Esta formula puede ser simplificada teniendo en cuenta que el caudal de combustible Q_c es despreciable frente al del aire, pues la relación de mezcla es del orden de 60: 1.

En tal caso y llamando Q al caudal de aire, la ecuación del empuje será:

$$F = Q / g (V - U)$$

Puede observarse que si el avión está en reposo $U = 0$ se tiene:

$$F = Q / g \times V$$

Como podría haberse deducido directamente pues:

$$Q = V / g$$

Es el incremento de la cantidad de movimiento del gas en la unidad de tiempo, cuando es tomado a velocidad nula y acelerado hasta la velocidad V . Si la velocidad de avance del avión es igual a la del chorro de escape $U = V$ se tiene un empuje :

$$F = Q/g (V - U) = 0$$

Lo que es evidente, pues si el motor toma aire a la velocidad U y lo entrega a la velocidad $V = U$ no se ha producido dentro del motor ningún cambio en la cantidad de movimiento del aire circulante, por lo tanto no hay reacción.

La ecuación del empuje puede escribirse también en otra forma que para algunas comparaciones, es más evidentes.

Llamando u a la reacción de velocidad U/V tendremos:

$$u = U / V \quad \text{y} \quad U = uV$$

Y reemplazando en la ecuación del empuje:

$$F = Q/g \times V (1 - u)$$

Vemos que si $u = 1$ y $F = 0$ y $u = 0$, $F = Q/g \times V$

Si queremos conocer el empuje obtenido por Kgr. de aire aspirado ó eyec-
tado por el motor por seg. será:

$$f = F/Q = V/g (1 - u)$$

La ecuación del empuje nos dice como varía éste en función de las veloci-
dades de eyecciones del gas y avance del motor:

$$f = (V - U) / g$$

La variación de ésta es lineal en función de U cuando V es constante fig.
2.3 línea de puntos, pero no nos dice en que forma varía V en función de
 U , como sucede en realidad.

En efecto a mayor velocidad de avance del avión, es posible tener una ma-
yor velocidad y mayor presión final de compresión, por aprovechamiento de
la presión dinámica, esto aumenta el rendimiento del ciclo y por ende, la
energía utilizada, con el incremento de V .

En caso de no desearse aprovechar la presión dinámica para incrementar la
presión final de compresión, la consecuencia es que baja la relación de
presiones de trabajo del compresor y por lo tanto disminuyen las pérdidas
ocasionadas por su rendimiento inferior a la unidad, esto aumenta final-
mente la velocidad relativa de eyección V .

La curva real de empuje de un turboreactor, es la forma, ilustrada en la
fig. 2.4 con la línea llena presentando un mínimo a cierta velocidad de
avance del avión, luego es creciente a medida que va siendo más pronuncia-
do el efecto de la presión dinámica sobre el trabajo útil del ciclo.

Observando la formula del empuje no simplificada:

$$F_a = Q_a/g (V - U) , \quad F_c = Q_c/g \times V$$

Vemos que la primera parte F_a depende de la diferencia de velocidades del aire, ó sea de la velocidad de la estela, lo mismo que en un hélice ideal. La segunda parte F_c en cambio es independiente de la velocidad de avance del avión, depende solamente de la velocidad de eyección, esto se comprende fácilmente, pues el avión lleva el combustible en su interior de modo que la cantidad de movimiento del combustible es correspondiente a la velocidad V de los gases con respecto al motor.

Teniendo en cuenta que los motores a reacción son medidos en caballos de fuerza al freno (bhp) no hay forma de establecer una comparación entre ambos. Pero debe notarse que el caballaje al freno de un motor convencional es convertido en empuje por trabajo de las hélices, por lo tanto se puede establecer una comparación del empuje producido por el chorro.

Esta relación se muestra en la fig. 2.5.

Al comparar estos dos tipos de motor sobre la base de empuje ciertos factores se tomarán en cuenta, por ejemplo a la izquierda de la línea A-A de este diagrama el avión a hélice tiene una mejor performance que el de propulsión a chorro debido al mayor empuje que es desarrollado por las hélices de este rango de velocidad.

Esto significa que un motor convencional puede tener mejores características para el descolaje y ascenso inicial.

Esta diferencia ha sido reducida mediante el incremento del empuje estático de los motores a reacción por diversos métodos.

Una característica de la hélice ha sido reducida es que conforme alcanzan mayores velocidades, disminuye su empuje neto, por otro lado el empuje neto obtenido de un motor a reacción se mantiene casi constante cualquiera que sea su velocidad, por eso a la derecha de la línea A-A de la fig. 2.5 el empuje del motor a reacción es mayor que el que produce la hélice, vemos también que intercepta la curva de resistencia del avión, a una velocidad mayor, esto indica que un avión a hélice a mayores velo-

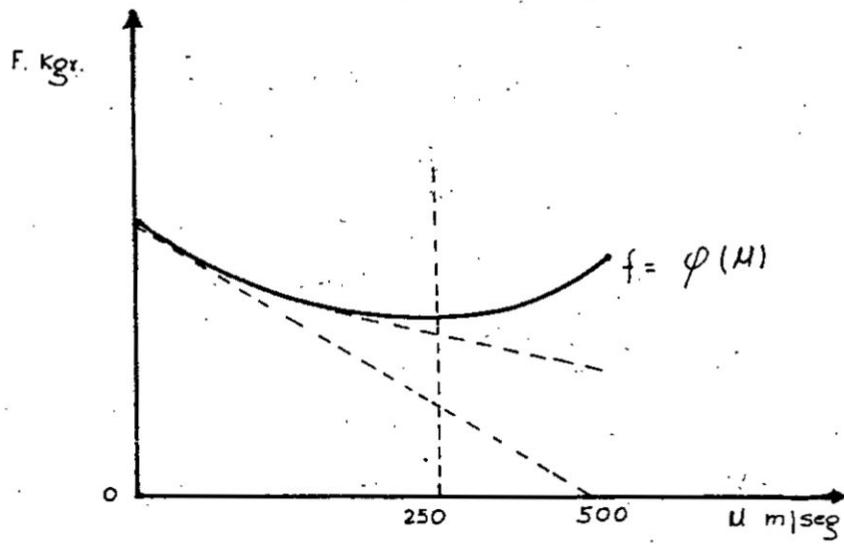


FIG. 2.3

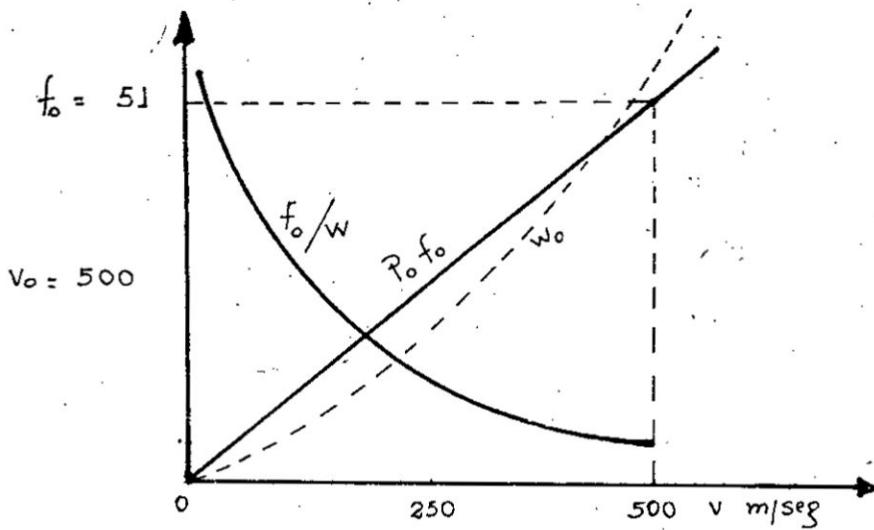
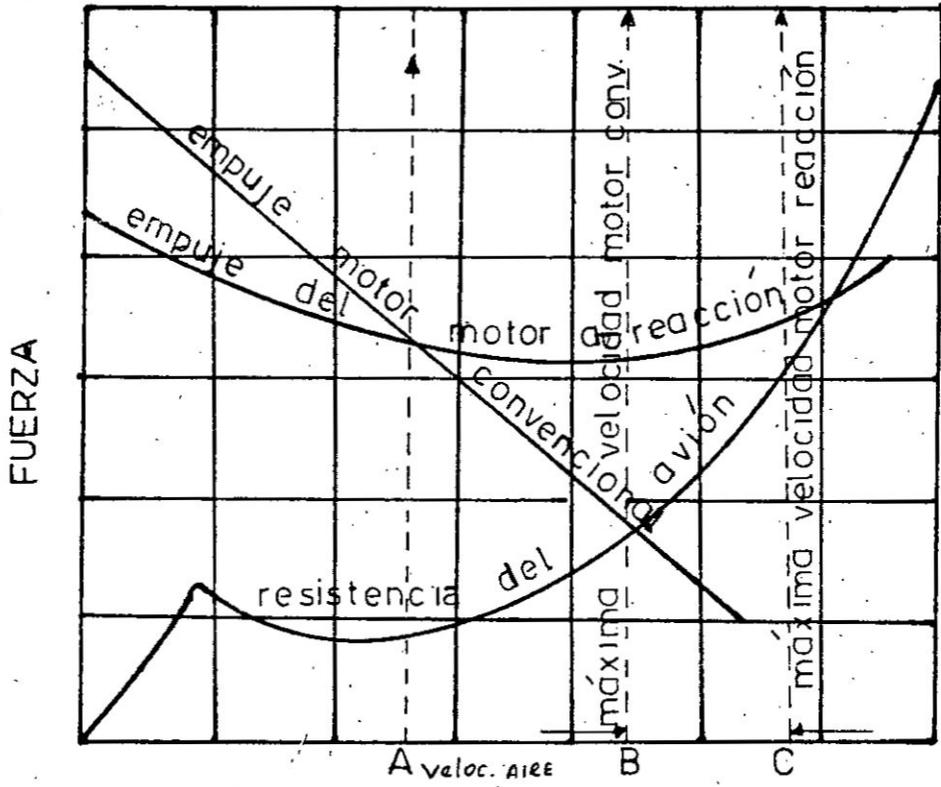


FIG. 2.4



RESISTENCIA DEL AVION Y EMPUJE

V.S.

VELOCIDAD

FIG. 2.5

tidades y que es capaz de alcanzar velocidades mucho mayores para llegar a su máxima.

El caballaje de empuje (thp) de un motor a reacción puede ser calculado midiendo la cantidad de trabajo que está desarrollando.

Por definición, el caballaje es una fuerza aplicada en una distancia, en un determinado período de tiempo.

Por ejemplo si un motor a reacción produce 5,000 libras de empuje neto a una velocidad del avión de 600 millas por hora (mph) su equivalente en caballaje de empuje será:

Por definición 1 hp = 33,000 pies lb/min; convirtiendo pies por minuto a millas/hr; tendremos, 1 hp = 375 millas lbr/hr, el equivalente thp para un motor a reacción será igual al empuje neto multiplicado por la velocidad del avión en mph dividido entre 375.

$$\frac{5,000 \times 600}{375} = 8,000 \text{ tph}$$

En esta forma podemos ver que el equivalente thp, de un motor a reacción será diferente para cada velocidad, y que a 375 mph, una libra de empuje será igual a un caballo de empuje.

El motor a reacción genera un chorro de escape a alta velocidad, mediante la ingestión, compresión y calentamiento del aire y luego lo hace escapar hacia la atmósfera a través de una rueda de turbina la cual a su vez hace girar al compresor, es importante obtener la máxima compresión posible ya que una presión alta resultaría en una velocidad, al escapar el aire hacia la baja presión de la atmósfera.

Sin embargo, la presión disponible estará limitada por la capacidad del compresor, en el proceso de calentar el aire también es deseable alcanzar la máxima temperatura posible, pero éstas están limitadas por las características de los metales empleados en la construcción del motor. Se debe

dar especial consideración a la rueda de la turbina ya que ella está situada directamente en la corriente de los gases de escape y por lo tanto soporta elevadas temperaturas y fuerzas centrífugas originadas por su alta velocidad de rotación.

El calentamiento del aire comprimido por introducción y quemado de combustible produce una expansión y origina mayores presiones dentro del motor, esta presión aumenta y la continua expansión del aire conforme va saliendo a través de la sección de escape del motor, hacen que la velocidad alcance un valor mucho más alto que el que hubiera alcanzado solamente bajo compresión.

La energía no se crea ni se destruye, por lo tanto, cualquier energía que fué aplicada al aire mediante la compresión original tendrá que ser quitada de los gases de escape por la turbina y luego enviada nuevamente al compresor para obtener la compresión, teniendo en cuenta que la turbina no puede ser 100% eficiente, no toda la energía que es recogida de los gases de escape y que se refleja en los cambios de temperatura, de presión y de la velocidad, retorna al compresor en forma de fuerza rotativa. De la misma manera, el compresor no puede convertir su presión y temperatura al 100% de la energía rotativa que recibe y la velocidad del aire que ingresa aumenta. Aún en el caso de que la turbina hubiera sido diseñada para extraer de los gases de escape toda la energía posible, se tendrá que quemar algo de combustible para mantener la máquina en operación, por lo tanto el chorro de aire que se desea obtener no se lograría bajo estas condiciones porque la turbina habrá quitado toda la temperatura, presión y velocidad de los gases de escape.

Diseñando una turbina en tal forma que no se extraiga toda la energía de los gases de escape, quedará alguna energía para producir empuje.

Como algo de energía escapa de la sección de turbina, se tendrá que quemar más combustible para producir la potencia necesaria para mover la turbina y el compresor.

Esta energía calorífica lograda produce una mayor temperatura en los gases de escape, una mayor velocidad y más empuje, la combustión de un combustible adicional origina por si mismo una elevación de las presiones internas del motor, incrementa la carga en el compresor y aumenta los requerimientos de flujo de combustible.

El combustible adicional que requiere este diseño, resulta en empuje útil, pero aumenta la temperatura del sistema de combustión y en el punto de entrada de la turbina.

El motor debe estar diseñado en tal forma que los requerimientos de combustible para operar a máxima velocidad no originen temperaturas muy elevadas.

Las turbinas en los motores a reacción típicos, que actualmente se construyen, están diseñados para extraer alrededor del 75 % de la energía producida por la combustión, y la energía calorífica restante constituyen a desarrollar empuje.

Considerando lo dicho anteriormente parecerá que la cantidad de empuje desarrollado será afectado por la cantidad de combustible que se quema; y que la cantidad de combustible necesario será determinada por la fuerza necesaria para hacer girar el compresor.

El método más práctico de regular los requerimientos de combustible, y por lo tanto la temperatura de los gases de escape, consiste en regular la apertura del orificio por el que salen los gases de escape.

Si el orificio, ó tobera de escape, es regulada para reducir el área de descarga, aumentará la presión dentro del motor, y el compresor es obligado a impulsar el aire contra una presión que ha sido aumentada, aumentarán los requerimientos de combustible para mantener cualquier velocidad del motor, y la introducción de este combustible adicional resultará en temperaturas más altas y mayor empuje debido al aumento de la velocidad de los gases de escape; si se opera al compresor y a la turbina a su mejor velocidad de diseño, el empuje puede alcanzar su máximo mediante la

la reducción del área de escape hasta que se alcancen los límites de temperatura.

2.1.4 CARGAS DE EMPUJE : Actualmente existen dos caminos para regularizar el empuje de un motor, uno de ellos consiste en enviar directamente el flujo de combustible; sin embargo este cambio directo originará que se cambie la fuerza aplicada a la turbina y seguidamente se producirá un cambio en la velocidad del motor.

Este cambio en la velocidad del motor hará cambiar la cantidad de aire que es impulsado dentro del motor por acción del compresor.

Estas variaciones ocurridas en la masa de aire y la energía calorífica que se aplica, resultan en una regulación de la velocidad de los gases de escape y por ende del empuje.

Las cargas del compresor, el flujo de combustible y el empuje pueden ser grandemente afectados por las condiciones de ingreso del aire del motor aún a velocidades constantes del motor donde el volumen de aire que ingresa es relativamente constante, pueden ocurrir cambios muy considerables en la masa del aire en flujo.

El volumen que ocupa el aire, variará conforme va siendo comprimido dentro del motor; sin embargo es la masa comprimida dentro del motor la que determina el aumento de presión, la relación de compresión y los requerimientos del compresor y del combustible.

Los valores variables que pueden producir cambios en la masa de este volumen de aire son: altura, temperatura del aire exterior, la presión barométrica, dinámica, humedad y otros.

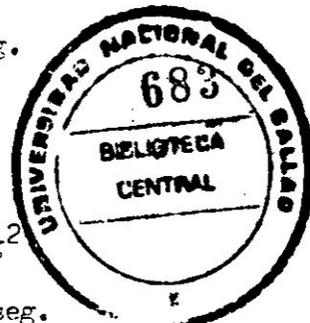
METODO PARA CALCULAR LA FUERZA DE EMPUJE ; Las fuerzas de empuje de los gases se puede calcular para el motor conociendo; el área, presión, velocidad, flujo de masa y ángulo de paso. Si por ejemplo estos valores son los siguiente, para una hipotética cámara de combustión:

ADMISION :

Area total	200 pulg ²
Presión	95 lb / pulg ²
Velocidad	370 pies / seg.
Flujo de masa	160 lb / seg.

ESCAPE :

Area total	550 pulg ²
Presión	90 lb / pulg ²
Velocidad	310 pies / seg.
Flujo de masa	160 lb / seg.



Por lo tanto la presión a lo largo de la zona de admisión será:

$$200 \text{ pulg}^2 \times 95 \text{ lb / pulg}^2 = 19,000 \text{ lbs.}$$

y en la zona de escape:

$$550 \text{ pulg}^2 \times 90 \text{ lb / pulg}^2 = 49,5000 \text{ lbs.}$$

Usando la ecuación de momento : $K = \frac{W \cdot v}{g}$

donde: $W =$ flujo de masa en Lbs / seg.

$v =$ Velocidad en pies / seg.

$g =$ Constante gravitacional.

Por conveniencia tomamos $g = 32$, el momento a través de la zona de admisión será :

$$\frac{160 \text{ lbs/seg} \times 370 \text{ pies/seg.}}{32} = 1,850 \text{ lbs.}$$

En la zona de escape :

$$\frac{160 \text{ lbs/seg} \times 310 \text{ pies/ seg.}}{32} = 1,550 \text{ lbs.}$$

En consecuencia el peso del gas en la zona de admisión será:

$$19,000 \text{ lbs.} + 1,850 \text{ lbs.} = 20,850 \text{ lbs.}$$

Y en la zona de escape :

$$49,000 \text{ lbs.} + 1550 \text{ lbs.} = 51,050 \text{ lbs.}$$

El empuje neto resultante será :

$$51,050 \text{ lbs.} - 20,850 \text{ lbs.} = 30,200 \text{ lbs.}$$

Estas 30,200 lbs. de la cámara de combustión, la cámara de combustión está inclinada respecto al eje del motor.

Así el empuje horizontal estará menos que para una cámara de flujo axial.

Este empuje también se puede obtener por multiplicación de la suma total del empuje de escape por el coseno del ángulo.

$$\text{Cos} = \frac{\text{Base}}{\text{Hipotenusa}}$$

Y para dar con el ángulo es necesario la consulta de una tabla de cos.

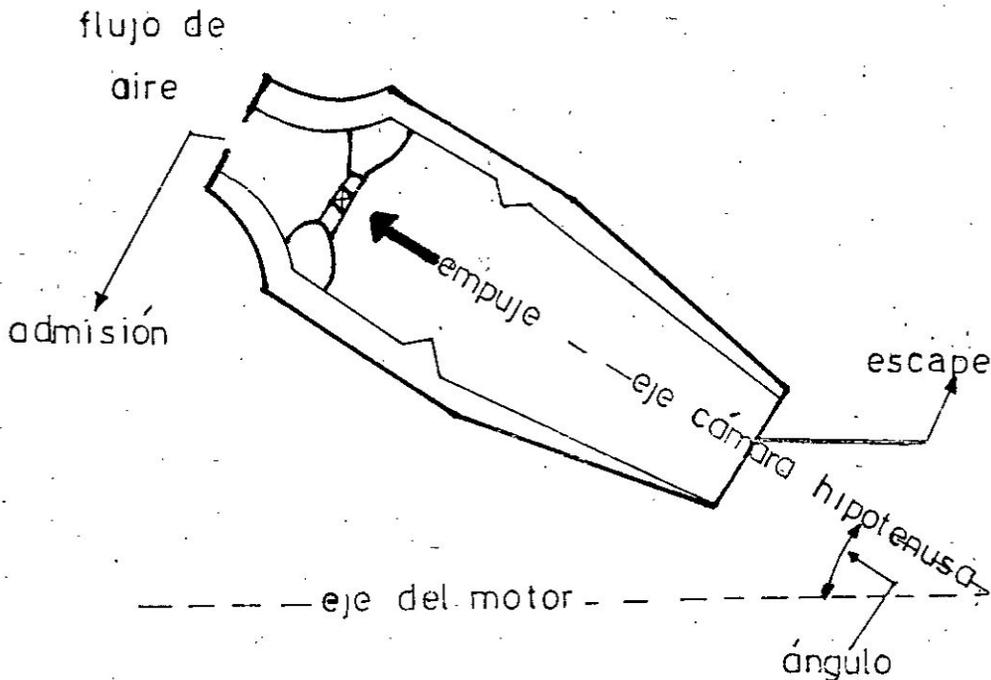


FIG. 2.6

CALCULOS DEL EMPUJE DEL MOTOR : También es aplicable el método anterior para calcular el empuje de carga individual en los diferentes componentes del motor, esto es de sumo interés porque la suma de los empujes individuales es equivalente al total empuje del motor.

El empuje producido por el motor es el producto principal de la masa de aire W que pasa a través del motor y el aumento en la velocidad, esto es obvio por la diferencia entre la velocidad de ingreso ó admisión y la velocidad de escape v_j , como consecuencia la velocidad de ingreso es cero en la condición estática, se puede expresar como:

$$\text{Empuje} = \frac{W \cdot v_j}{g}$$

Y de una condición de vuelo es :

$$\text{Empuje} = \frac{W (V - v_j)}{g}$$

donde V representa la velocidad del avión.

Asumimos que el motor tiene un flujo de aire de masa de 153 lbs /seg. y una velocidad de escape de 1,917 pies/seg. por lo tanto el empuje en una condición estática será:

$$\frac{153 \text{ lbs/seg.} \times 1,917 \text{ pies/seg.}}{g} = 9.166 \text{ lbs.}$$

32

Aunque el cambio de momento del gas produce un chorro mayor que el empuje desarrollado por el motor, el empuje adicional es producido cuando el motor es operado con la tobera de escape con la condición de ahogado.

El empuje resultante de la fuerza aerodinámica los cuales son creados por el gas ó chorro de gas el cual ejerce una presión transversal en el área de salida de la tobera de escape.

Las fuerzas son algebraicamente expresadas:

$$(P - P_o) A$$

donde:

A = Área de tobera de escape en pulg²

P = Presión en lbs / pulg²

P_o = Presión atmosférica en lbs/ pulg²

Asumimos que :

$$\text{Area} = 332 \text{ pulg}^2$$

$$\text{Presión} = 6 \text{ lbs/pulg}^2$$

$$P_o = 0 \text{ lbs/pulg}^2$$

$$\text{El empuje} = (6 - 0) 332 = 1,992 \text{ lbs.}$$

$$\text{El empuje total será : } 9,166 \text{ lbs} + 1,992 \text{ lbs} = 11,158 \text{ lbs.}$$

EMPUJE EN LA CAJA DEL COMPRESOR : Para obtener el empuje sobre la caja del compresor es necesario calcular las condiciones de ingreso y salida del compresor puesto que la presión y la velocidad de admisión en el compresor es cero, solo es necesario considerar el empuje de salida.

Por lo tanto se da al compresor:

$$\text{Area} = 182 \text{ pulg}^2$$

$$\text{Presión} = 94 \text{ lbs/pulg}^2$$

$$\text{Velocidad} = 406 \text{ pies/seg.}$$

$$\text{Flujo de M} = 153 \text{ lbs/seg.}$$

$$\text{El empuje} = A \times P + W \cdot v / g - 0$$

$$182 \times 94 + 153 \times 406 / 32 = 0$$

$$= 19,049 \text{ lbs. de empuje hacia adelante.}$$

CONDUCTO DIFUSOR : Las condiciones de admisión del tubo difusor son las mismas de los de escape del compresor menos 19,049 lbs.

Por lo consiguiente se da al difusor:

$$\begin{aligned} \text{Presión} &= 21 \text{ lbs / pulg}^2 \\ \text{Velocidad} &= 888 \text{ pies/seg.} \\ \text{Flujo de masa} &= 153 \text{ lbs/seg.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{El empuje : } & P \times A + W \cdot v / g - 55,417 = \\ & 480 \times 21 + 153 \times 888 / 32 - 55,417 = \\ & 14,326 - 55,417 = \\ & = - 41,091 \text{ lbs.} \end{aligned}$$

El valor negativo da ha entender que la fuerza posterior es rechazada en su dirección.

CONJUNTO DE TOBERA DE ESCAPE : La condición de ingreso hacia el conjunto de escape son los mismos según las condiciones de salida por la turbina menos 14,326 lbs.

Por lo tanto daremos a la tobera :

$$\begin{aligned} \text{Area} &= 651 \text{ pulg}^2 \\ \text{Presión} &= 21 \text{ lb/pulg}^2 \\ \text{Velocidad} &= 643 \text{ pies /seg.} \\ \text{Flujo de masa} &= 153 \text{ lbs/seg.} \end{aligned}$$

El empuje :

$$\begin{aligned} & A \times P + W \cdot v / g - 14,326 \\ & 651 \times 21 + 153 \times 643 / 32 - 14,326 \\ & 16,745 - 14,326 \\ & = 2,419 \text{ lbs. de empuje hacia adelante.} \end{aligned}$$

CHORRO PROPULSOR : Las condiciones de ingreso hacia el chorro propulsor son las mismas según las condiciones de salida de la tobera menos 16,745 lbs. por lo tanto damos al chorro propulsor:

$$\begin{aligned} \text{Area} &= 332 \text{ pulg}^2 \\ \text{Presión} &= 6 \text{ lbs/pulg}^2 \\ \text{Velocidad} &= 1,917 \text{ pies/seg.} \end{aligned}$$

Flujo de masa = 153 lb/seg.

El empuje :

$$332 \times 6 + 153 \times 1917 / 32 = 16,745$$

$$11,158 - 16,745$$

$$= - 5,587 \text{ lbs. acción en una dirección posterior rechazada}$$

Basados en los cálculos individuales, la suma de las cargas hacia delante son positivas 57,836 lbs y la suma de las cargas hacia atrás son negativas 11,158 lbs. con los equivalentes, los calculos del empuje para el motor completo es mostrado anteriormente.

POSQUEMADOR : Cuando el motor esta previsto de un posquemador los gases pasan a través del sistema de expulsión son calentados proporcionando un empuje adicional. El efecto del posquemador es el incremento de volumen de los gases expulsados.

De este modo producen una elevada velocidad por el tubo propulsor.

Asumimos que una tobera de posquemador y el tubo propulsor son compatibles en el motor usando cálculos previos y la nueva condición del tubo propulsor resultan:

$$\text{Area} = 455 \text{ pulg.}^2$$

$$\text{Presión} = 5 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\text{Velocidad} = 2,404 \text{ pies/seg.}$$

$$\text{Flujo de masa} = 157 \text{ lb/seg.}$$

Luego el empuje :

$$A \times P + W \cdot v / g = 16,745$$

$$455 \times 5 + 157 \times 2,404 / 32 = 16,745$$

$$14,069 - 16,745$$

$$= - 2,676 \text{ lbs. actua en dirección hacia atrás.}$$

Por lo tanto, comparando con los cálculos previos en el párrafo anterior se verá que el empuje negativo es reducido de -5,587 lbs a -2,676 lbs. el empu

je positivo completo es de este modo incrementado por 2,911 con este equivalente el empuje incrementado en más ó menos el 25 %.

2.3 CONJUNTO TURBO-REACTOR : Muchas de las características de diseño y operación del motor son dadas por la capacidad y limitación del compresor de flujo axial.

El término de flujo axial se emplea debido a que el flujo y la compresión del aire se efectúa en una dirección paralela al eje de rotación del compresor.

Los compresores de flujo axial son los que más se usan hoy en día, debido a que proporcionan los más altos regímenes de compresión también por su empleo elimina algunos de los cambios de dirección del flujo de aire, que son necesarios cuando se emplean otros tipos de compresor.

Desde el punto de vista de su constitución, un compresor de flujo axial, es algo como un tubo largo en cuyo interior hay una fila de ventiladores eléctricos colocados en tal forma que cada uno sopla el aire hacia el ventilador que tiene delante.

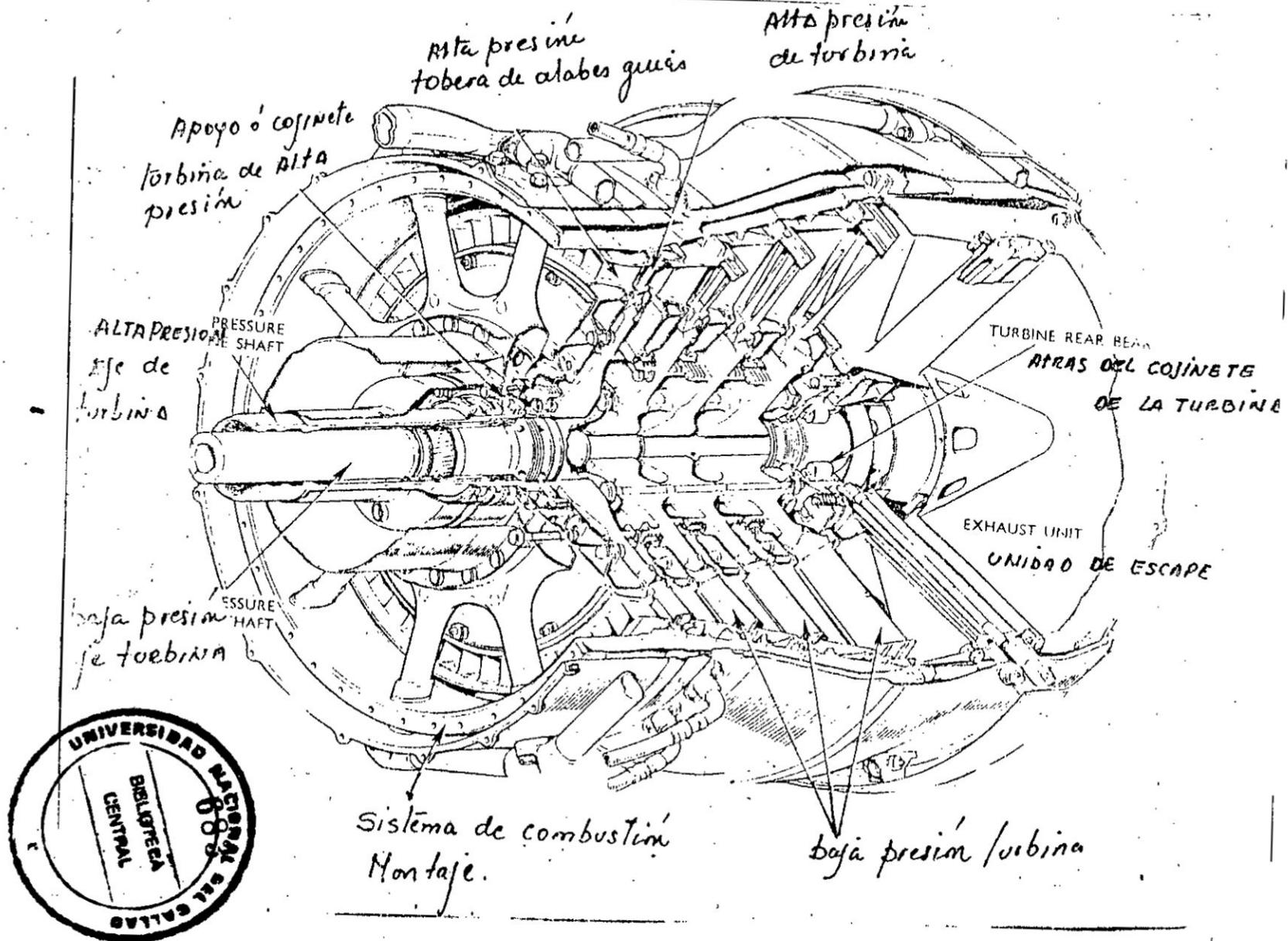
El rotor del compresor está formado por una serie de etapas de ruedas ó discos, cada uno de los cuales tiene un gran número de aletas de perfil aerodinámico, las cuales están montadas radialmente en su circunferencia.

Los discos alternados con espaciadores, están empernados entre sí para formar el conjunto del rotor.

El estator del compresor, que puede compararse con el tubo mencionado líneas antes, no solamente contiene la corriente de aire sino también la dirige de una etapa a otra, aumentando en esta forma la eficiencia del compresor; la función de dirigir la corriente de aire es realizada por unos alambres finos los cuales están colocados radialmente y hacia dentro del cuerpo del estator, entre los espacios que separan las etapas del rotor del compresor.

El rotor ha sido diseñado en forma de cono en el cual las últimas etapas tienen el diámetro más grande.

FIG. 2.7 TURBINA



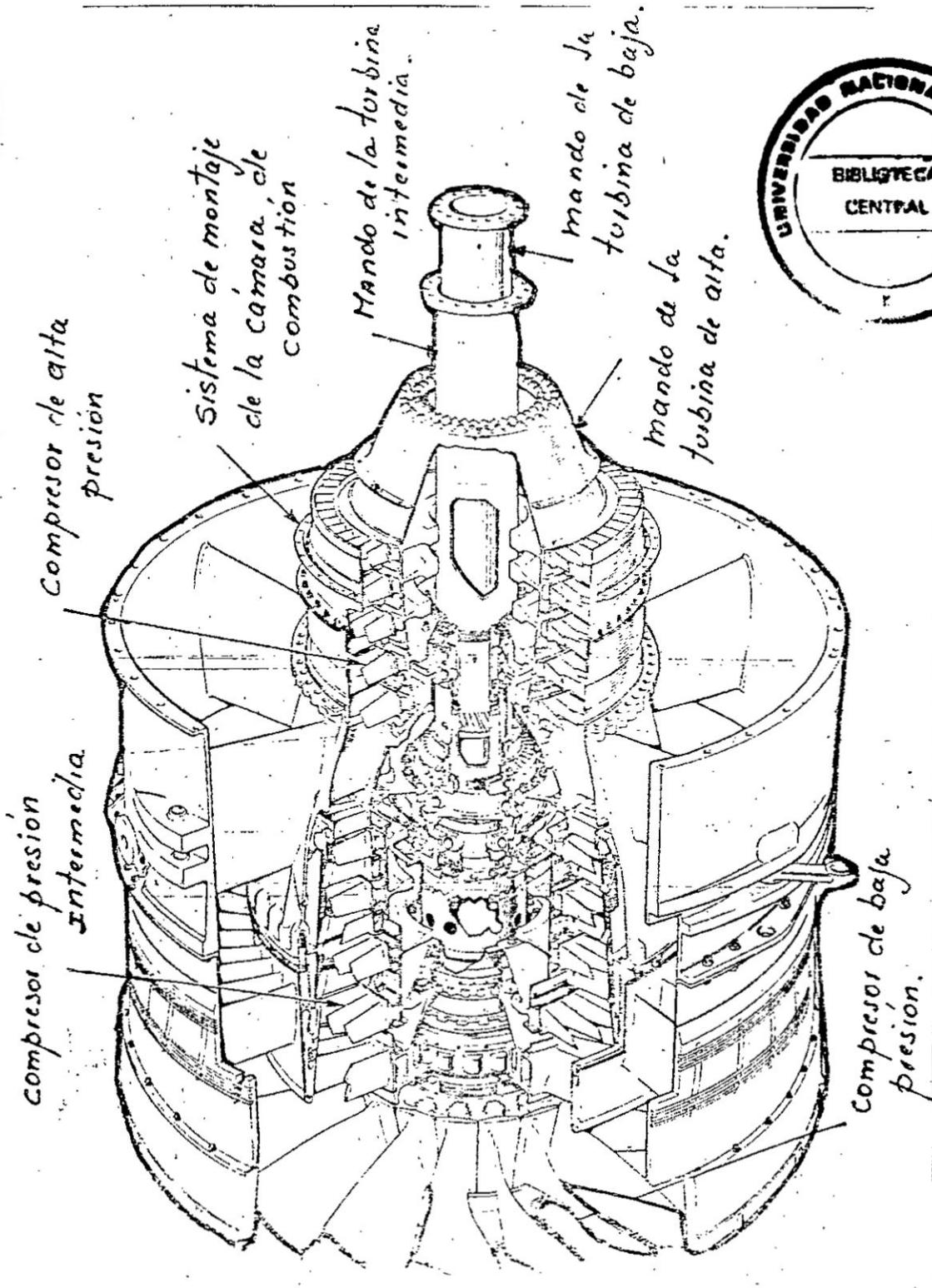


FIG. 2.8 COMPRESOR AXIAL

Esta configuración hace que el aire fluya progresivamente hacia espacios más pequeños al pasar de una etapa a la otra y por lo tanto quede comprimido. Teniendo en cuenta que un compresor de flujo axial está compuesto por una serie de perfiles aerodinámicos, rotativos unos y estacionarios otros, las limitaciones que se aplican a un perfil individual son las mismas que se aplican a todo compresor, si se hace que el aire fluya sobre un perfil adecuadamente diseñado, tendremos que uno de los lados se creará un área de baja presión y en el otro un área de alta presión, el aire del alrededor fluirá hacia las áreas de alta presión.

Si los perfiles aerodinámicos han sido colocados convenientemente en etapas sucesivas, dentro del compresor, se podrá mantener un flujo constante que va desde la entrada hasta el lado de descarga.

Las variables que determinan el aumento de presión que puede desarrollar y mantener son: la cantidad, dirección y velocidad del aire que pasa alrededor de él.

En el motor, la velocidad del aire sobre el perfil depende de la velocidad de rotación del motor.

La máxima cantidad de aire que el compresor puede enviar al motor será alcanzada sólo cuando el compresor esté trabajando a su máxima velocidad de diseño, cualquier reducción en la velocidad de rotación del motor reducirá la velocidad y el ángulo de ataque variará de su óptima posición, reduciendo por lo tanto el flujo de aire a través del compresor.

En resumen, el aire que fluye a través del compresor le comunica su capacidad para empujar el aire que él impulsa.

El pasaje de una cantidad de aire es solamente uno de los requerimientos del posquemador, también será necesario soportar la presión posterior que es originada por el pasaje del aire dentro del motor.

La presión posterior a la cual el compresor estará sujeto, depende de la cantidad de aire que es impulsado dentro del motor y del grado de restricción al flujo de aire que exista en las partes del recorrido final del motor.

La cantidad de aire que ingresa al motor dependerá en gran parte de la velocidad de él, los factores que representan las restricciones al flujo son:

- El área de la tobera de escape.
- El área de salida de la tobera de la turbina.
- La presión causada por el combustible.

2.3.1 MEDICION DE LA CAPACIDAD DEL COMPRESOR : La capacidad del compresor para impulsar aire y mantener una relación de compresión es una función del ángulo de ataque y de la masa del aire sobre los perfiles.

Conforme cambia el flujo de la masa, también varía el ángulo de ataque y la velocidad pero en una forma que afecta las condiciones de sustentación del perfil en una dirección del cambio original del flujo de masa.

Por lo tanto es posible determinar que relación de compresión puede mantener el compresor en determinado momento, por medición de la masa de aire.

De la medición de la masa de aire se determina dos cosas:

- 1.- La relación de compresión del motor.
- 2.- La capacidad del compresor para mantener esta relación.

2.3.2. RELACION DE COMPRESION Y CAPACIDAD DEL COMPRESOR : Algunas de las complicaciones surgen del hecho de que: conforme varía el flujo de la masa para afectar la actual relación de compresión, cambia en la misma dirección pero no en el mismo grado.

Esta curva se llama curva de estol de compresor, cualquier punto situado encima de esta curva representa una relación de compresión que es muy alta para la masa de aire y representa una condición que causará un estol de compresor, nótese que en los rangos de menor flujo de masa tal como ocurriría a baja velocidad del motor a gran altura, un incremento en el flujo de masa producirá solamente un pequeño aumento en la capacidad del compresor. En los rangos de gran flujo de masa, como ocurriría a altas velocidades y baja altura, un incremento de la capacidad del compresor para mantener

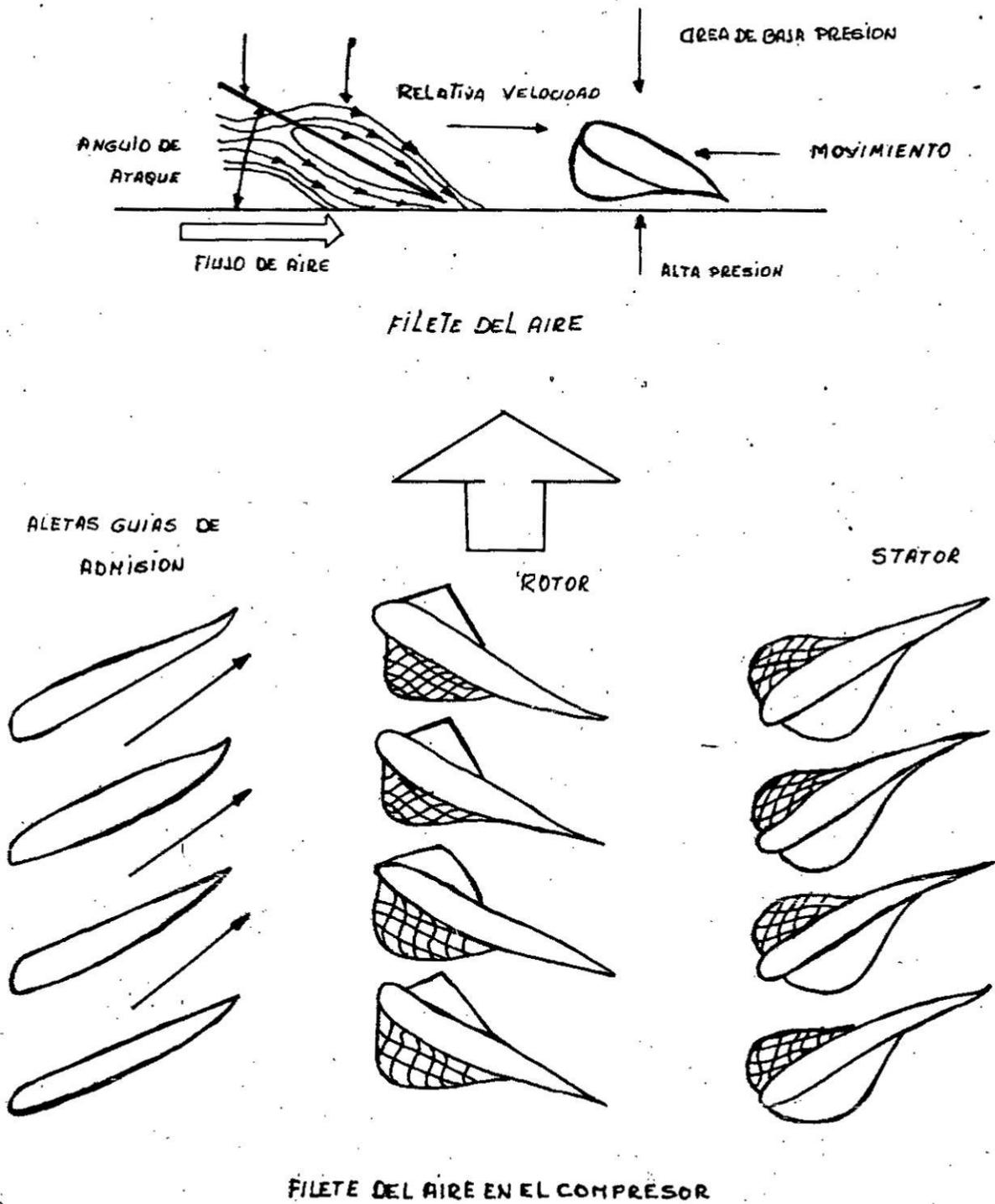


FIG. 2.9 FILETE DEL COMPRESOR

ANGULO DE ATAQUE Y SUS INFLUENCIAS EN LA PRESION

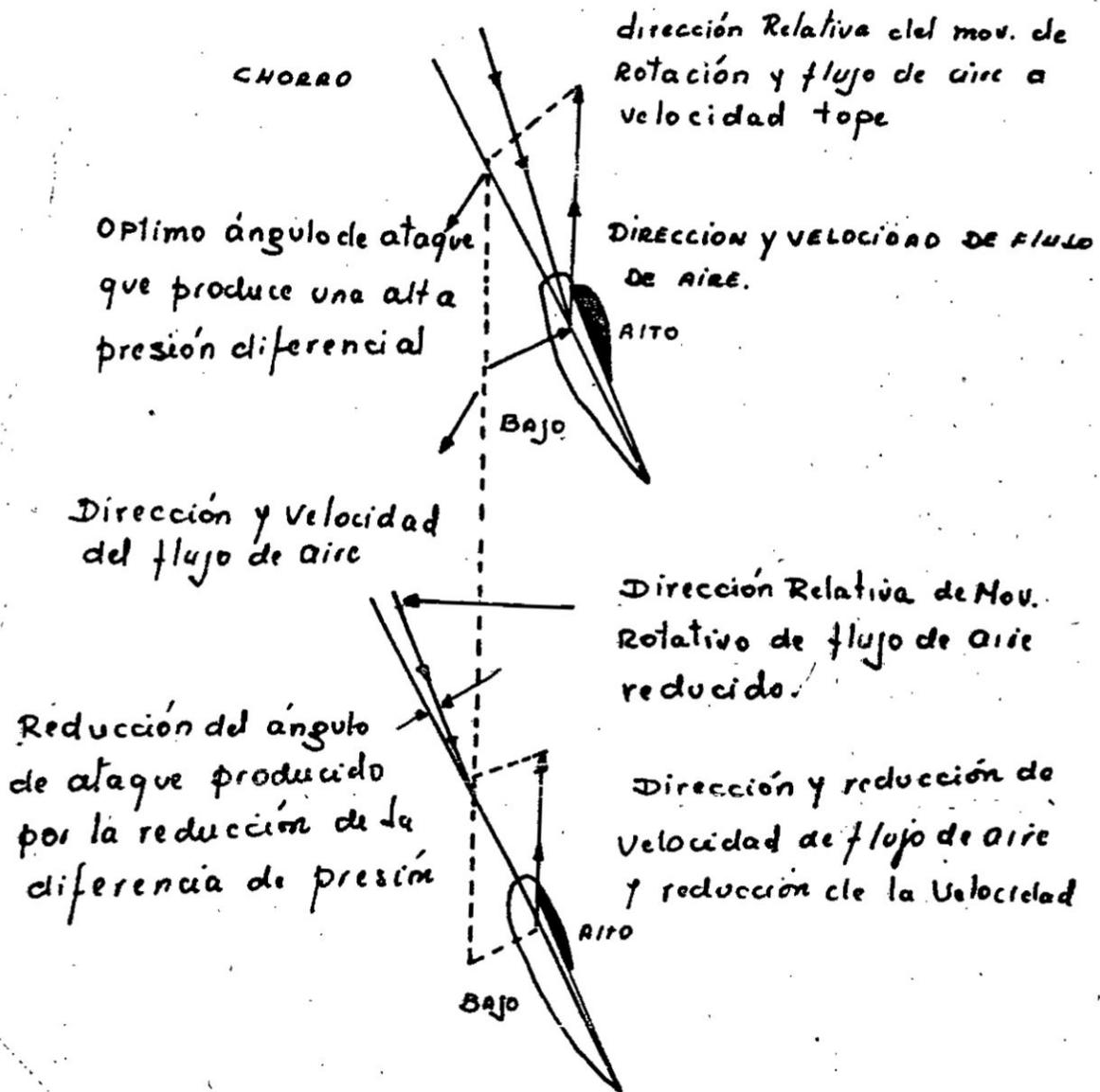


FIG. 2.10

una relación de compresión.

La fig. 2.II nos muestra como la actual relación, a la que estará sujeta el compresor, cambia con las variaciones en la masa del flujo de aire.

Cualquier punto en esta línea representa la relación de compresión que existirá en un determinado motor con el flujo de masa específico, esta línea recibe el nombre de "Línea de operación normal" teniendo en cuenta que la relación de compresión del motor está en función del flujo de masa y de las restricciones en sentido del flujo; esta línea puede ser movida hacia arriba ó hacia abajo, mediante un cambio en el diseño del motor.

Sin embargo la inclinación y la curvatura de la línea permanecerán sin variación.

Si ambas líneas son planteadas en el mismo gráfico, puede notarse que cuando el diseño del motor está en las líneas que se interceptan ó cruzan, el compresor estará sujeto a relaciones de presión que no sea capaz de mantener.

2.3.3 LAS LIMITACIONES DEL COMPRESOR : Cuando el motor opera con el máximo flujo de masa disponible a la más alta velocidad a nivel del mar, puede mantener una relación de compresión de 15 a 1.

Es aconsejable que se haga un sacrificio en la relación de compresión, para permitir que el compresor opere sin entrar en estol, en los regímenes de velocidad, temperatura, altura etc.

Por ejemplo en la fig. 2.I2 nos muestra en la forma que la relación de compresión, para el máximo flujo de masa, pueda ser regulado en algo alrededor de 10 a 1 y que el motor podría operar en forma estable en todos los regímenes de flujo; sin embargo en un régimen de flujos de masa que representan aprox. 70 % de la velocidad del motor a nivel del mar, existirá un margen muy pequeño entre el estol y las líneas de operación normal.

Si el motor está operando a un 70 % y se hace un intento de acelerarlo a

CURVAS DE OPERACION DEL COMPRESOR

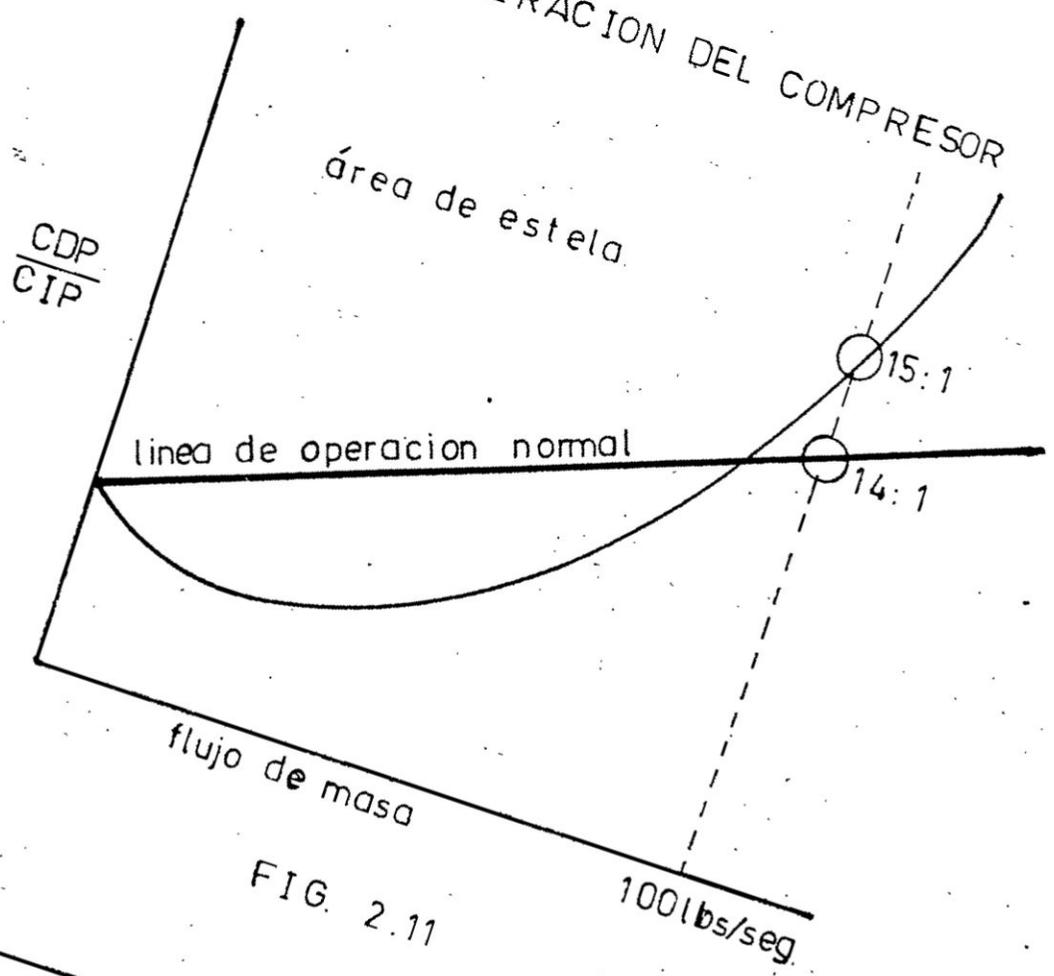


FIG. 2.11

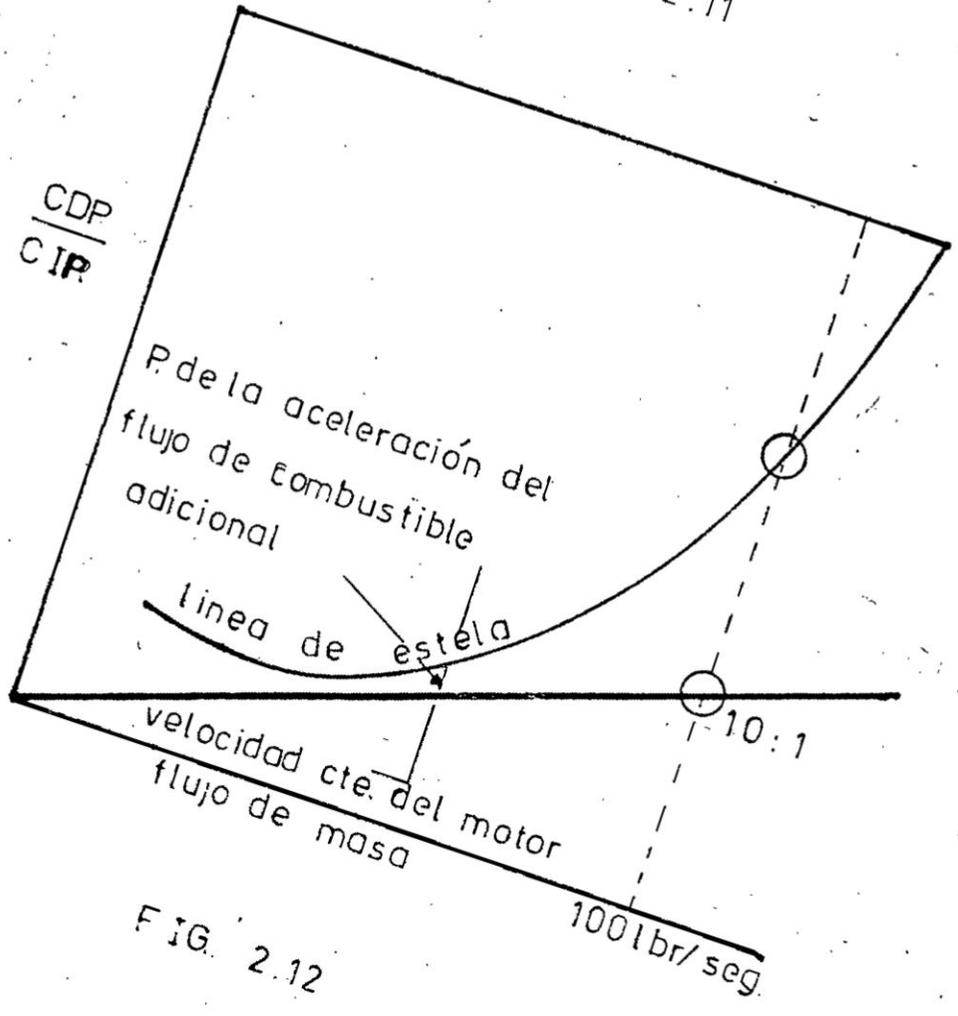


FIG. 2.12

una mayor velocidad, la adición de combustible para esta finalidad resultaría en un momento en la presión posterior y en la relación de compresión produciendo un estol de compresor, aún en las aceleraciones mínimas.

Con el fin de obtener una aceleración rápida es necesario tomar una medida adicional, tendrá que bajarse aún más la línea de la tobera de la turbina ya que está es una de las áreas más pequeñas dentro del motor, por las que debe pasar el aire, por ejemplo, un motor, para tener flexibilidad, estará diseñado para tener relación de compresión de 5.5 a 1, bajo condiciones estáticas de nivel del mar y de la máxima velocidad, no obstante que el compresor usado podría soportar bajo estas condiciones, una relación de compresión del orden del 15 a 1 fig. 2.13.

Esto resulta en considerable compromiso de máximo empuje y eficiencia del motor, pero debe hacerse el sacrificio para poder obtener un régimen rápido de aceleración sin producir un estol de compresor especialmente en aquellos motores que no están equipados con álaves variables ni aletas en el estator.

En la fig. 2.14 nos muestra que un motor, operando a su máxima velocidad, bajo condiciones standar a nivel del mar, funciona con una regulación de compresión de 5.5 a 1.

El límite máximo de combustible eleva la relación de compresión hasta de 8 a 1, esto en el caso que se necesite una cantidad de combustible suficiente para elevar la relación de compresión hasta 15 a 1, antes que se produzca un estol de compresor.

Como el aumento de presión a través del compresor es una indicación del trabajo - carga, se necesitará una determinada cantidad de combustible para cada relación de compresión.

Por lo tanto el valor "Relación compresión" puede ser reemplazada, en el gráfico que muestra que por cada masa en flujo de aire en el motor, se necesita un flujo específico de combustible para poder mantener la velocidad

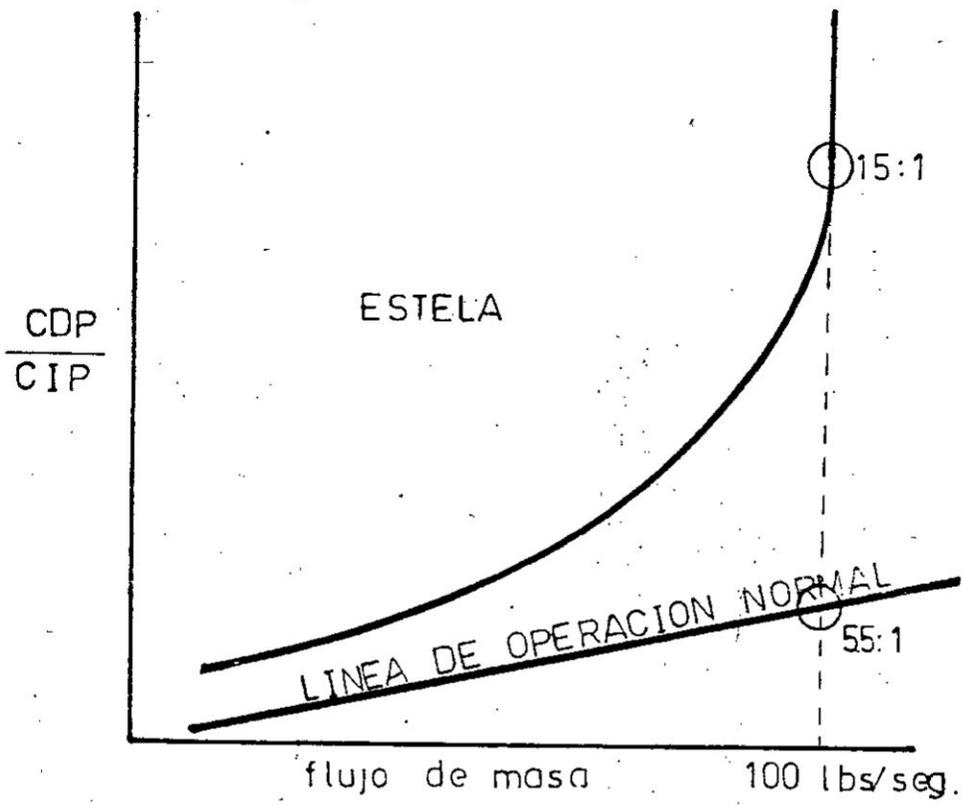


FIG. 2.13

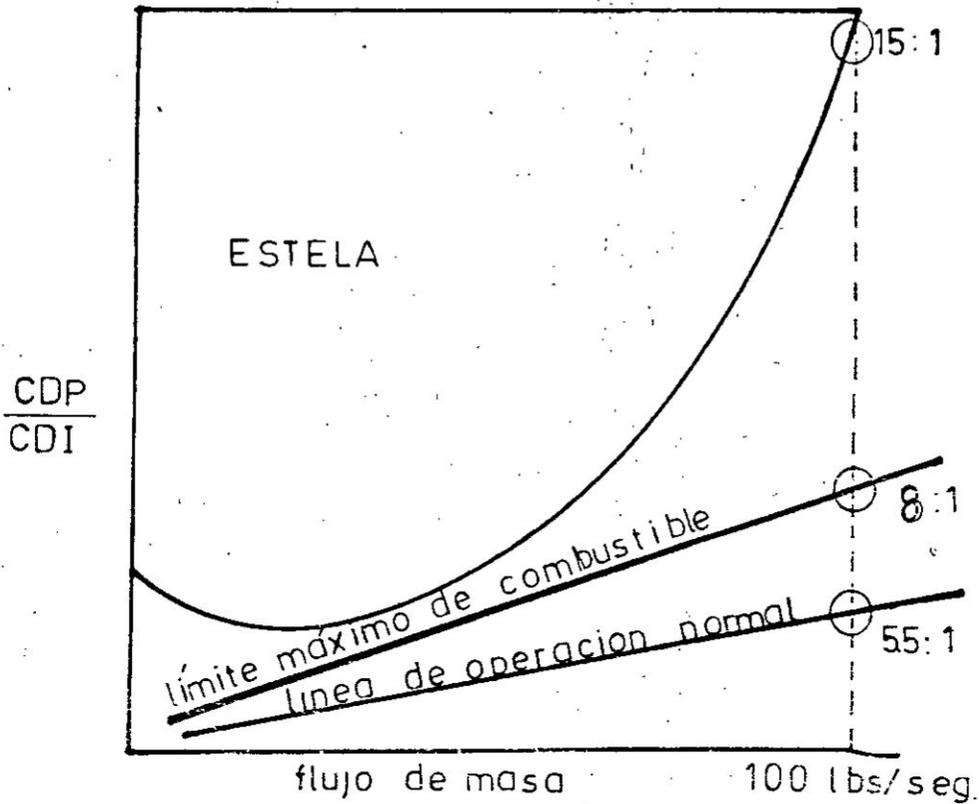


FIG. 2.14

del motor; igualmente el límite máximo de combustible proporciona un límite definido en el flujo disponible de combustible, y para causar un estol en el motor se necesita un flujo de combustible más elevado pero específico, por ejemplo, si el motor está operando en una condición que necesita 6,000 libras de combustible por hora, el límite máximo de combustible puede establecerse a 8,500 libras por hora la cantidad de combustible que podría obtenerse para la aceleración.

En este momento, se necesitarían cerca de 20,000 libras por hora de flujo de combustible para producir un estol en el compresor y por lo tanto éste no ocurrirá.

La continua demanda de motores de mejores performances ha llevado al desarrollo de métodos y dispositivos que permitirán el uso de relaciones de compresión más altas mientras siguen proporcionando aceleraciones rápidas y libres de estoles, algunos de los dispositivos son: área variable de la tobera de escape, álabes de paso variable, álabes variables en el estator, compresor con rotor de doble fila y purgadores de compresor.

- 2.3.3.a TOBERA DE ESCAPE DE AREA VARIABLE : Cuando un motor está equipado con una tobera de escape de área variable es necesario que su área sea regulada en tal forma que tanto su máxima temperatura permisible y empuje, ocurran cuando el motor está funcionando a máxima velocidad en tierra. Generalmente el área fija es tan pequeña que el régimen de admisión de combustible para aceleración, debe ser mantenido en un valor muy bajo, y el motor no podrá ser acelerado tan rápido como se desea. En una área variable, ésta podrá ser abierta durante la aceleración, aliviando la carga del compresor y permitiendo una aceleración más rápida con la misma cantidad de combustible. Esto creará una baja relación de compresión durante los puntos críticos de la aceleración, y permite también la elevación de la relación de compresión después de que ha pasado el área crítica de estol.

Si se tiene en cuenta que el momento más importante concierne al régimen de aceleración es durante los aterrizajes é idas de largo, se puede decir que los cambios del flujo en masa de aire, através del motor resultarán de los cambios de velocidad, en esta forma la tobera puede ser controlada para ser abierta cuando la velocidad del motor es baja y ser cerrada cuando la velocidad es alta.

2.3.3.b ALABES GUIAS DE PASO VARIABLE : Los álabes de paso variable en la entrada, pueden también ser usados para permitir mayores relaciones de compresión en condiciones normales de operación sin que se encuentren condiciones de estol durante la aceleración.

Uno de los propósitos primarios de los álabes de paso variable es dirigir el aire hacia las paletas de la primera etapa del compresor con un adecuado ángulo de ataque, a regímenes de baja velocidad donde no se espera una performance máxima, los álabes guías puede usarse para regular la cantidad de aire que ingresa al compresor.

Es posible regularles su ángulo en tal forma que la menor restricción de flujo de aire, mientras el compresor esté girando a alta velocidad y tiene una elevada relación de compresión, esto permite que ingrese al motor la mayor cantidad de aire, produciendo así una elevada relación de compresión, un elevado empuje y una buena eficiencia del motor.

Cuando sea necesario desacelerar el motor, los álabes guías pueden cerrarse, esta acción reduce el flujo de aire y la relación de compresión en igual forma que la reducida de velocidad.

Durante la aceleración, los álabes guías permanecerán cerrados, manteniendo una baja relación de compresión y se abrirá solamente después que el compresor ha alcanzado una velocidad que le permita mantener la más elevada relación de compresión que pueda producirse con los álabes abiertos. La fig. 2.15 muestra la forma como los álabes guías son usados para prevenir que se intercepte la línea de operación normal con la línea de estol, la prolongación de la línea "A" muestra que si permanecen cerrados

los álabes guías a lo largo de los diferentes regímenes de velocidad del motor, se producirán:

- Baja relación de compresión.
- Bajo flujo de combustible.
- Poco empuje.

La línea "B" indica que cualquiera de los intentos de operar el motor a regímenes de baja velocidad, teniendo en cuenta que los álabes guías estén abiertos, resultarán en un estol de compresor.

El flujo de aire en masa y otras condiciones que determinan la capacidad del compresor, varían grandemente con los cambios de velocidad del motor. Los cambios producidos en la temperatura del aire al ingresar al compresor también afectan cambios sustanciales en la masa de flujo por lo tanto, para determinar cuales son las cualidades del motor y saber cuando los álabes guías deben estar abiertos, cerrados ó en una posición intermedia, es necesario conocer tanto el efecto que tiene la temperatura de ingreso sobre la masa en flujo, como la velocidad del motor en ese momento.

La posición de los álabes guías es regulada, en principio, en función de la velocidad del motor, asumiendo que el aire de ingreso tiene una temperatura standar a 60 °F, sin embargo, si la temperatura del aire en el ingreso excede este standar, la masa de aire en flujo quedará reducida en la misma forma que resultaría reducida por una disminución de velocidad. El control está diseñado para detectar cualquier incremento de la temperatura de admisión sobre el standar mencionado, y efectuar la regulación de los álabes variables en tal forma que no comenzarán a abrirse sino hasta que el motor alcance una mayor velocidad de la que tiene en ese momento.

Por el contrario, una disminución en la temperatura de admisión, bajo el standar mencionado, produce un momento de la masa en flujo y de la capacidad del compresor como si se hubiese aumentado la velocidad del motor,

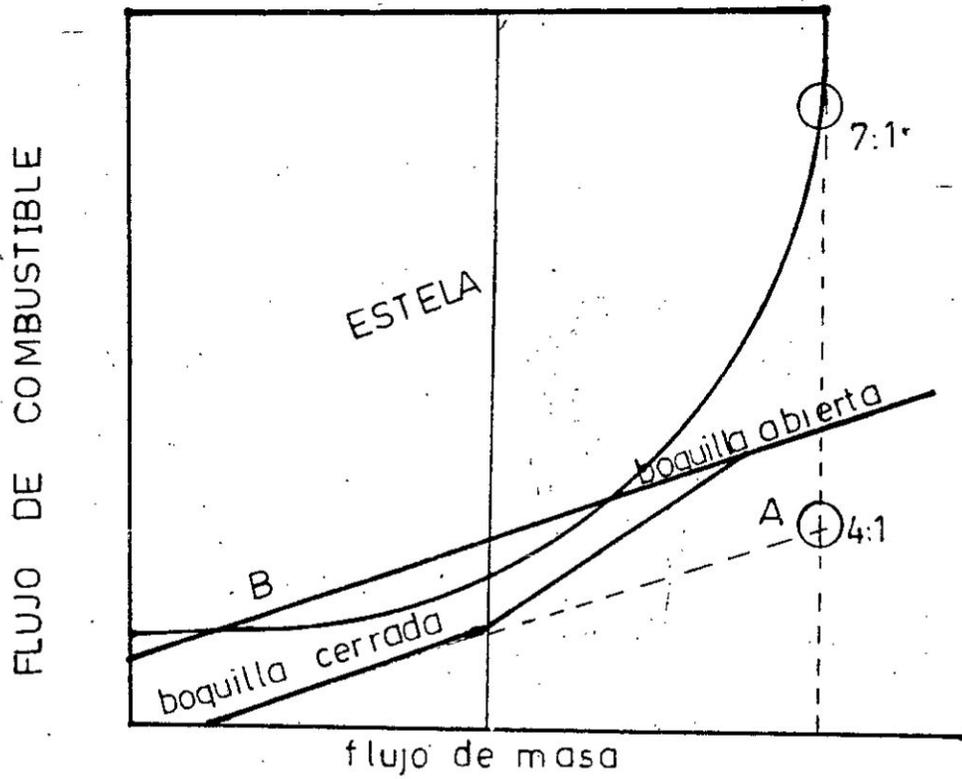


FIG. 2.15.

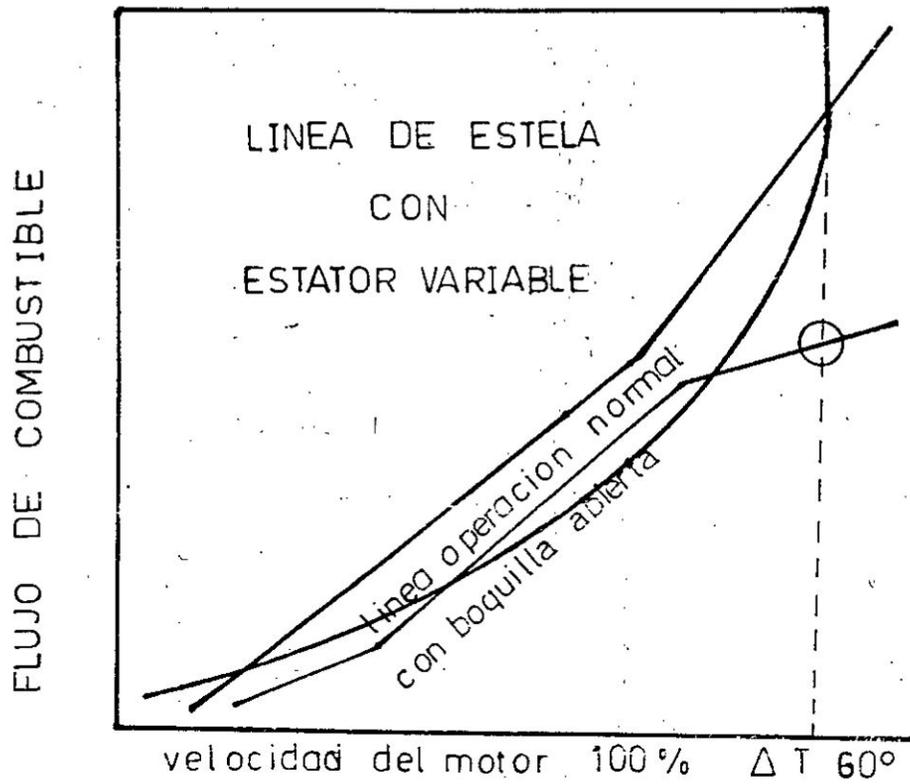


FIG. 2.16

el control detectará esta disminución de temperatura y permitirá que se abran los álabes guías cuando el motor tiene una velocidad más baja.

Este parámetro de control que no es otra cosa que la velocidad en ese momento, dado por la temperatura de admisión del compresor Cit recibe el nombre de velocidad corregida del motor.

2.3.3.c ALETAS VARIABLES DEL ESTATOR: Hemos visto que mediante el uso de toberas de áreas variables y de álabes guías de paso variable, es posible diseñar un motor que tenga una elevada relación de compresión a un elevado ajuste de potencia sin que se produzca estol durante la aceleración; esto mediante una regulación de la carga a que está sujeto el compresor, ahora bien, si se puede hacer algo para elevar la capacidad del compresor durante condiciones críticas intermedias de velocidad del motor y flujo en masa, obtendremos que es posible alcanzar límites más elevados de relación de compresión para ajustes de potencia elevados.

El ángulo de las aletas del compresor debe ser tal que el ángulo aerodinámico de ataque, a la máxima velocidad del motor y las condiciones de flujo de masa deben producir y mantener la mayor presión diferencial, si se puede mantener este óptimo ángulo de ataque conforme se reduce, la velocidad del motor y la masa en flujo es posible aumentar la capacidad de compresor para estos bajos ajustes de potencia.

Un sistema de aletas variables en el estator, es uno de los métodos empleados para tratar de mantener un óptimo ángulo de ataque..

La fig. 2.16 muestra la forma en que las variaciones cambiadas de las aletas del estator y de los álabes guías permiten un diseño de motor que puede tener ventaja de alcanzar las más elevadas relaciones de compresión así como aceleraciones rápidas libres de estol.

Los álabes guías de admisión y las aletas del estator están interconectadas y su posición está en función de la velocidad del motor, corregida por cambios de temperatura de admisión en el compresor.

Los cambios en la temperatura de admisión del aire pueden afectar en tal grado el flujo de masa y la capacidad del compresor, que cuando se tiene una temperatura de admisión muy alta no es recomendable el abrir completamente los álabes guías de admisión ni las aletas del estator, aún a una velocidad del motor del 100 %.

Si la temperatura de admisión del compresor es muy baja, el flujo de masa y la capacidad del compresor sufrirán tal momento que será permitido abrir los álabes guías y las aletas del estator, aún antes de que alcance la velocidad de relantido, ellas también podrán abrirse completamente antes de que el motor alcance el 100 % de la velocidad.

Se han diseñado diversos elementos de control que tienen por objeto detectar los cambios de la temperatura de admisión del compresor y también fijar adecuadamente la posición de los álabes guías y las aletas del estator.

Para evitar una sobrecarga del compresor en regímenes de baja velocidad y baja masa de flujo, también se puede emplear un compresor con rotor de doble fila y/o purgadores.

En caso de utilizar estos últimos, el aire es expulsado hacia afuera cuando las condiciones de velocidad del motor son bajas, evitando en esta forma que el compresor esté sujeto a las más altas presiones posteriores que existirán en caso contrario.

Después que el motor es acelerado a su máxima velocidad, los purgadores quedan cerrados, ya que en el momento el compresor es capaz de mantener la presión posterior adicional que es puesta por el aumento del flujo de aire.

El empleo de un compresor con rotor de doble hilera permite que la velocidad de las últimas etapas del compresor pueda aumentarse rápidamente durante la aceleración. Esto sirve para evitar que se produzca un retraso en la capacidad del compresor cuando se le aumenta la carga mediante la adición del flujo de combustible de aceleración.

2.3.4 ESTOL DE COMPRESOR : Es una condición que existe cuando la relación de compresión es mayor que lo que el compresor es capaz de mantener. Existen muchos factores que pueden provocar la existencia de una excesiva diferencia de presiones, algunos de ellos hacen que la presión de descarga sea muy alta con relación a la presión de admisión otros pueden hacer que la presión de admisión descienda a un valor sumamente bajo con relación a la presión de descarga.

En cualquiera de estos casos se presentará el estol en forma similar aunque quizás no con la misma intensidad.

Es muy posible que el estol afecte a unas cuantas aletas de una sola etapa, ó a una pequeña área en varias etapas, en este caso las aletas restantes pueden ser capaces de desarrollar el trabajo adicional sin entrar en estol, este tipo de estol puede ser llamado de tipo mediano ó frío, ya que el flujo de aire será ligeramente reducido y no se producirá una repentina y rápida elevación de la temperatura de los gases de escape.

Sin embargo es más común, que si se permite continuar esta situación el estol se propagaría a un número suficiente de perfiles causando una brusca disminución en el flujo de aire; en esta situación, el flujo de masa y los ángulos de ataque sobre todos ó la mayoría de los perfiles serán tales que ellos perderían su capacidad para contrarrestar la carga posterior que se les impone.

En muchos casos, esta propagación del estol sucede tan rápidamente que su efecto hace parecer que todas las aletas han estoleado simultáneamente.

Quando ocurre este tipo de estol, el flujo de aire disminuye inmediatamente hasta un porcentaje tan bajo como el valor original.

Esta disminución en el flujo alivia en al o la presión posterior por lo tanto los perfiles tienden a recobrase y a aumentar el flujo de aire en el motor, cuando no se elimina la causa principal del estol.

posible alcanzar un determinado valor en el empuje, con tan solo ajustar una determinada velocidad del motor, sin embargo, cierto porcentaje del empuje disponible podrá ser obtenido estableciendo una específica velocidad del motor, la relación velocidad empuje no necesariamente es lineal.

Una señal que es proporcional a la velocidad deseada, es enviada hacia los componentes del control de combustible mediante la acción del piloto de colocar la maneta en una posición determinada, esta señal puede ser eléctrica, fuerza de resorte, ó una leva de posición pero deberá ser proporcional a la velocidad deseada del motor.

El control también recibirá una señal del motor que también es proporcional a la velocidad que está desarrollando el motor.

Las dos señales son comparadas en el control y si la velocidad deseada es igual a la velocidad que está desarrollando el motor, habremos alcanzado la condición deseada y consecuentemente el control mantendrá el flujo de combustible.

Si la velocidad deseada es más alta que la velocidad que está desarrollando el motor y esta situación es detectada por el control el cual sufrirá un desbalance al comparar las dos señales, luego el control funcionará para aumentar el flujo de combustible.

Siempre que la velocidad a la que funciona el motor sea menor a la velocidad deseada, el flujo de combustible se mantendrá en aumento, conforme aumenta el flujo de combustible, aumentará también la velocidad del motor que está desarrollando en ese momento.

Cuando la velocidad actual iguala a la velocidad deseada, queda eliminada la acción que había estado abriendo la válvula, la cual se mantendrá en la posición necesaria para proporcionar el flujo de combustible requerido para mantener la nueva velocidad deseada del motor.

Siempre que la velocidad actual del motor sea mayor que la velocidad deseada el flujo de combustible se mantendrá en disminución, esta disminución reduce la velocidad del motor.

Las señales de la velocidad deseada y la velocidad actual están equilibradas en tal forma que para cada posición en la maneta del acelerador corresponde a una definida velocidad.

La comparación de estas señales dá como resultado el establecimiento de la cantidad de flujo de combustible necesario para mantener la velocidad que se ha seleccionado.

2.5 CONTROL DE VELOCIDAD : Para poder alcanzar los requerimientos de diseño de mantener una velocidad de motor, seleccionada, el sistema de combustible y sus componentes deben ser capaces de proporcionar y controlar el flujo de combustible en un amplio rango.

Un motor necesita un flujo de combustible de cerca de 600 libras por hora para poder mantener el 100 % de velocidad en alturas extremas, este mismo motor puede necesitar un flujo de combustible de 7,500 libras por hora para poder mantener el 100 % de velocidad, durante vuelos a gran velocidad y baja a altura.

Algunas de las condiciones cambiantes que fijarán la carga del compresor y el necesario flujo de combustible son: la temperatura, altura, velocidad del motor, presión barométrica, humedad, temperatura ambiente y el ram.

Entre estas condiciones que afectan el flujo necesario de combustible podemos señalar la posición de la tobera de escape, el estator y las aletas guía en los motores equipados con estos aditamentos.

Como estas condiciones cambiantes pueden tener un gran efecto en los requerimientos de combustible, pueden tener por lo menos algunas de ellas para así determinar cual es el flujo de combustible requerido; esto no es así cuando ocurre una variación en cualquiera de las condiciones mencionadas, la carga del motor, también caídas; este cambio producido en la carga se debe a un ligero cambio en la velocidad, puede suceder que en la cabina no se detecte este pequeño cambio, pero el control si detectará esta diferencia entre señal de velocidad deseada y velocidad actual. Esta señal diferencial hará que se

abra ó cierre la válvula para corregir el cambio de velocidad.

El control de velocidad puede dirigir constantemente la velocidad del motor y también puede efectuar cualquier corrección en el flujo de combustible que necesita para mantener la velocidad seleccionada en el motor. Por lo tanto no se necesita efectuar ajustes ni compensaciones en la temperatura ó en el tipo de combustible para poder mantener la velocidad seleccionada por el motor. La posición del control de combustible de un motor a ración que fija y mantiene la velocidad seleccionada por la maneta del piloto, recibe el nombre de "servo de velocidad".

Para fines de instrucción la válvula medidora puede considerarse en forma rectangular, siendo el alto de la abertura regulado por el servo de velocidad y el ancho por un parámetro adicional, este detecta la carga aproximada del compresor y fija el ancho de la abertura de la válvula de acuerdo a un escalnamiento predeterminado.

Resumiendo, la variable que se ajusta al ancho de la válvula se coloca al régimen del servo de velocidad en el área aproximada del flujo necesario de combustible y el servo de velocidad hace la selección final del área exacta para conseguir el adecuado flujo de combustible.

La variable que determina el ancho del orificio de la válvula medidora es la presión de descarga del compresor CDP la cual puede ser usada como una indicación de la carga del motor, ya que cualquier cosa que cambia la carga, cambiará también CDP, si por ejemplo, se abre la tobera de escape, la presión posterior dentro del motor, incluyendo la CDP tendrá una caída y por lo tanto los requerimientos de combustible también disminuirán. Cualquier incremento del flujo en masa de aire necesitará de una mayor presión que lo fuerce a través de las restricciones del motor produciendose como resultado un incremento en la CDP.

Si se conoce las restricciones, el flujo en masa de aire y se efectúa una compensación adecuada, tendremos que la CDP puede también ser indicio de un estol de compresor.

La condición "A" de relantido de la fig. 2.17 nos muestra que con una CDP de aprox. 50 psi que es el valor típico para un relantido en condiciones standar a nivel del mar, la válvula es abierta lateralmente por la CDP, hasta una posición que resultaría en un valor de flujo de combustible indicado por "C", si el servo de velocidad cerrara completamente la válvula, el flujo de combustible alcanzará el valor indicado en "D".

Bajo estas condiciones el flujo de combustible requerido para mantener la velocidad de relantido del motor es aprox. de 1,000 libras por hora, en tal forma que el servo de velocidad coloca verticalmente la válvula hasta las señales de la velocidad actual y deseada sean iguales y que la válvula se estabilice en una posición que mantenga las 1,000 lbs./hr. requeridas pto. A.

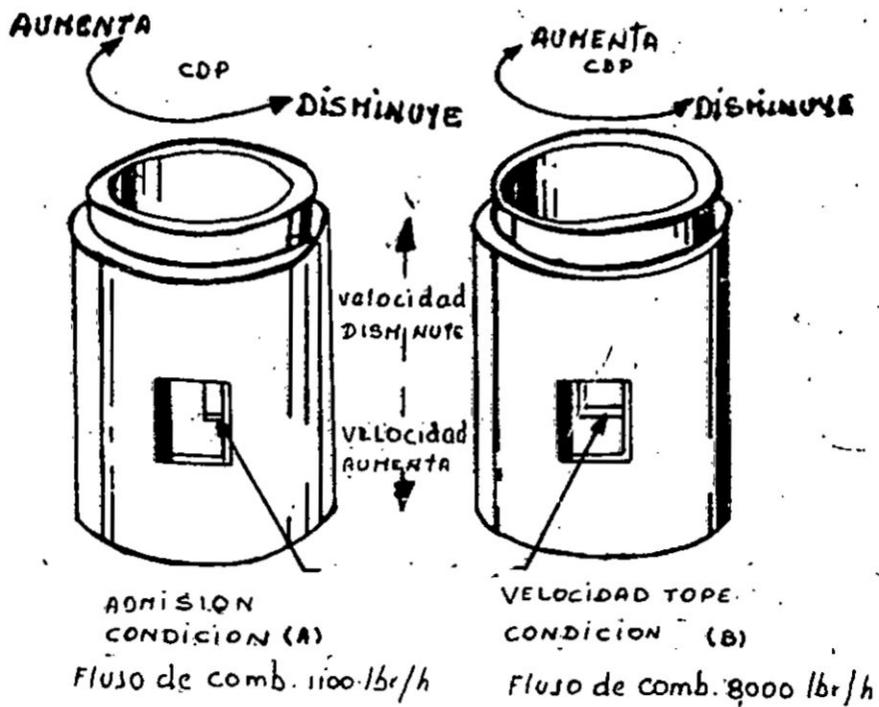
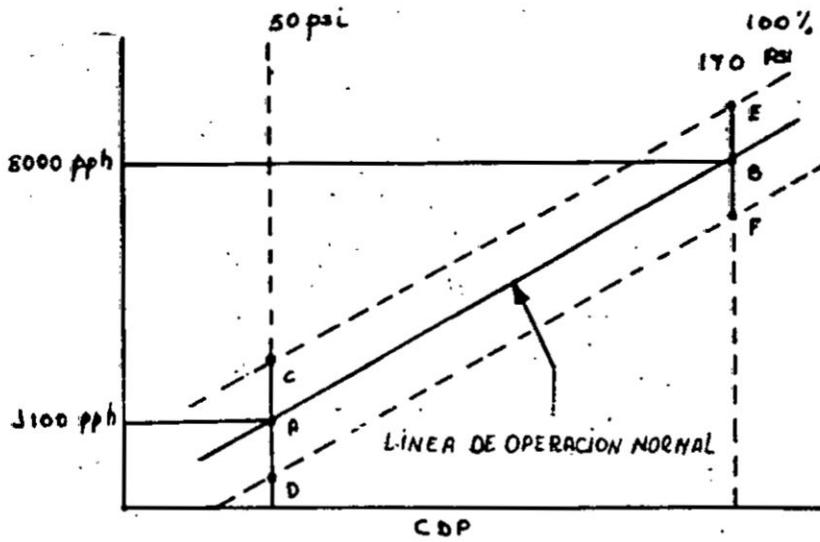
La condición de velocidad tope, "B" muestra que con CDP de casi 170psi, que es el valor normal para una velocidad al 100 % en condiciones standar al nivel del mar, la válvula es abierta lateralmente por la CDP hasta una posición que resultaría en un valor en el flujo de combustible igual al indicado por

"B" si el servo de velocidad cerrara completamente la válvula hasta su mínimo tope, el flujo de combustible alcanzaría un valor como el indicado en "F".

Bajo estas condiciones, el flujo de combustible necesario para mantener el 100 % de la velocidad del motor es cerca de 8,000 lbs/hr. entonces el servo de velocidad fija la posición vertical de la válvula hasta el momento en que las señales de la velocidad actual y la deseada sean iguales, y la válvula de estabilización en una posición vertical que mantendrá las 8,000 lbs/hr. deseadas pto. "E".

Nótese que la válvula toma aproximadamente la misma posición vertical sin considerar la velocidad del motor, pero una vez que la velocidad ya se ha estabilizado, los ptos. "A" y "B" son representados de cualquier pto. seleccionando en la línea normal de flujo de combustible, entre otros ptos.

Esta disposición proporciona una línea de límite máximo de combustible representado por la línea "D-F" de la misma fig. ambas funciones están contro-



TÍPICA CURVA DE OPERACION DE COMPRESOR

FIG. 2.17

ladas en principio, por la CDP y por los topes verticales máximo y mínimo de la válvula.

En este tipo de control, la temperatura de admisión CIT y la velocidad del motor actúan juntas y determinan hasta que punto podrá abrir, el servo de velocidad, verticalmente la válvula para diferentes valores de la CIT y de la velocidad del motor.

Por lo tanto en este control, el límite máximo de combustible es determinado por el límite vertical mínimo de la válvula.

En suma, cuando el motor es estabilizado a una determinada velocidad, el flujo de combustible es regulado al valor que es necesario para mantener esta velocidad, por el servo de velocidad sin necesidad de fijar una programación particular.

Durante el proceso de una desaceleración, es necesario medir ciertas condiciones del motor y fijar el máximo y mínimo flujo de combustible disponible.

2.5.a LIMITE MAXIMO DE COMBUSTIBLE : Durante aceleraciones rápidas el servo de velocidad debe tratar inmediatamente de abrir la válvula de combustible lo más que pueda con el objeto de tener el flujo necesario para la nueva velocidad deseada del motor, con el fin de evitar un estol ó sobret temperatura ó ambos a la vez debe de existir un límite de combustible para la aceleración.

El control debe ser capaz de detectar todo aquello que indique la capacidad del compresor para soportar la presión posterior originada por el aumento de combustible pero solamente hasta una cantidad que el compresor es capaz de soportar.

Durante una aceleración rápida el servo de velocidad, abrirá la válvula hasta un valor establecido por el límite máximo de combustible y la mantendrá abierta en esa posición para alcanzar la velocidad deseada del motor.

Una vez que se obtiene la velocidad deseada del motor, la señal de la velocidad actual será igual a la señal de la velocidad deseada, pero en ese momento, el flujo de combustible será exageradamente mayor que la cantidad que necesita esta velocidad, esto sucede porque se le permitió que el flujo de combustible alcanzara un valor mucho más alto para permitir las aceleraciones rápidas, por lo tanto, el motor comenzará a sobre pasar la velocidad deseada.

En la mayoría de los controles, cuando la diferencia entre la señal actual y la señal de la velocidad deseada comienza a disminuir y se genera una señal de "anticipación".

Esta señal es empleada para estabilizar ó anticipar la llegada de la velocidad deseada al motor antes de que suceda; y también para que no sobre pase las marcas.

En la fig. 2.18 nos indica como el flujo de combustible aumenta, estando limitado durante la aceleración, hasta el límite máximo de combustible.

Conforme nos aproximamos a la velocidad deseada, los elementos que controlan la velocidad ayudados con el estabilizador, comienza a reducir el flujo de combustible.

Es entonces cuando el control de velocidad sume todas las funciones de control y proporciona la cantidad de flujo que sea necesario para mantener un balance entre las señales de la velocidad deseada y actual, manteniendo en esa forma la nueva velocidad deseada.

2.5.b LIMITE MINIMO DE COMBUSTIBLE : Para efectuar una desaceleración en la forma más rápida posible es conveniente que se reduzca el flujo de combustible al valor más bajo posible, teniendo en cuenta de no estrangular completamente la mezcla, lo que haría que se apague el motor por extinción de flama. Para evitar que se produzca esta extinción de flama, durante una aceleración rápida, algunos tipos de válvula de control de combustible están equipados con un tope mecánico, colocado en tal forma que la válvula no p

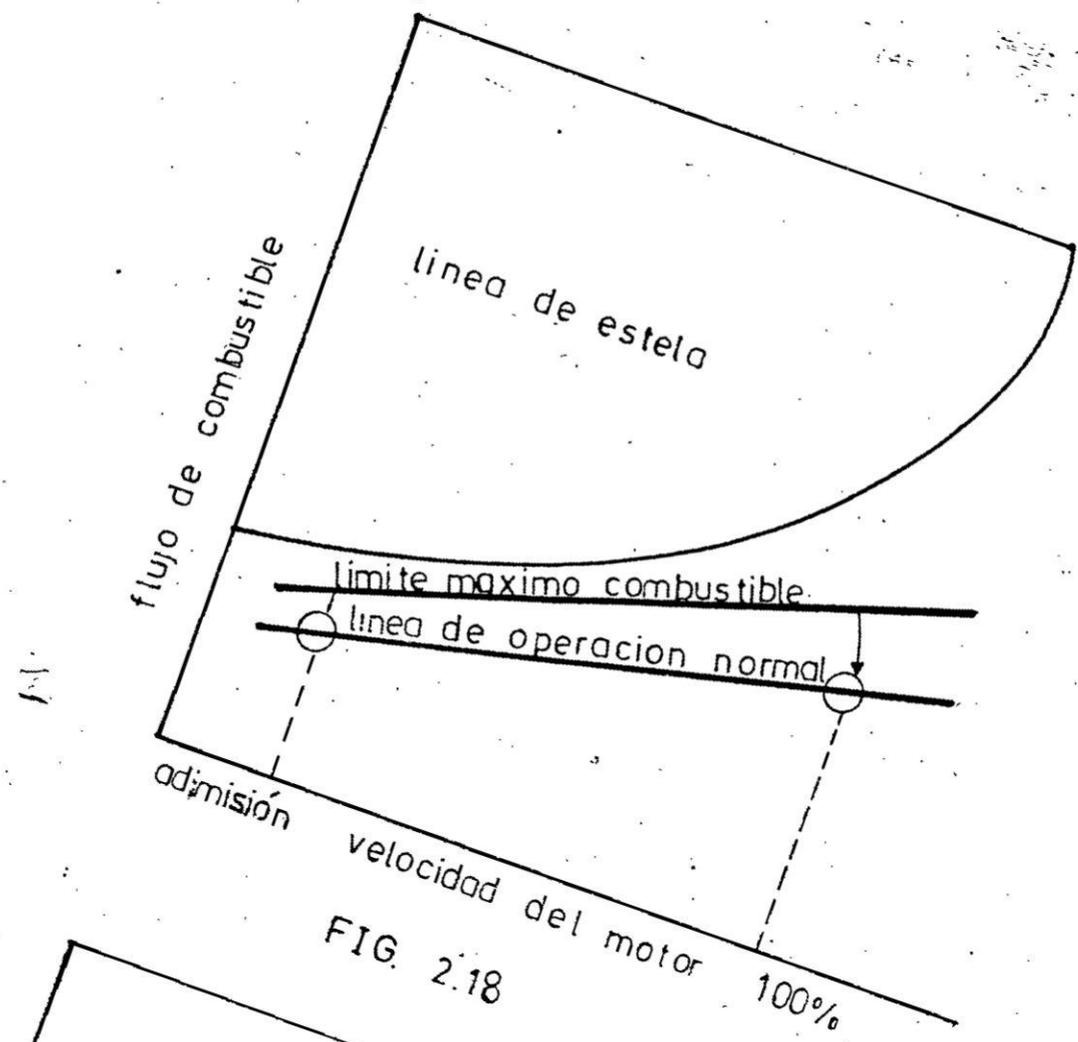


FIG. 2.18

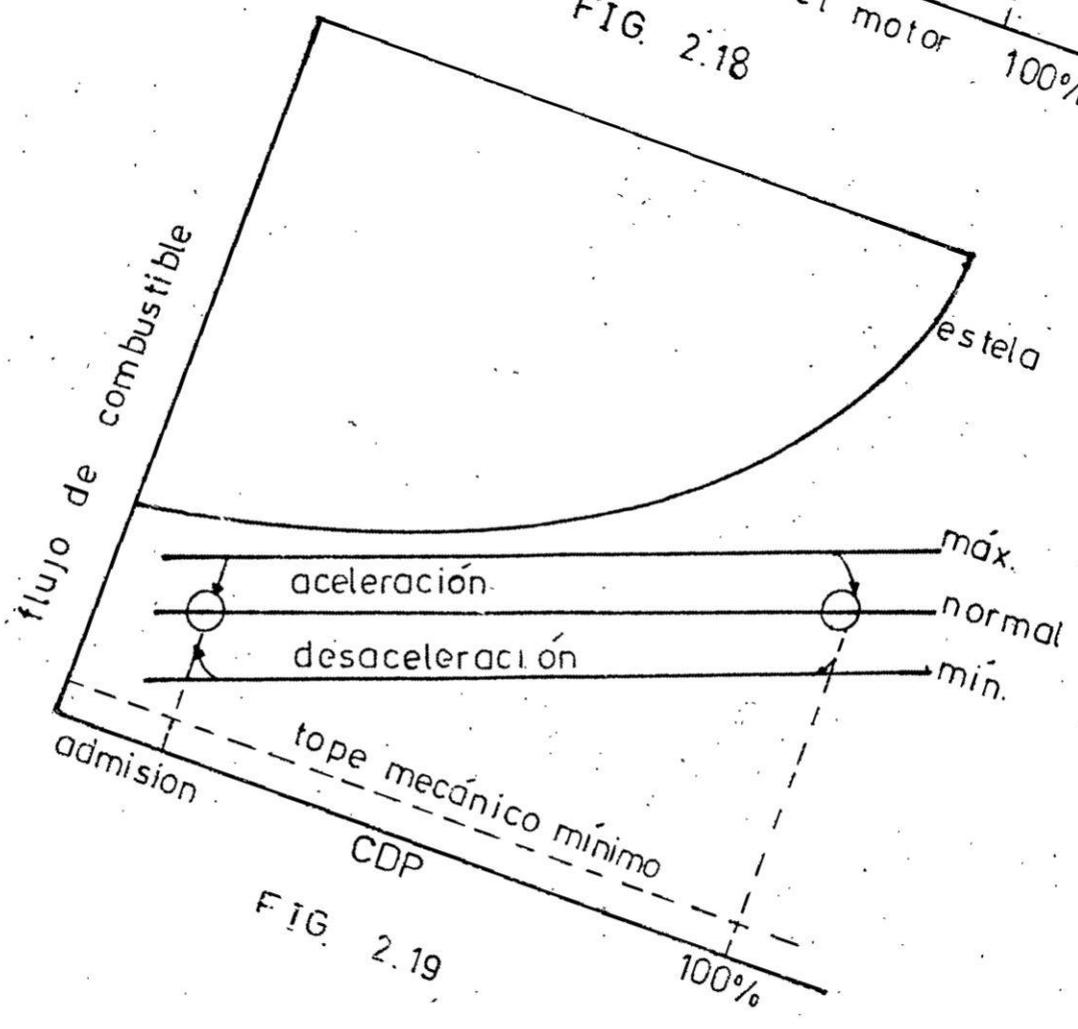


FIG. 2.19

drá cerrarse completamente bajo ninguna condición.

El flujo de combustible que se obtiene con la válvula colocada en mínimo tope mecánico, es tal que no podrá ocurrir de ninguna manera la extinción de flama, aún durante condiciones de flujo de aire extremadamente altos, tal como ocurría durante vuelos de alta velocidad a bajo nivel.

Otros tipos de control tienen, además del tope mecánico para mínimo un medio de establecer un mínimo flujo de combustible, el cual es proporcional al flujo existente, en este caso "costada inicial del acelerador," el flujo de combustible quedará reducido a un valor que está acondicionado al flujo de aire existente.

Conforme comienza la aceleración, y el flujo es reducido, produce también la reducción del límite de combustible.

La variable usada para la administración del flujo mínimo de combustible es generalmente la CDP.

La estabilización para la aceleración también es válida para la desaceleración.

En la fig. 2.19 muestra un régimen de flujos de combustible que puede existir con un control que emplea la CDP, como medio para establecer los límites máximos y mínimos de combustible.

Quando se emplea un tope mecánico como límite mínimo de combustible, tiene que verse que el límite mínimo coincide con la línea marcada "Tope mecánico de mínimo".

2.6 SISTEMA DE CONTROL DE FLUJO : La fig. 2.20 es una simplificación esquemática de un control de flujo en un sistema principal de combustible, en esta forma en particular, la válvula medidora principal de combustible es movida por acción de un control electrónico.

El término control de flujo es usado porque el sistema mide el combustible mediante la acción de mantener una constante caída de presión, que se mantiene constante a través de un orificio de área variable.

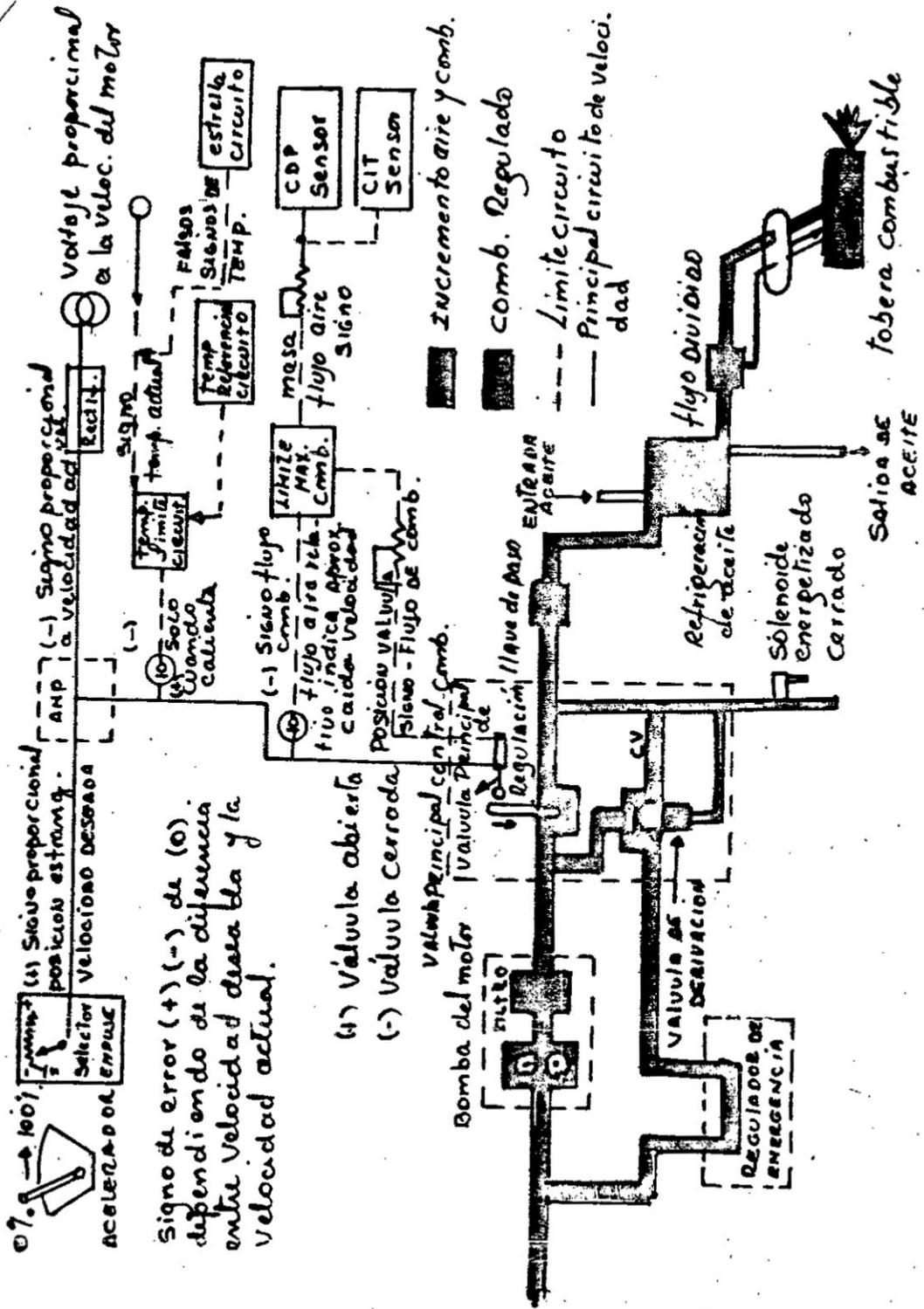


FIG. 2.20 CONTROL DE FLUJO

Si la caída de presión se mantiene constante el flujo variará en relación con el orificio de la válvula baípas.

Esta válvula detecta la presión en el sentido de flujo de la válvula medidora y regula la presión, en contra el sentido de flujo de válvula medidora, a un valor de 50 libras mayor que la presión en sentido del flujo. Como caída de presión se mantiene constante, existe un específico flujo de combustible para cada posición de la válvula medidora.

Las ventajas del control de flujo no son muy aparentes mientras el motor es te operando a una velocidad estable, ya sea que el servo de velocidad efectuó las compensaciones necesarias para cualquier cambio en el flujo de combustible.

La ventaja más importante de un sistema de flujo, es la posibilidad de obtener flujo de combustible más exacto durante aceleraciones rápidas como cada posición de la válvula origina un determinado flujo de combustible, la regulación de la posición de la válvula, durante la aceleración, resultará en una regulación de la aceleración en un régimen apropiado, sin tomar en cuenta el divisor de flujo ó cualquier otra restricción en sentido del flujo.

La señal de velocidad deseada es producida por un "selector de empuje" y es proporcional a la posición del acelerador.

La señal de la velocidad actual del motor es producida por un tacómetro-generador accionado por el motor, la potencia de la señal es proporcional a la velocidad del motor.

La señal será de signo positivo cuando la velocidad deseada es mayor que la actual; y de signo negativo cuando la velocidad actual es mayor que la deseada, la magnitud de la señal de error dependerá del grado de diferencia que exista entre la señal de la velocidad actual y la deseada. El régimen al que se mueve la válvula depende de la magnitud de la señal de error, y de la dirección de su movimiento depende de la polaridad de la señal de error. La sensibilidad de este control en particular, es tal, que un cambio

tan pequeño como un decimo de uno por ciento producirá un inmediato movimiento de la válvula, la que tomará la posición necesaria para mantener la velocidad seleccionada, con la nueva carga.

Cuando se desea una rápida aceleración, se hace necesario limitar el régimen, al cual el flujo de combustible es aumentado, en un valor que no aumente la relación de compresión por encima de la capacidad normal del compresor.

La capacidad del compresor para mantener una relación de compresión es indicada al control a través de la detección de la presión de descarga del compresor y de la temperatura de admisión.

El control también puede detectar el flujo de combustible existente mediante una señal de la posición transmitida por la válvula principal de control de combustible.

La parte del control que es responsable de prevenir el estol de compresor será mencionada como "circuito de límite máximo de combustible", este circuito, dirige constantemente la masa de aire y el flujo de combustible, pero cuando el motor está operando a una forma estabilizada, la señal de flujo de aire es mucho más alta que la actual en una cifra tal que el circuito de límite máximo de combustible no envía la señal límite y por lo tanto no tiene ningún efecto en operación y en la posición de la válvula medidora.

Este tipo de control también está equipado con un límite de temperatura en el servo de velocidad, el objeto de este control de temperatura es limitar ó disminuir el flujo de combustible durante varias fases de operación del motor, cada vez que sea necesario, previniendo en esta forma que se produzca condiciones de sobrecalentamiento muy elevadas.

Las condiciones de operación en las que actúa este circuito disminuyendo el flujo de combustible y evitando el sobrecalentamiento son: los arranques, aceleraciones, los encendidos y operaciones con posquemador y también durante la operación estable.

El tope mecánico mínimo, mencionado en conexión con el circuito de limita-

ción de temperatura de arranque, es usado también para establecer el límite mínimo de combustible, teniendo en cuenta que este tope limita la posición cerrada (mínima) de la válvula, no existe ninguna condición, ni falla en el servo de velocidad que puede reducir el flujo de combustible a un valor menor de 600 libras por hora.

También se ha determinado que este motor en una rápida reducción de flujo hasta 600 lbr/hr. no hará que se apague el motor aún en condiciones de baja altitud y elevado empuje.

Por esta razón podemos establecer que este sistema sirve para doble propósito, establecer tanto el flujo de combustible que se aplica durante rápidas desaceleraciones, como también el flujo de combustible para el arranque.

La máxima abertura vertical de la válvula es determinada por la velocidad del motor y de la temperatura de admisión; la mínima, por un tope mecánico.

La válvula baipás mantiene una caída de presión constante, a través del orificio medidor, de tal manera que cualquier área en la válvula medidora resultará en específico flujo de combustible.

Los cambios del tipo y temperatura de combustible son compensados por este control mediante la calibración de la válvula baipás para que varíe la caída de presión en la válvula medidora.

2.7. SISTEMA DE COMBUSTIBLE PARA POSQUEMADOR : Los sistemas para los posquemadores, generalmente son considerados como sistemas de control de flujo, ya que el control se ejerce mediante el mantenimiento de una caída constante de presión a través de un orificio de área variable.

En el sistema principal de combustible, el combustible es abastecido al motor al régimen que sea necesario para mantener su velocidad deseada, en el sistema del posquemador es necesario tomar algunas providencias para abastecerle de tanto combustible como le sea necesario para quemar con eficiencia y seguridad, de tal forma de obtener el máximo empuje en el momento deseado.

También es deseable que se tome en cuenta algunas providencias para permi -

tir que el operador pueda relacionar y seleccionar alguna porción del máximo flujo de combustible disponible y poder así regular el empuje producido en el régimen de pre-combustión.

La cantidad de aire disponible para unirse con el combustible en el proceso de la combustión, determina la cantidad máxima de combustible que debe ser abastecido por el sistema.

Como el volumen de aire disponible cambia violentamente con la variación de las condiciones de vuelo, es necesario que el control de combustible detecte la cantidad de aire disponible y que proporcione el flujo de acuerdo a una distribución pre determinada.

Esta distribución debe ser tal que conforme varía el flujo de aire, el flujo de combustible es regulado automáticamente hasta un valor que producirá la mayor cantidad de empuje con un razonable volumen de eficiencia, la presión de descarga del compresor es usada generalmente como indicación de la cantidad de aire disponible.

Cuando el acelerador es abierto directamente como una función de la presión de descarga.

Cuando se desea tener menos de la máxima cantidad disponible de flujo de combustible para el posquemador, se usa una reducción en la posición del acelerador, lo cual indicará al control la cantidad de combustible disponible y el empuje que desea el operador.

La fig. 2.21 es un ejemplo típico de como el flujo de combustible del posquemador puede ser distribuido de acuerdo a la CDP con todo el acelerador abierto, con el acelerador en media posición de posquemador y con el acelerador en la posición mínima de posquemador.

La fig. 2.22 nos muestra el efecto de la posición del acelerador sobre el flujo de combustible, con los valores que la CDP tendría a nivel del mar, a grandes alturas y con condiciones de gran empuje.

La fig. 2.23 es una simplificación esquemática de un típico sistema de combustible que emplea señales eléctricas para posicionar la válvula medidora

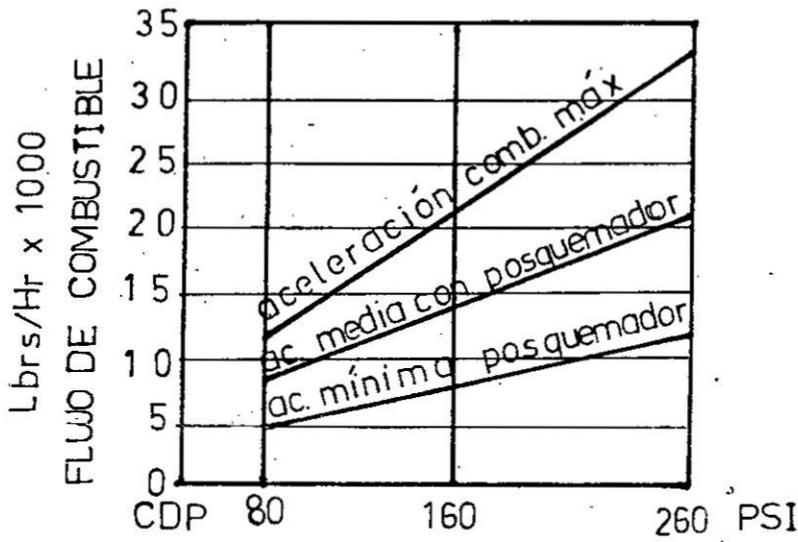


FIG. 2.21 FLUJO DE COMB. DEL POSQUEMADOR
VS
CDP

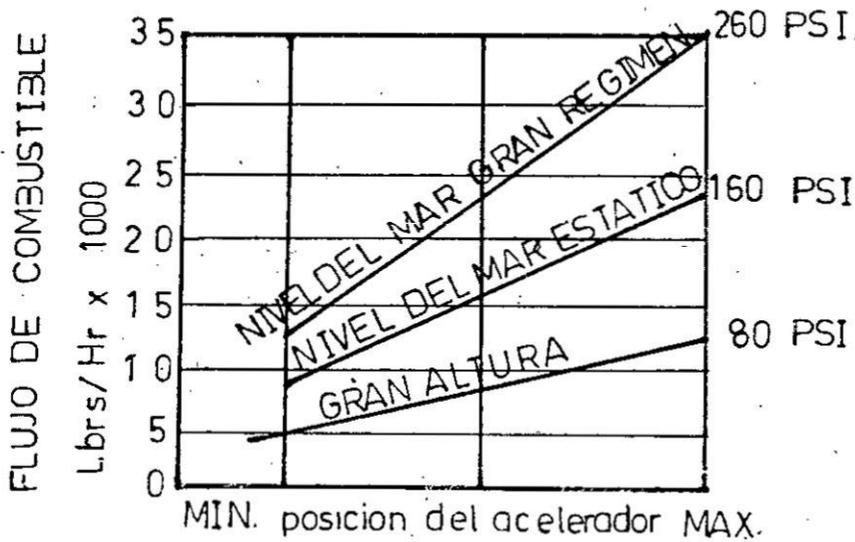


FIG. 2.22 FLUJO DE COMB. DEL POSQUEMADOR
VS
POSICION DEL ACELERADOR

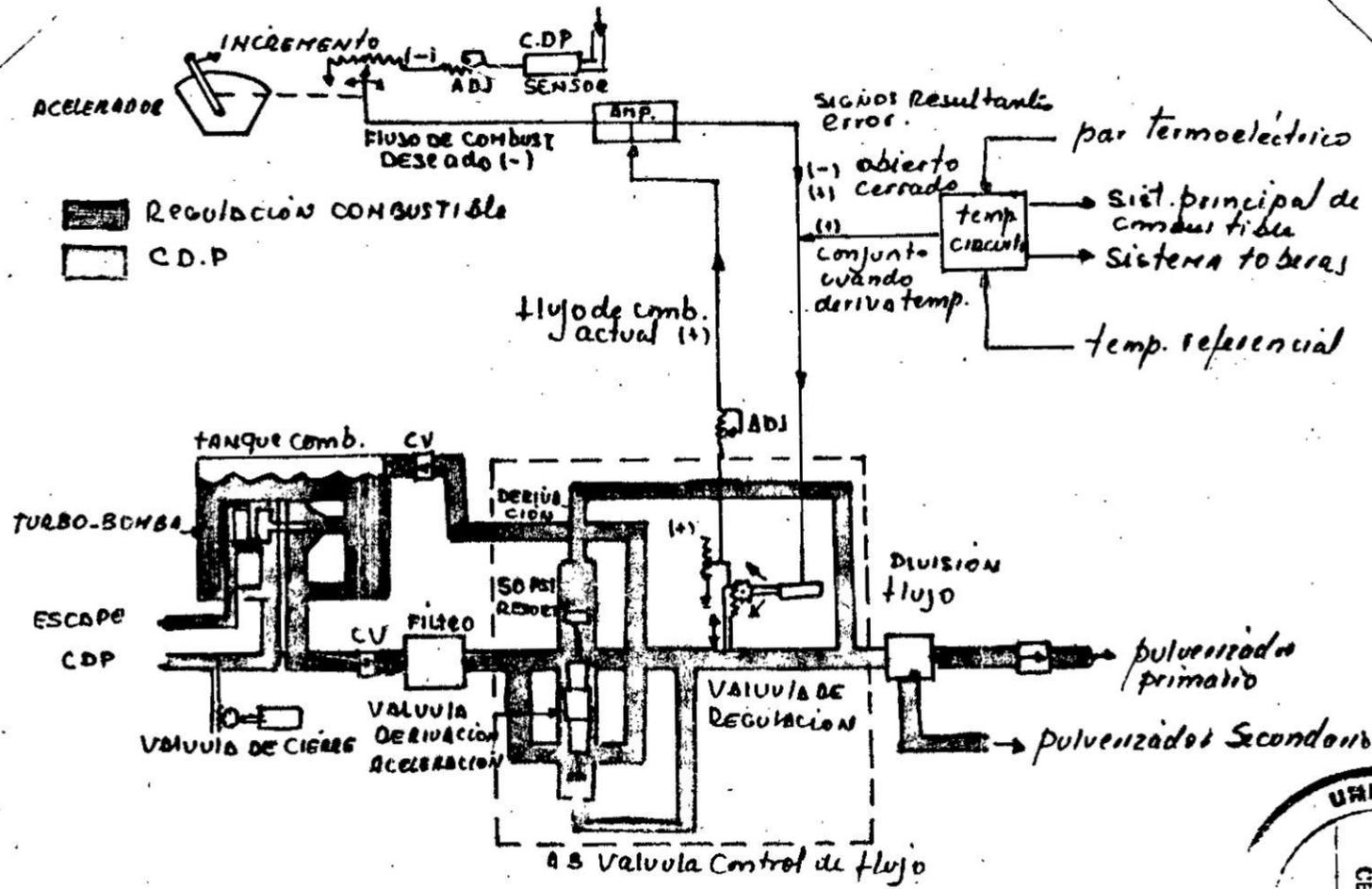


FIG. 2.23 SISTEMA DE COMBUSTIBLE DEL POSQUEMADOR



principal del control de combustible del posquemador.

El combustible es abastecido al sistema por medio de una turbobomba accionada por aire, la cual está instalada en el tanque de combustible.

Cuando el operador selecciona el régimen de posquemador y el motor se encuentra operando cerca a su velocidad tope, se produce la abertura de la válvula de corte de aire de operación eléctrica, abasteciendo de aire de alta presión, el área de descarga del compresor hacia la turbina de la turbobomba. Conforme la presión de descarga de la bomba centrífuga comienza a salir, se abre una válvula de chequeo, a un valor pre determinado de la presión y permite que el flujo de combustible pase hacia el filtro del avión y hacia la válvula de control de combustible del motor.

Un detector de la CDP emite una señal eléctrica que es proporcional a la presión de descarga existente del compresor, y aplica una señal por intermedio de un potenciómetro, la aguja del potenciómetro es colocada en posición por el acelerador para la selección de la presión deseada de la máxima señal disponible.

Las señales de la posición deseada y actual de la válvula son comparadas en la caja amplificadora y si son iguales quiere decir que la válvula se encuentra en la posición deseada y las señales se anularán entre sí, pero si no son iguales, quiere decir que la válvula no se encuentra en la posición deseada produciéndose una señal de error que es proporcional al grado de diferencia.

El sistema de combustible de posquemador presentado en las figuras 2.23 están equipados con un circuito limitador de temperatura, el cual sirve para reducir el flujo de combustible del posquemador evitando en esta forma que se opere en condiciones estables de sobretemperatura sobre todo en los momentos en que se apaga el posquemador. Normalmente durante condiciones estables, la tobera de escape es posicionada automáticamente para limitar la temperatura máxima de los gases de escape.

Sin embargo cuando se apaga el posquemador, existirán algunos grados de

bretemperatura mientras la tobera se desplaza hacia su nueva posición requere para mantener el límite máximo de temperatura.

La intensidad de esta sobretemperatura es reducida por el circuito limitador de temperatura del posquemador.

Este circuito detecta la señal de temperatura deseada, de circuito de referencia; y la señal de la temperatura actual de los gases de escape tienden a sobrepasar el máximo deseable, el circuito de temperatura emitirá una señal positiva proporcional al grado de temperatura, esta señal positiva es aplicada a la línea de la señal de error del posquemador y limita el flujo de combustible al posquemador en la forma más conveniente que permita mantener esta temporal sobretemperatura dentro de los límites establecidos.

2.8 SISTEMA DE EMERGENCIA DE COMBUSTIBLE : Muchos motores están equipados con un dispositivo que sirve para enviar combustible al motor en caso de falla del controlador principal de combustible.

Se dice que estos motores están equipados con un sistema de emergencia de combustible cuando en realidad el dispositivo viene a ser un controlador de emergencia. Las mismas bombas de combustible, filtros, divisores de flujo, boquillas, etc. que son usados con el control con el control principal, son los que se usan con el controlador de emergencia.

Los controladores principales son capaces de controlar la velocidad del motor con gran precisión, proporciona aceleraciones rápidas sin peligro de estol. El objeto de un regulador de emergencia es dotar al piloto de un medio de alcanzar el aeropuerto más cercano y efectuar un aterrizaje seguro cuando se ha presentado una falla en el controlador principal.

La mayoría de los controles de emergencia están diseñados para dotar al piloto de un medio de controlar ya sea la presión ó el flujo de combustible, dependiendo ésto del tipo de regulador.

El flujo de combustible, ó la presión, según sea el caso estará en función de la posición de la maneta del piloto, del ajuste del regulador y de la señal de compensación de altura que normalmente es la presión de admisión.

del compresor.

El regulador de emergencia responde inmediatamente a la señal de la posición del acelerador sin tomar en cuenta la temperatura del motor ni los límites de velocidad ni del estol, se recomienda inhabilitarlo durante la mayoría de las fases de operación del motor, salvo que se presente el caso de emergencia.

En algunos casos de instalación, el regulador de emergencia es mantenido inoperativo hasta que el operador detecte una falla en el sistema principal y pone en operación al sistema de emergencia.

En estos casos, se ha instalado un interruptor en una posición intermedia, el cual solamente debe ser usado durante el descolaje.

Quando este interruptor está en la posición de descolaje, el flujo de combustible será controlado por el regulador de emergencia, estará en una condición de alerta que le permitirá tomar el control del flujo de combustible, en cualquier momento que falle el sistema principal, entregando una cantidad de combustible predeterminada. Las precauciones que deben de observarse al mover el acelerador, cuando se usa el regulador de emergencia, deben también observarse cuando dicho regulador está en la posición de descolaje ó en alerta, ya que los movimientos del acelerador pueden ocasionar que anule el sistema principal lo que podría causar estol de compresor, una condición de sobret temperatura ó de sobrevelocidad.

Los reguladores de emergencia del control de flujo se diferencian principalmente en que están equipados para mantener una caída constante de presión en la válvula de aceleración.

El regulador de emergencia mostrado en la fig. 2.24 toma presión de combustible del sistema a la altura de la llave de corte.

La función del regulador es posicionar la válvula de aceleración hasta que la presión actual de combustible sea igual a la presión deseada.

Con el fin de inhabilitar completamente el controlador principal de combustible, cuando se hace la selección de emergencia el solenoide A se abre, ha

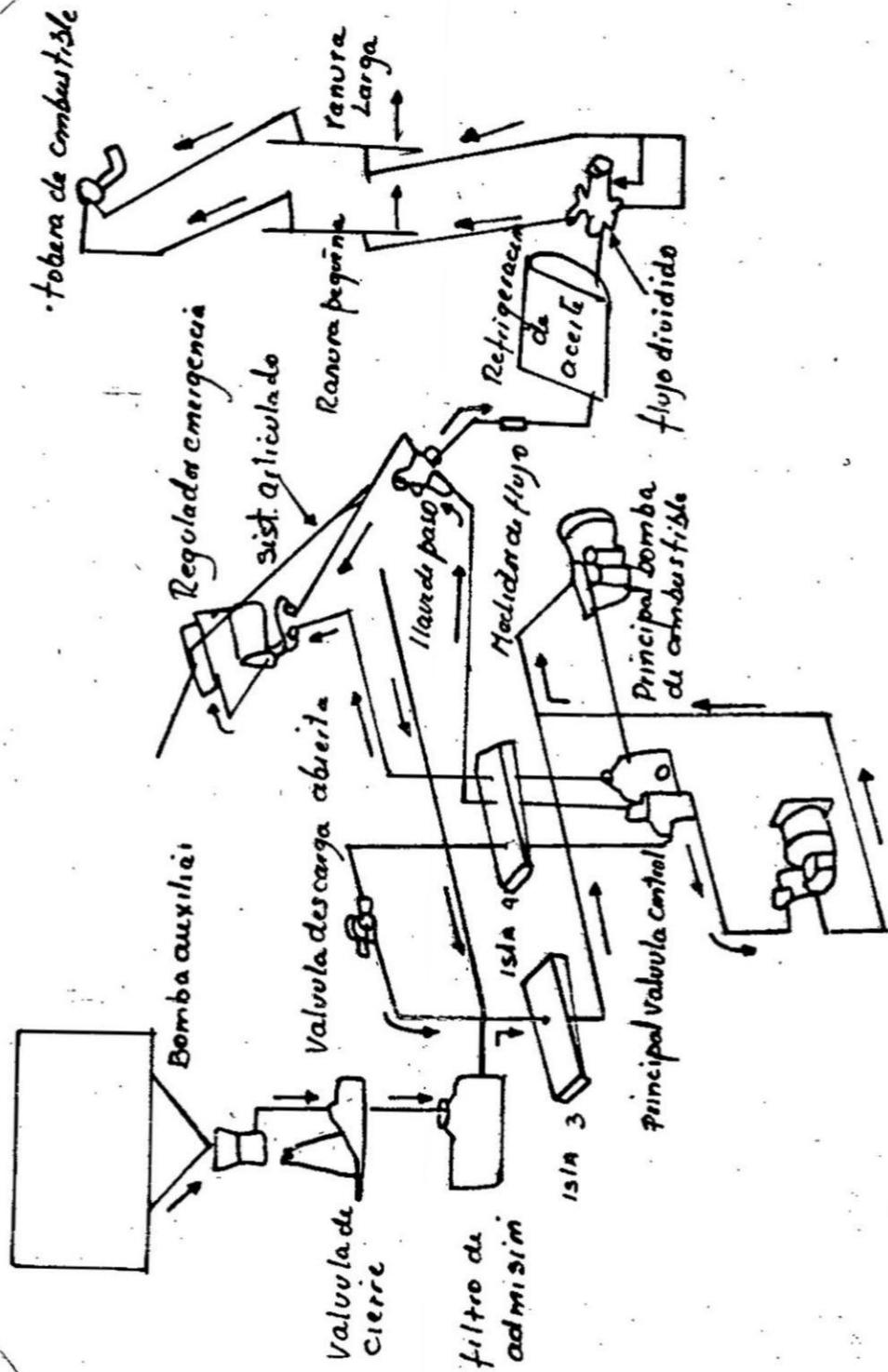


FIG. 2.24 DIAGRAMA DEL COMBUSTIBLE DE EMERGENCIA

ciendo que la válvula principal de control de combustible tome una condición total de baipás.

Al mismo tiempo el control de emergencia de combustible entra en operación por la abertura del solenoide B el cual hace que la presión del sistema de combustible actúa sobre la válvula baipás de aceleración.

Durante condiciones de vuelo normales, el interruptor selector del sistema de combustible, esta colocado de tal manera que los solenoides A y B permanecen cerrados. Este inhabilita al regulador de emergencia y permite que la válvula principal de combustible funcione normalmente.

Durante el descolaje, que es cuando se necesita que el sistema de emergencia se encuentre en alerta para el caso de una falla del regulador, el solenoide A es energizado (cerrado) y el solenoide B desenergizado (abierto).

Si el regulador de emergencia está debidamente regulado, tratará de establecer en el sistema de presión que es menor que la que existe actualmente.

La válvula de baipás de aceleración se abrirá completamente y no tendrá efecto alguno en el flujo de combustible. Si la presión del sistema decae hasta un valor menor del que el regulador de emergencia trata de establecer la válvula baipás de aceleración comenzará a cerrarse y tomará una posición que le permita mantener en el sistema una presión que esté de acuerdo a la posición del acelerador, de la CIT y de la regulación manual.

Notese que en el caso que se pierda la energía de 28 voltios, ambos solenoides quedarán abiertos, esto hará desconocer el control principal y activará el control de emergencia.

Esto es conveniente en este sistema particular ya que la posición de la válvula principal de control de combustible requiere de energía eléctrica.

2.9 SISTEMA DE TOBERA DE ESCAPE DE AREA VARIABLE : Vantajas de una tobera de área variable :

1.- Relación lineal entre la posición del acelerador y el empuje, cuando la posición de la tobera y la velocidad han sido establecidas apropiadamen

te, tomando en cuenta la posición del acelerador se puede obtener una relación lineal entre la posición del acelerador y el empuje. Esta disposición proporcionará al piloto los mismos cambios de empuje para un determinado movimiento en el acelerador, cualquiera que sea el área de operación.

- 2.- Menor empuje en el aterrizaje: abriendo la tobera, así como disminuye la velocidad del motor, se puede obtener un empuje menor para el aterrizaje.
- 3.- Recuperación de empuje más rápido: teniendo en cuenta que el empuje puede ser reducido dando una mayor abertura a la tobera en bajos regímenes de aceleración, podemos regular el empuje a un valor necesario para efectuar una aproximación y aterrizaje sin tener que reducir la velocidad del motor relativamente alta, durante trayectoria de planeo, se reducirá el tiempo requerido para acelerar el motor hasta su velocidad tope, bajo estas condiciones, la recuperación del empuje puede efectuarse rápidamente con una aceleración corta y cerrando la tobera.
- 4.- Arranques más rápidos y más fríos: estableciendo que la tobera esté abierta cuando el acelerador esté en la posición para arrancar, aliviará el motor y necesitará de un menor flujo de combustible para acelerarlo a la velocidad de relantido.
- 5.- Aceleraciones más rápidas y más frías: si durante una aceleración se fija la tobera en su posición abierta para relantido, se necesitará menor cantidad de combustible para hacer que el motor alcance su velocidad tope. El régimen de aceleración será mayor y las temperaturas resultantes serán menores.

6.- Eficiencias máximas a toda potencia y a potencia aumentada: el control de la temperatura de una tobera de área variable, permitiendo mantener la temperatura de los gases de escape a su máximo permisible, sin tomar en cuenta las condiciones de vuelo con el acelerador ajustado a un régimen de posquemador. El empuje puede ser variado dentro del régimen de posquemador sin que este afecte la temperatura de los gases de escape.

7.- Mejor eficiencia de crucero: con una distribución apropiada, una tobera de área variable puede ser colocada por el piloto en una posición que le permita obtener un empuje de crucero de máxima eficiencia sin tener que reducir la velocidad del motor.

2.9.a SISTEMA TIPICO DE TOBERA : La fig. 2.25 es una simplificación esquemática de un sistema de regulación de tobera de escape, operando eléctricamente. La señal para la posición de tobera deseada es desarrollada por un potenciómetro el cual es accionado por el acelerador. En este caso la señal de la posición deseada es desarrollada de signo positivo, proporcional a la posición del acelerador.

Esta señal es aplicada a un amplificador donde es comparada con la señal de la posición actual, la cual es producida por un potenciómetro que es colocado en posición actual de la tobera y su intensidad disminuye conforme se cierra la tobera.

Si las dos señales son iguales quiere decir que la tobera está en la posición deseada, y por lo tanto estas señales se anularán entre sí dentro del amplificador.

En este caso, el amplificador emitirá una señal de error positivo, esta señal será luego aplicada a un amplificador, en forma que la haga enviar una mayor cantidad de flujo de corriente hacia la parte de abertura, que el que se envía a la parte de cierre. Esto dará como resultado que se abra la tobera.

Conforme se abre la tobera, la señal de la posición actual comenzará a

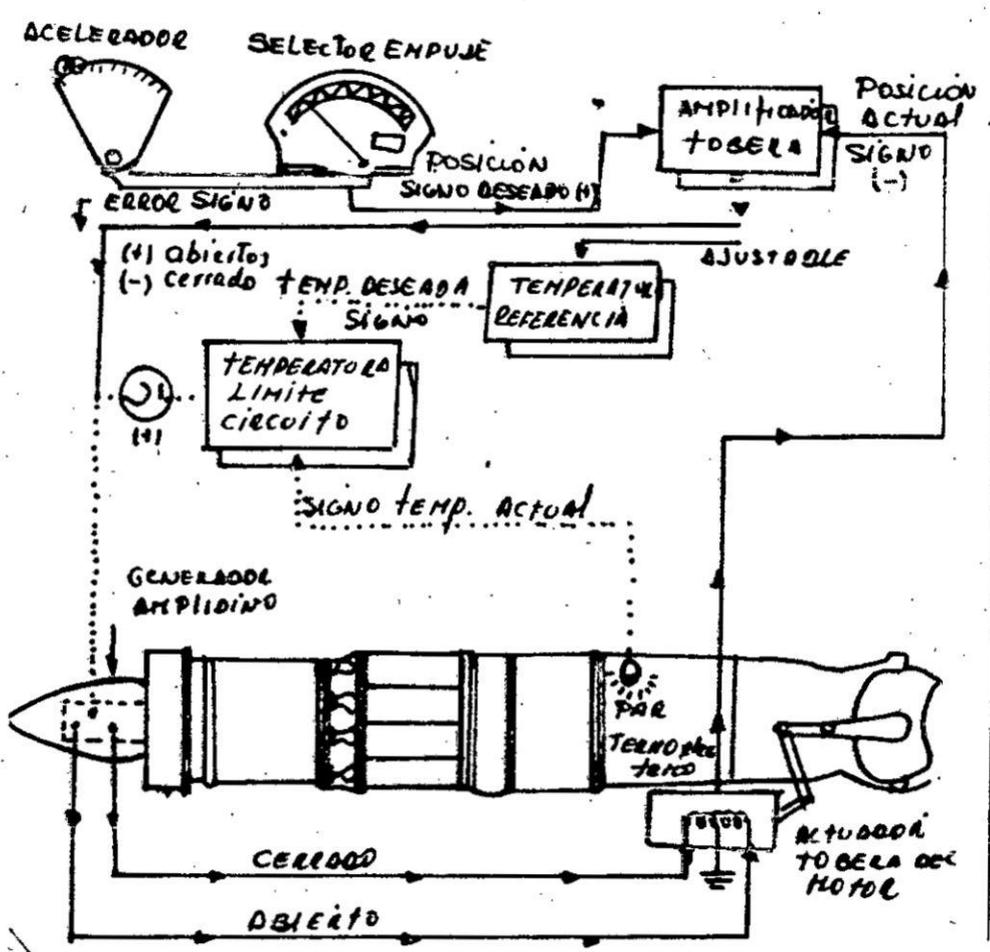


FIG. 2.25 SISTEMA ELECTRICO DE CONTROL DE

TOBERA

aumentar y cuando ha alcanzado la posición actual comenzará a aumentar y cuando ha alcanzado la posición abierta deseada, esta señal habrá aumentado hasta alcanzar la misma intensidad de la señal de posición deseada, la señal de error retornará a cero y por lo tanto cesará todo movimiento. Cuando se alcanza la acción contraria a la descrita, la señal de la posición es reducida, permitiendo que se desarrolle una señal de error de signo negativo.

Esto trae como resultado que se cierre la tobera hasta que la señal de la posición actual disminuya hasta alcanzar la misma intensidad de la señal de la posición deseada, en ese momento la tobera se encontrará en su nueva posición de reglaje deseada.

Conforme se menciono, no existe tendencia en el motor a desarrollarse una sobretemperatura excepto durante aceleraciones y arranques hasta que el acelerador es avanzado a un punto que regula a la tobera a estar cerrada lo suficiente para alcanzar la EGT ó sea el límite de temperatura prevista. Cuando el acelerador es movido más allá del punto donde se encuentra la EGT prevista, el regleje es tal que la tobera tratará de cerrarse más de lo que corresponde pudiendo producirse una condición de sobretemperatura. El objeto del control de temperatura en el sistema de la tobera es anular el reglaje de ella y mantenerla abierta en la posición requerida para mantener la temperatura de los gases de escape al máximo deseado.

2.10 SISTEMA DE CONTROL DE PRESION : La fig. 2.27 es una simplificación de un sistema de combustible de control de presión, en el diseño se muestra el regulador de combustible de control de presión que controla la presión medida del combustible, por medio de la colocación de una válvula de control de baipás.

El combustible no pasa por el regulador, el regulador contiene una bomba de aceite la que conjuntamente con unas válvulas de desahogo, establece una presión de aceite interna de control de aceite constante. CCO, esta

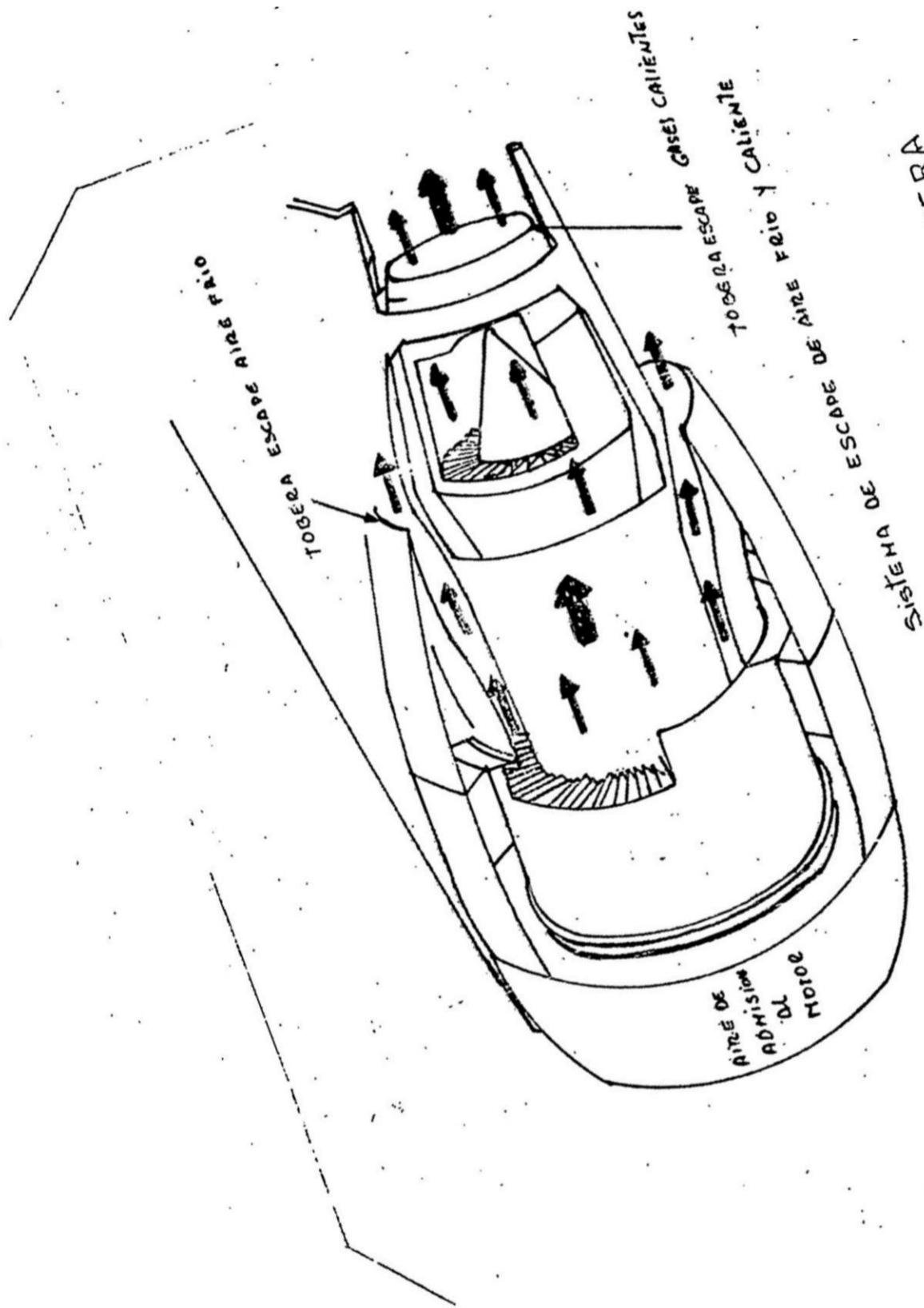


FIG. 2.26

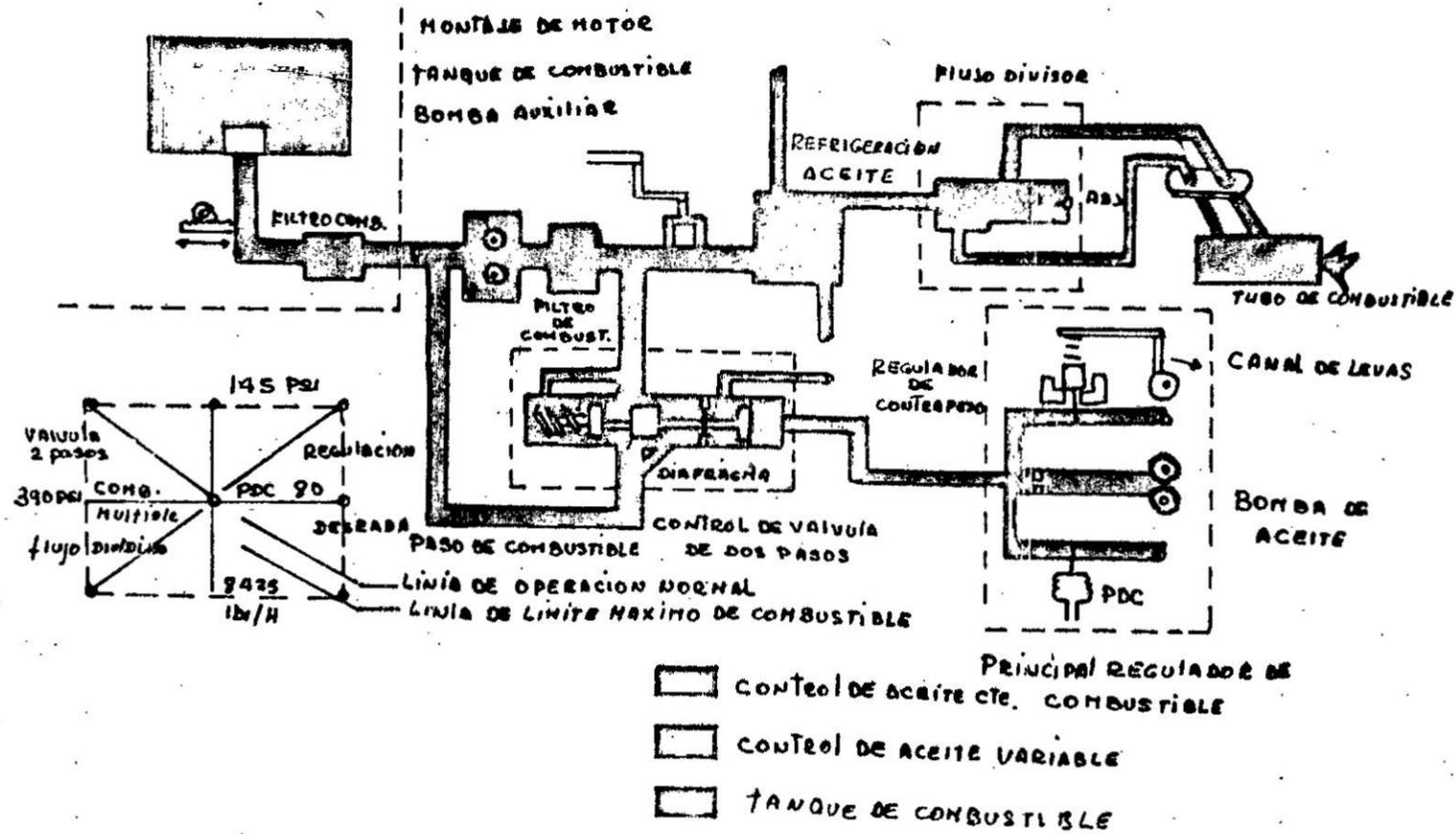


FIG. 2.27 CONTROL DE PRESION DEL SISTEMA PRINCIPAL DE COMBUSTIBLE

fuente de presión de aceite interna de control constante es usada para proporcionar una presión de aceite de control variable VCO, la presión de aceite con rol variable es aplicada a una válvula de combustible de tipo baipás, en tal forma que los aumentos de presión de aceite cerrarán dicha válvula haciendo que la mayor parte de combustible vaya hacia las boquillas, el diseño de la válvula baipás está hecho en tal forma que existe relación definida entre las presiones del aceite variable y la presión del sistema de combustible.

La presión del sistema de combustible siempre será igual a la presión del aceite de control variable menos 15×3 . Esta relación de presión no es importante durante operaciones estables ya que dentro del regulador existe un servo de velocidad que ajusta la presión de aceite de control variable hasta hacer que la presión del sistema de combustible alcance el valor deseado para conseguir el flujo de combustible necesario para mantener la velocidad deseada del motor, ya sea durante las condiciones existentes ó cambiadas.

CAPITULO III

ANALISIS DE LAS AVERIAS EN LOS MOTORES A REACCION

3.I FALLAS EN CONDICIONES DE OPERACION DEL MOTOR A REACCION :

Las características que contribuyen al diseño de un motor que desarrolle altas performances ya sea operacionales, son de gran interes para la investigación que se lleva a cabo.

Ciertas variables requieren de una regulación y de un control de gran exactitud, el investigador debe estar familiarizado con los resultados que se espera obtener de las performances de un motor que es operado sin el debido control de estas variables.

Debe también conocer que las evidencias pueden ser empleadas para poder establecer si se efectuado ó no el control apropiado de esta variable.

La siguiente información concierne a los resultados que se esperan obtener de ciertas fallas que son influenciadas también por la amplitud de variables en las condiciones de operación, estos resultados de los análisis de fallas que pueden servir de gran ayuda en la formulación de conclusiones si se toman en cuenta junto con las condiciones de operación y de cualquiera otra información bien fundamentada.

3.I.I ALABES GUIAS DE PASO VARIABLE :

1.- REGLADA MUY CERRADA : Flujo de combustible y empuje menores de lo normal, tendencia a reducir el tiempo de aceleración.

2.- REGLADA MUY ABIERTA : Flujo de combustible y empuje mayores de lo normal, estol de compresor en las aceleraciones rápidas ó desaceleraciones lentas.

3.- QUEDANDO COMPLETAMENTE CERRADO : Flujo de combustible y empuje, EGT exageradamente bajos, aún a la velocidad tope.

4.- QUEDANDO COMPLETAMENTE ABIERTO : El motor puede quedarse colgado durante el arranque sin acelerar hasta ralentido.

Estol de compresor al acelerar hasta la velocidad tope.

3.1.2 ALETAS GUIAS Y PALETAS DEL ESTATOR:

1.- REGLADAS MUY ABIERTAS : Flujo de combustible y empuje mayores de lo normal. Estol de compresor en aceleraciones rápidas ó desaceleraciones rápidas ó lentas.

2.- REGLADAS MUY CERRADAS : Flujo de combustible y empuje más bajo de lo normal. EGT presentará la tendencia a ser baja cuando se sale ligeramente de su reglaje.

3.- QUEDANDO COMPLETAMENTE CERRADA : Flujo de combustible y empuje exactamente y estremadamente bajos. El motor probablemente alcanzará sobretemperatura si se opera a su velocidad tope. Operación normal a baja temperatura.

4.- QUEDANDO COMPLETAMENTE ABIERTA : El motor puede quedarse colgado en el arranque y no acelerará a velocidad de ralentido. Operación normal a altas velocidades pero puede ocurrir un estol de compresor en el rango de velocidad comprendido entre ralentido y 90 %.

3.1.3 TOBERAS DE ESCAPE DE LA TURBINA :

I.- MUY GRANDES : Reducen la relación de compresión y la posibilidad de estol de compresor, teniendo que reducir el tiempo de aceleración. Aumenta el consumo específico de combustible.

El empuje puede ser mayor ó menor, dependiendo del tipo de tobera y en la condición de operación del motor.

2.- MUY PEQUEÑAS : Aumentan la relación de compresión y tienden hacer que el motor sea propenso a estol, reduce el consumo específico de combustible. Puede aumentár el tiempo de aceleración del motor. El empuje puede ser mayor ó menor dependiendo del tipo de tobera.

3.J.4 TOBERA DE ESCAPE DE AREA VARIABLE :

1.- REGLADA MUY ABIERTA : Reduce el circuito límite de temperatura, el empuje y el flujo de combustible con el acelerador colocado en cualquier posición por debajo de la potencia militar, se necesitará mayores velocidades del motor para mantener un adecuado régimen de descenso en la trayectoria de planeo, la operación en potencia militar y posquemador será normal, exepcto que la tobera no cerrará lo suficiente para producir la EGT establecida durante operaciones a grandes alturas.

El encendido del posquemador, se torna difícil a grandes alturas.

2.- REGLADA MUY CERRADA : Aumenta la EGT, el empuje y el flujo de combustible con el acelerador colocado por debajo de la potencia militar. Se necesitará menores velocidades del motor para mantener un adecuado régimen de descenso en la trayectoria de planeo.

La operación en potencia militar y con posquemador será normal, exepcto que la tobera no se abrirá lo suficiente para mantener la EGT requerida durante los descensos con posquemador, debe de operarse una pronunciada caída de RPM, cuando se mueve el acelerador de bajas velocidades hacia regímenes de posquemador.

3.- QUEDANDOSE TOTALMENTE ABIERTA : El flujo de combustible, el empuje, y la EGT sufrirán una notoria disminución a un grado que dependerá del tipo de motor, será posible mantener el vuelo con el acelerador en potencia militar con el avión limpio y solamente a alturas y velocidades reducidas. En el régimen de posquemador, debe esperarse performances adicionales, pero será difícil apagar el posquemador. El ascenso continuo después del decolaje puede ser posible si la velocidad es lo suficientemente alta en el momento de la falla.

4.- QUEDANDOSE TOTALMENTE CERRADA EN EL REGLAJE MECANICO : Inmediatamente se presentará una sobretemperatura, especialmente si se opera con posquemador. El grado de la sobretemperatura dependerá de la naturaleza de la falla y de la forma en que esté reglado el límite máximo de combustible del sistema principal en el tipo de motor que se está operando.

3.1.5 LIMITE MAXIMO DE COMBUSTIBLE DEL SISTEMA PRINCIPAL :

1.- MUY ALTO : Bajo condiciones estables es de esperarse una operación normal del motor. El régimen de aceleración serán muy altos cuando se mueva bruscamente el acelerador pudiendo estolear el motor. Cuando se apaga el posquemador se producirá una caída de RPM menor que lo normal y la EGT será también más alta que lo normal. Si la EGT es exageradamente alta contribuirá a que el motor esté al tope, durante el encendido del posquemador a grandes alturas.

2.- MUY BAJO : Bajo condiciones estables, se debe esperar que el motor opere normalmente, exepcto a grandes alturas donde se presentará caídas en las RPM y en la EGT.

Si ocurre algún daño al motor, se puede sacar un estimado de la velocidad que tenía, basándose en una comparación entre el daño rotacional del compresor y de las acciones de la turbina con daños que han ocurrido en motores del mismo tipo con fuerzas de impacto semejantes y velocidades desconocidas.

La cantidad de energía que tendrá que haberse gastado para que las partes móviles queden estacionarias, en determinado período de tiempo, dependerá de la masa de las partes en movimiento, la velocidad de rotación del motor y de la fuerza aplicada a la turbina.

La velocidad de rotación es el factor más importante, la energía necesaria para frenar esta velocidad varía en relación al cuadrado de la velocidad.

La magnitud del daño rotacional causado en las determinadas partes móviles de la energía desplazada y puede ser usada también como medida de la velocidad de rotación, ya que se necesitará más energía para causar un daño mayor.

Las fuerzas de impacto deben de ser cuidadosamente evaluadas, sin embargo la interferencia causada determinará la extensión del daño rotacional y de la brusquedad de la detención que puede ocurrir en una velocidad dada, si las fuerzas de impacto son tales que no llegan a producir una detención repentina, entonces la apariencia del daño así como su magnitud deben de tomarse en cuenta para estimar la velocidad de rotación.

La suavidad de las marcas de interferencia y la uniformidad del daño deben ser consideradas, así como también la posición y la secuencia de la condición general.

La posición de la válvula de combustible puede ser usada para reforzar el cálculo de la velocidad ó ayudar a determinar si el motor estaba en una condición transitoria.

Si la cabina del avión se encuentra intacta, la posición del acelerador de los interruptores de combustible y la lectura de los instrumentos, de

ben de tomarse en cuenta y comparadas a fin de ver si coinciden con la velocidad estimada.

Ciertas funciones en el impacto son controladas por la posición del acelerador. Las funciones que son controladas por la velocidad son;

- La potencia de los álabes de admisión.
- La posición de los álabes del estator.
- La posición de los purgadores.
- La posición del compresor y la iniciación de la operación del posquemador.

Las funciones que son controladas por la posición del acelerador son: la posición de la tobera cuando esta operando en la región de temperatura bías y la iniciación del posquemador, deben consultarse con las publicaciones técnicas apropiadas para poder determinar la velocidad del motor y la posición ó condición que tuvieron estas variables al momento del impacto, generalmente es indicada por las siguientes condiciones:

3.2.1 ALTA VELOCIDAD :

- 1.- Aletas del rotor del compresor seriamente dobladas y/o rotas en la dirección opuesta a la rotación.
- 2.- Interferencias en las aletas del rotor y del estator, la mayoría de las aletas del estator arrancadas de su sitio.
La mayoría de las aletas delanteras, últimas y de salida del compresor, generalmente quedarán intactas, si la rotura es intempestiva, las aletas presentarán ligeras evidencias de arañaduras y traqueteo. Sin embargo si la rotura no es tan violenta, las aletas pueden quedarán redondeadas debido a haber recibido gran cantidad de impacto.
- 3.- La caja del compresor puede estar rota y/c resquebrajada debido a los impactos de la aletas.

4.- Las aletas de la turbina, dobladas en la dirección opuesta a la rotación con evidencias de desgaste por alta velocidad en la rueda de la turbina, en las aletas, en la tobera, en el arco de refuerzo y en el cono de escape.

5.- El rotor del compresor, deseldado y/o doblado el eje de la turbina con rotura a la altura de los rodajes No 3 y 4 ó ambos.

La rotura por torsión del eje del compresor ó de la turbina, esto usualmente es una evidencia de un impacto producido a un ángulo de 45o ó mayor entre el eje horizontal del motor y la superficie del terreno cuando van acompañadas de una velocidad que excede al 75 % del máximo de RPM.

6.- Cuando el ángulo de impacto es pequeño, lo que significa que las fuerzas también son pequeñas, el motor puede deslizarse sobre el terreno sin recibir daños serios, sin embargo si esta rotando a alta velocidad, puede ingerir una gran cantidad de tierra, hierbas y cualquier tipo de materia, los cuales causarán daños a los álabes. y/o ocurrirá una falla en el compresor.

Es muy común encontrar pequeños desgastes en la caja del compresor, el álabe y en la cara posterior de la rueda de la turbina, como resultado del deslizamiento del motor sobre el terreno.

La velocidad, a la cual se produjeron estas indicaciones, debe ser cuidadosamente evaluada con el fin de llegar a determinar el momento del deslizamiento con el que se puede asociar los daños ocurridos no es extraño, en el caso de pequeños ángulos de impacto, que se encuentren indicaciones de altas, bajas ó ninguna velocidad, en el mismo motor. Estas indicaciones de velocidad producidas en diferentes momentos de la falla ó rotura, en este caso, las indicaciones de

alta velocidad habrán ocurrido en el impacto inicial; las de baja velocidad, en algún momento durante la rotura y las de no velocidad en el momento del impacto en el sitio donde quedaron en reposo.

Todo esto apunta a una sola cosa que es la condición del motor envuelto en un accidente y sus partes varían grandemente de un accidente a otro, dependiendo en factores tales como la velocidad, ángulo de impacto, tipo de terreno y posición del motor del avión.

Por esta razón no existe una regla establecida fijamente para determinar la velocidad del motor.

3.2.2 BAJA VELOCIDAD :

- 1.- Rotor y/o aletas de la turbina dobladas tanto en la dirección opuesta, en el área que el motor ha absorbido las fuerzas de impacto.
- 2.- Muy poco ó ninguna ingestión de polvo ó residuos evidentes en el área de la cámara de combustión ó más adelante.
- 3.- Pequeña ó ninguna evidencia de interferencia en los álabes de la cámara del compresor, desgaste en el estator ó en el rotor, en el aro ó rotación de alta velocidad en cualquier sitio.
- 4.- El daño presentado por las aletas dará relativamente una pequeña evidencia de que haya existido golpeteo. Las aletas dañadas pueden estar exageradamente dobladas pero las esquinas de sus extremos estarán relativamente derechas.
- 5.- Si el daño causa desgaste en la caja del compresor, las marcas de los interruptores de estos desgastes darán una tosca apariencia de este desgaste ó marcas de traquetec.

cas aletas del rotor resulten dañadas falla parcial ó daño total de ellas rotura completa.

En cualquiera de estos casos, se producirá una pérdida de potencia y si se produjera una repentina detención del motor, este podría salirse de sus monturas. Las fallas del compresor pueden progresar bien hacia adelante, ó hacia atrás ó en ambas direcciones, partiendo desde el punto de la falla inicial, igualmente las fallas se pueden presentar durante el vuelo, durante la operación en tierra ó como consecuencia de fuerzas de impacto.

Las fuerzas de impacto producen situaciones de desbalance muy pronunciadas tales como daños en la turbina, pueden también causar la falla del compresor, debido a la rotura de la caja de accesorios y permitiendo que las piezas rotas ingresen al compresor.

Parte de las fallas operacionales del compresor que se producen a altas velocidades resultan en desperfectos en la caja del compresor esto es producto de los golpes producidos por los álabes que salen disparados.

La extensión del desperfecto ó mutilación de los álabes, generalmente es muy diferente entre las fallas operacionales y de los impactos.

Los álabes de una falla operacional tienen la apariencia de haber sido golpeados muchas veces, ó parece como si hubiesen sido martillados, dependiendo la extensión del daño, de la velocidad del motor y de otros factores variables.

La apariencia que presentan los álabes del estator del compresor de una falla por impacto varía, generalmente, desde la ausencia de daños hasta la interferencia y martilleo menor.

Los tipos más comunes de álabes del estator del compresor que se usan actualmente en los motores a reacción son: forjados y fabricados, los álabes forjados generalmente se salen de su montaje en el cuerpo del estator cuando ocurre una falla muy grande en el compresor, mientras los álabes fabricados generalmente se debían pero no se arrancan.

De allí que la cantidad de material fusionado que se encuentra después de una falla en el motor con los álabes fabricados es muy pequeña comparada con la del motor con álabes forjados.

Una falla operacional en un compresor con estator de álabes forjados presentan la apariencia de haber recibido grandes rayaduras y estriaciones en la caja del estator del compresor y en el rotor mismo, esto como resultado de que los álabes salen despedidos, esta condición es casi nula ó no existe cuando el compresor usa estator de álabes fabricados, las cuales entre las más conocidas fallas del compresor son:

- Desgaste de los espaciadores del compresor.
- Desperfecto de un segmento del anillo del compresor.
- Desperfecto por fatiga de los álabes del compresor.
- Falla de los rodajes del rotor.
- Daños causados por objetos extraños.

3.3.1 DESGASTE DE LOS ESPACIADORES DEL COMPRESOR : El desgaste de los espaciadores del compresor también puede causar desperfectos en el compresor.

Este tipo de desperfecto ha sido atribuido a producirse en vuelos a través de zonas de agua subenfriada ya que el aire produce interferencias entre los extremos de los álabes del estator y los aros espaciadores del rotor. Esta interferencia se debe a la diferencia de expansión entre la caja del compresor y el rotor del compresor.

Conforme el motor ingiere este aire superenfriado, la caja del compresor comienza a contraerse más rápido que el rotor por razón de su masa y su área de exposición.

Tan pronto como comienza la interferencia, la actuación se ve agrandada debido a la generación de calor que tiende a dilatar los anillos espaciadores, el desperfecto siempre se presenta en los anillos de acero. Los anillos de aluminio se rompen debido a que están hechos de un material suave, más suave que el acero de los álabes.

Si el desgaste en los espaciadores del compresor es demasiado grande, traerá como consecuencia que se malogre uno de los anillos espaciadores que separa los discos del compresor, el anillo separador se romperá en pedazos y romperá también unos cuantos álabes, el resultado será algo parecido a una reacción en cadena ya que los álabes rotos originarían la rotura de otros más.

Cuando el desgaste es lo suficientemente grande como resultado de un desperfecto, los tips de los álabes del estator sufrirán una decoloración y el anillo separador del rotor tendrá un aspecto de quemado.

3.3.2 DESPERFECTO DE UN SEGMENTO DEL ANILLO DEL COMPRESOR :

El desperfecto de un segmento de anillo es peculiar en un rotor de compresor de tipo cigüeñal.

Durante el ensamblaje de un rotor de tipo cigüeñal, se coloca unas láminas sellantes entre el anillo posterior de las ruedas y de los anillos espaciadores del rotor, para que sirva de sello entre las etapas, si el grosor de estas láminas varía alrededor de la periferia de la rueda, puede generar por inducción un gran esfuerzo en las partes de mayor grosor.

Este esfuerzo, sumado a los esfuerzos nominales de operación pueden ocasionar una rajadura por fatiga, la que tendrá como origen este punto, por lo tanto podría producirse una falla.

Los desperfectos en un segmento del disco del compresor prevalecen más en las etapas sexta, séptima y octava.

Generalmente resulta muy difícil cuando una falla en un segmento es una causa ó un efecto debido a que puede ser ambas cosas, un segmento desprendido en la parte posterior de la rueda puede ser nominado como una causa, mientras que si se ha desprendido se puede decir que son consecuencias de otra falla.

Es común que los segmentos del disco del compresor, se rompan en forma

similar como resultado de fuerzas de impacto, si estas fueran de gran intensidad que los discos del rotor del compresor fueran colocados unos respecto de otros, se presentarán el tipo de desperfecto que acabamos de mencionar.

El daño resultante de la falla de un segmento puede ir aumentando hasta producir la rotura total de los álabes del compresor.

3.3.3 DESPERFECTOS POR FATIGA DE LOS ALABES DEL COMPRESOR :

Las fallas de compresor por fatiga de los álabes de un motor no son muy comunes.

Pueden ser causadas por un objeto extraño al chocar en uno de ellos originando una concentración de esfuerzos en el punto de contacto, lo cual después de pasado un tiempo originará la falla por fatiga.

Las arañaduras y abolladuras producidas en los álabes son los centros donde se concentra el esfuerzo y por lo tanto deben ser separados ó reemplazados conforme se necesita para sí mantener los límites de operación de los dos.

Cuando se tiene indicación de que se ha producido una falla de compresor, todos los álabes del rotor y del estator deben ser cuidadosamente examinados por superficies lisas y anillos concéntricos, lo cual puede ser una indicación de una falla por fatiga.

En el caso de encontrarse una de estas evidencias, se debe sacar el álabes afectado y remitirlo a un laboratorio metalográfico para someterlo a un análisis, en algunos casos, la fatiga en un álabes puede asomarse claramente entre los demás.

3.3.4 FALLA DE LOS RODAJES DE LOS ENGRANAJES DEL ROTOR :

Las fallas del compresor, generalmente son una resultante del desplazamiento del rotor del compresor originado por la falla de los rodajes principales. el resultado será una interferencia a lo largo de los



FIG. 3.0 FATIGA DE LOS ALABES



FIG. 3.1 DAÑO CAUSA POR OBJETO EXTRAÑO

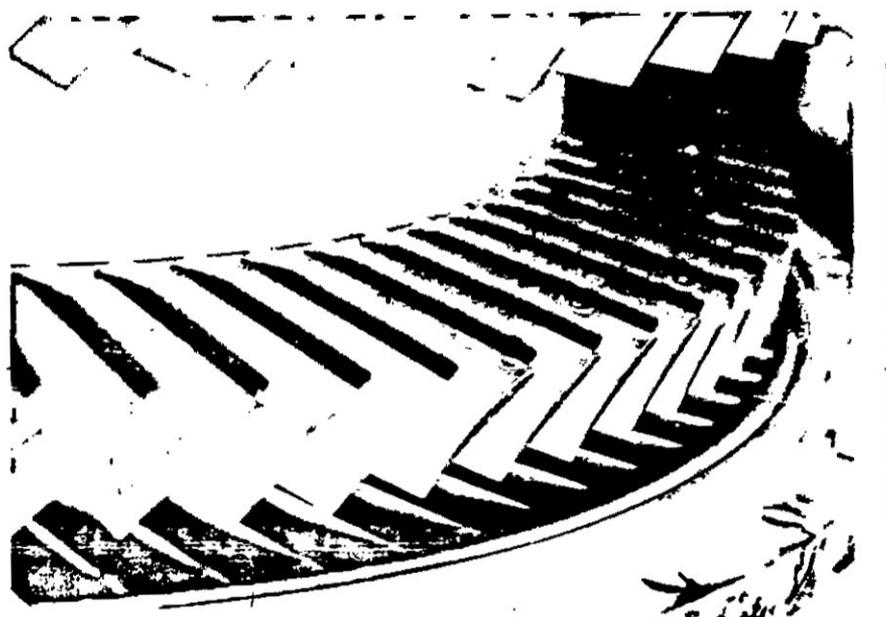


FIG. 3.2 FALLA DEL ANILLO DEL COMPRESOR



FIG. 3.3 DAÑO CAUSADO POR UN ESTOL

álabes y en todas las etapas, después de una falla en el rodaje principal, el rotor del compresor se desplazará hacia delante si la velocidad es alta, hacia atrás si la velocidad es baja.

La velocidad exacta a la cual, las partes rotativas, desplazarán hacia atrás ó hacia delante depende del tipo de motor y de las condiciones de operación en el momento que ocurrió la falla del rodaje.

Contrariamente a lo que comunmente se cree, la pérdida del balance cámara - aire producirá un incremento de carga sobre el rodaje principal pero hasta ahora nunca ha causado un desperfecto en él, la falla del compresor, causada por la falla del rodaje principal producirá un sonido producido ó parecido a una explosión silenciada y sus consecuencias son casi instantaneas roturas, las causas que originan las fallas de los rodajes serán tratadas más adelante.

3.3.6 DAÑOS CAUSADOS POR OBJETOS EXTRAÑOS :

Este desperfecto es la causa más común de falla en el compresor, se debe tener un gran cuidado en la investigación de una falla de compresor para que no se pierdan los álabes rotos ó cualquier otro material roto ó suelto, que se encuentre en las secciones del compresor ó de la cámara de combustión.

El exámen profundo de este material, algunas veces permitirá determinar que objeto fué el causante de la falla, este objeto, en la mayoría de los casos es muy difícil reconocer y casi siempre se le encuentra alojado en las cámaras de combustión.

Los pernos son también una fuente muy común y algunas veces no pueden ser encontrados.

Durante la investigación, cualquier objeto que deje alguna duda con respecto a su origen, debe ser enviado al laboratorio metalográfico para su análisis.

Muchas veces ocurre que un objeto extraño deje impresa su forma en la

parte posterior de los álabes de admisión.

Ocasionalmente, la impresión es tan clara que es posible distinguir el número de parte del objeto, algunas veces se puede identificar el objeto por las marcas dejadas en los álabes de primera y segunda etapa del rotor y del estator, debe añadirse que el objeto extraño, para causar un desperfecto ó una falla no necesita ser tan duro como el material de que está hecho el compresor, ya que muchas veces son pedazos de trapo ó de hielo los que pueden causar interferencia en los álabes dando como resultado una falla.

Los desperfectos causados por la mayoría de objetos extraños son diferentes a los causados por la ingestión de trapos y de hielo, ya que no se producen marcas ni rasguños.

El hielo más congelado causa menos daño que el hielo suave porque tiende a despedazarse.

3.3.6 DESPERFECTOS CAUSADOS POR UN ESTOL :

Como una condición de estol desordena el flujo de aire a través del motor y origina una distribución inadecuada así como una disminución en la cantidad de aire refrigerante, los componentes de la sección resultará con ciertas quemaduras si el motor permanece en estol aunque sea por escasos segundos.

Durante la operación normal del motor, un cierto porcentaje de aire ingresa a los compartimientos de la sección de combustión en los revestimientos interiores. Este aire es usado para formar dentro de los revestimientos de combustión y de transición, una capa de aire frío que sirve para proteger a los metales de la temperatura de combustión.

Sin embargo cuando esta capa de aire desaparece por acción de un estol caliente, los revestimientos de transición y los terminales posteriores de los revestimientos de combustión presentarán quemaduras y posibles torceduras, los compartimientos de la toquera de la turbina, que

normalmente son refrigerados interiormente, se quemarán interiormente completamente, no solamente alrededor de los anillos.

Los álabes de la turbina también se quemarán comenzando por el extremo del borde de salida y progresando hacia el compartimiento del borde de ataque, las cápsulas de las termocuplas quedarán destruidas por el calor.

El cono exterior se quemará hasta cerca de la puerta posterior del anillo de refuerzo, existiendo la posibilidad de que se quemé completamente si es que el estol es de suficiente duración.

La repentina caída de presión del tubo de escape, que normalmente acompañan al estol de compresor puede producir que se hinche el cono de escape, esto a su vez puede traer como resultado un desplazamiento del reflector de aire haciendolo que se frote contra la cara posterior de la rueda de la turbina, puede ocurrir también que algunas partes calientes del motor, tienen revestimiento de cerámica esta quedará completamente derretida.

Es muy difícil y a veces imposible determinar cuando un motor ha sido sometido a un estol frío ya que los daños resultantes serán muy pequeños ó no se presentarán siempre y cuando este haya sido detectado y corregido a tiempo.

No obstante que un estol frío por definición sigue siendo un estol, su intensidad y consecuencia son mucho menores que las de un estol caliente.

CAUSAS DEL ESTOL DE COMPRESOR: Las posibles causas que originan un estol de compresor pueden ser:

- Una distribución inadecuada de los álabes guías de admisión y de las aletas del estator.
- Una administración excesiva del flujo de combustible de aceleración.
- El empleo de una tobera de turbina que tiene un área de descarga muy pequeña puede contribuir a que se produzca un estol de compresor.

El área de descarga de la turbina es una de las áreas más pequeñas dentro del motor, y es uno de los mayores factores en la determinación de su relación de compresión.

- El área de descarga puede verse reducida por la intrusión de algún objeto extraño, los daños que causan en el compresor, puede llevar a una mutilación de las aletas, en tal grado, que el compresor sufrirá una gran reducción en su capacidad para mantener los regímenes normales en relación de compresión, cuando los daños son muy graves, el estol de compresor se puede producir inmediatamente. En muchos casos se toma al estol, cuando en realidad es una consecuencia.
- Un factor que puede influir a que se produzca un estol de compresor durante aceleraciones rápidas, es el hecho de que la administración del combustible haya sido inadvertidamente ajustada para mantener el régimen de aceleración.
- Hay varias posiciones del avión en las que se ha reducido y distorsionado el ingreso del flujo de aire y esto agrava el estol, por ejemplo un excesivo derrame, con la proa muy levantada y a baja velocidad.
- La abertura brusca del acelerador en circunstancias en que el flujo de combustible está siendo controlado por un sistema de combustible de emergencia.

INDICACIONES DEL ESTOL DE COMPRESOR : La primera de las indicaciones del estol de compresor está dada por una rápida oscilación ó pulsación de la presión de descarga del compresor.

Algunas veces el estol puede ser tan ligero que para detectarse estas oscilaciones es necesario el empleo de instrumentos sensitivos; estas fluctuaciones serán lo suficiente fuertes que podrán ser oídas y sentidas como vibraciones en el motor.

Si el estol se produce durante la aceleración, se producirá una dismi-

nución en el régimen de aceleración pudiendo también interrumpirlo el cual hace que el motor se quede "colgado" en una determinada velocidad no obstante que el acelerador se encuentre totalmente abierto.

Este "colgado" en la aceleración se produce debido a que la condición de estol en los perfiles impone en el compresor una carga adicional de resistencia inducida, la constante reducción en el flujo de aire limita la fuerza que puede ser aplicada a la turbina, por lo tanto la aceleración no puede continuar bajo estas condiciones de carga.

En el caso que el estol sea demasiado fuerte que produce la interrupción total de la aceleración, se producirá una repentina elevación de la temperatura de los gases de escape, lo cual generalmente excede las marcaciones de los instrumentos de la cabina, no obstante que las temperaturas son elevadas, la reducción del flujo de aire traerá como resultado una pérdida de empuje.

Las condiciones de sobretemperatura resultante, puede dañar muy seriamente las partes de la sección caliente del motor.

Las condiciones de un estol de compresor son tan pronunciadas que normalmente el operador es capaz de detectarlo inmediatamente, sin embargo la experiencia ha demostrado que en muchas oportunidades se ha permitido que el motor continúe funcionando en una condición de estol habiéndose producidos serios daños en sus partes; aparte de la forma en que se ha producido el estol, la recuperación puede efectuarse mediante una rápida reducción en el flujo de combustible.

El motor puede tener estoles repetidas veces sin ocasionarle ningún daño siempre y cuando la recuperación se efectúe antes de haber encontrado una condición de operación de sobretemperatura.

Un estol que no progresa hasta llegar a dañar el motor no es algo que se desee ya que siempre producirá pérdida de potencia; pero en un análisis sobre fallas de un motor, este tipo de estol no proporciona ninguna evidencia por no existir daño visible que pueda ser evaluado.

En un motor, es necesario consumir aproximadamente 6,000 libras de combustible por hora para poder mantener funcionando un motor a máxima velocidad y en condiciones estáticas normales al nivel del mar. El flujo en masa de aire, bajo estas condiciones es 100 libras por seg. es decir 360,000 libras por hora, esto significa una relación de aire combustible, se tiene la impresión de que todo el aire que pasa a través del motor, no se consume en el proceso de combustión.

Por cada libra de aire que se consume, hay 3 libras que quedan sin consumirse; pero este aire que no entra a la combustión contribuye a producir empuje debido a su gran masa, que posteriormente es utilizado para refrigerar ciertas partes de la sección caliente del motor.

Cuando ocurre un estol de compresor, la reducción del flujo de aire es tal que habrá suficiente aire disponible para la combustión pero quedará muy poco para la refrigeración de las partes calientes del motor. Las partes del motor que normalmente están protegidas por una capa de aire frío, se verán sometidas a temperaturas por las cuales no han sido diseñadas. Aún durante un estol frío, en el cual no hay indicación extrema de sobret temperatura, puede suceder que ciertas partes sean sometidas a temperaturas que reducirán en tal grado, el paso de aire a ciertas partes del motor sin que exceda los límites de temperatura de los gases de escape.

3.4 FALLAS DE LA TURBINA:

Las fallas de la turbina se pueden clasificar en tres tipos:

- Falla de los álabes de la turbina.
- Falla del endentado.
- Falla del disco.

3.4.1 FALLA DE LOS ALABES DE LA TURBINA: Este tipo de falla es el que más se presenta y es el resultado de la ruptura por fatiga ó por esfuerzo, siendo esta última la más común.

Las fallas por fatiga generalmente resultan como consecuencia de la vibración y están en función del tiempo de servicio y de la operación en condiciones de sobretemperatura.

Las fallas de los álabes de la turbina muy pocas veces resultan en accidentes, a no ser que estén acompañados se algún tipo de desperfecto.

En algunos casos, la parte rota del álabe pasa sin golpear hasta salir del tubo, mientras que en otros casos pueden atravesar el tubo, dependiendo esto de la naturaleza de la falla y de las condiciones de operación.

La rotura del álabe, generalmente producirá una vibración que se deja sentir con mediana intensidad en el avión.

Una severa condición de sobretemperatura puede traer como consecuencia la rotura simultánea de varios álabes, los cuales, podrían atravesar el tubo de escape que se encuentra sobrecalentado.

3.4.2 FALIA DEL ENDENTADO: Las fallas en el endentado consiste en que uno ó más de los segmentos ensanchados de la rueda de la turbina se rompe en pedazos ó sueltan a los álabes adyacentes, la operación prolongada en condiciones de sobretemperatura, en algún momento, durante el tiempo de servicio de la rueda de la turbina es la causa más común para una falla del endentado.

La falla del endentado va precedida normalmente por una rajadura en la parte posterior inferior a la ranura.

La presencia de una sección semicircular de color oscuro que parece sobre la superficie fracturada es una evidencia de que la rajadura se produjo antes de la falla.

Este tipo de falla del endentado de la turbina generalmente produce una condición de desbalance en su rueda la cual a su vez ocasiona vibraciones de gran intensidad y daños de carácter general en el motor tales como daños mayores ó destrucción del rodaje de los sellos de ai-

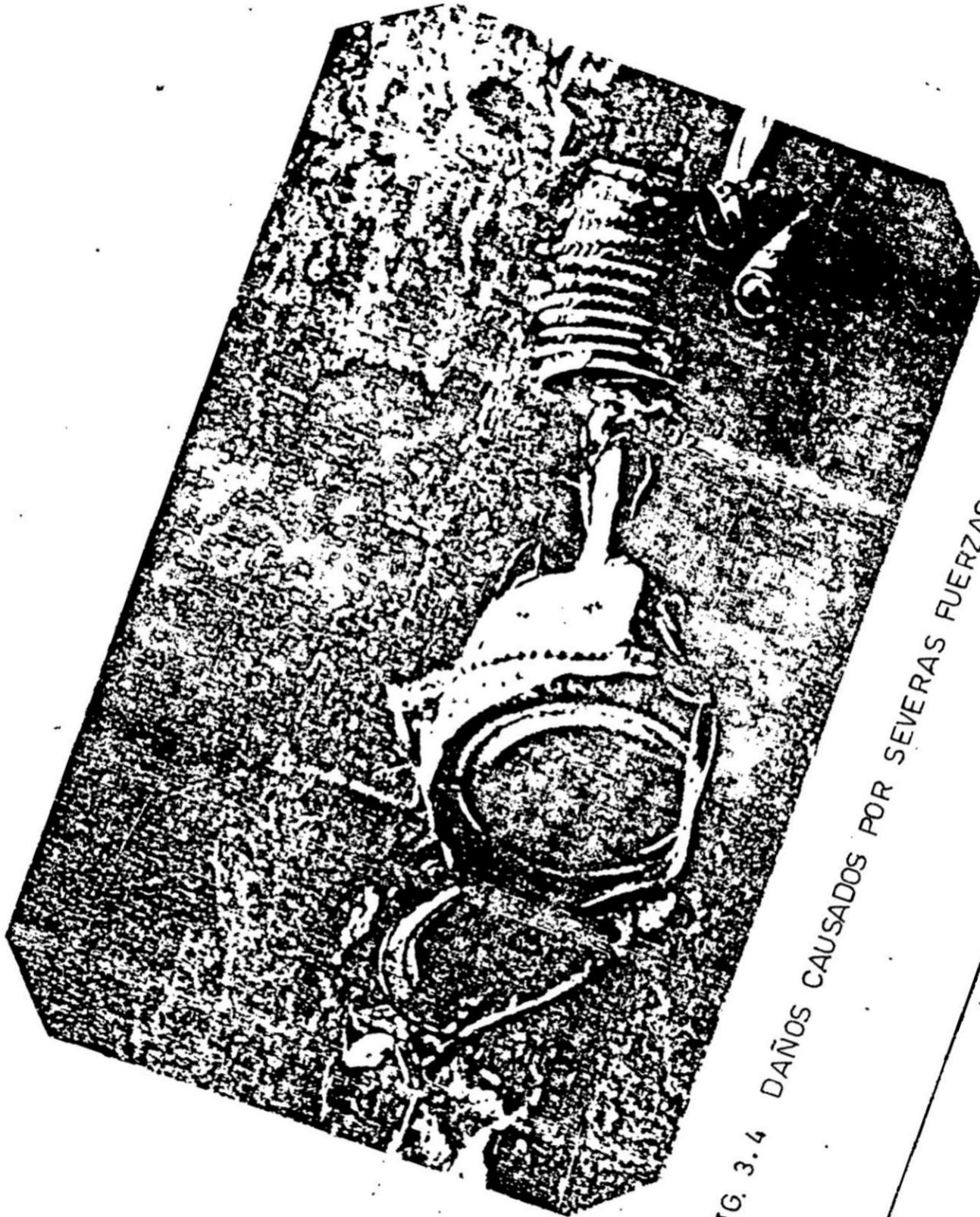


FIG. 3.4 DAÑOS CAUSADOS POR SEVERAS FUERZAS DE IMPACTO

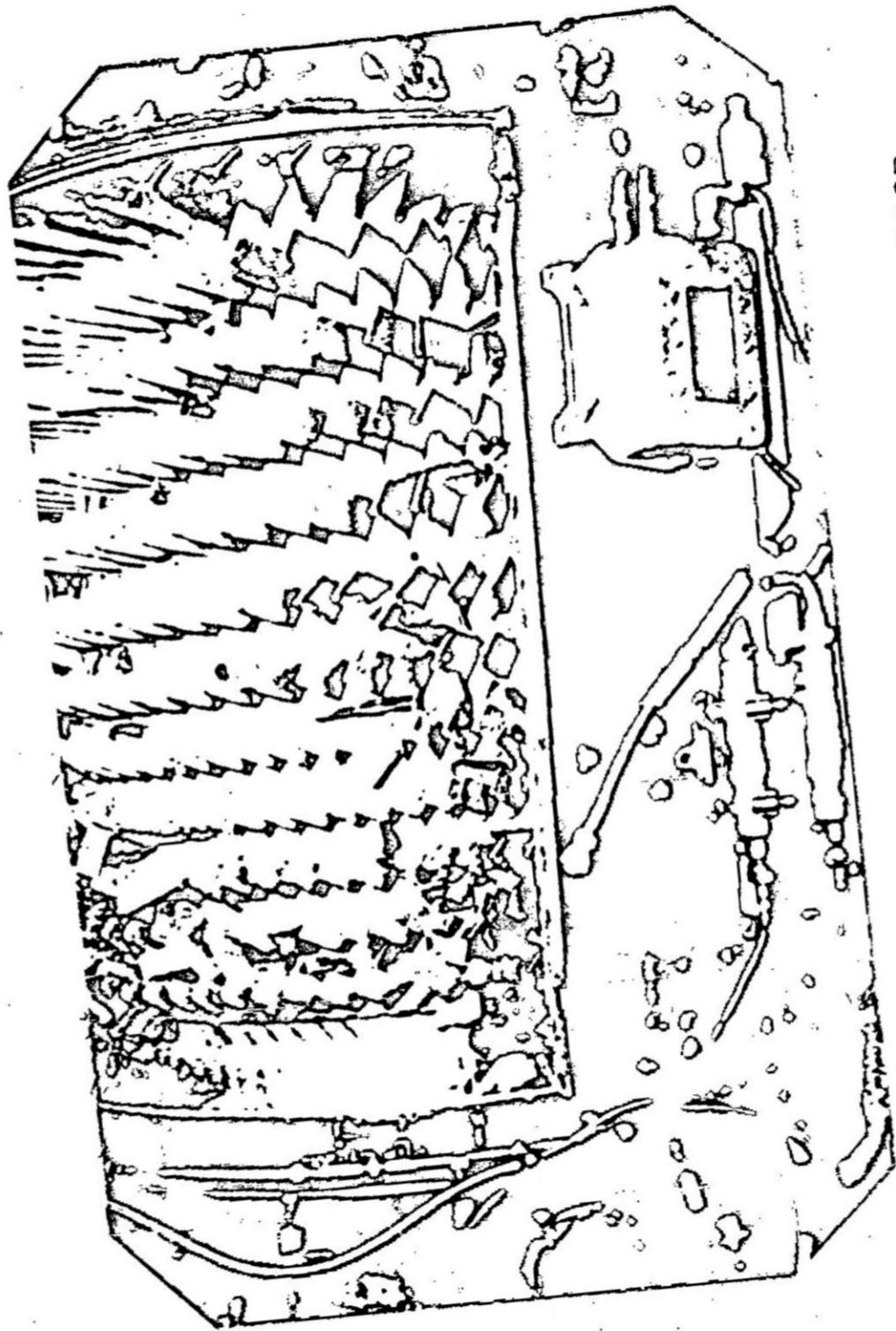


FIG. 3.5 DAÑOS OPERACIONALES EN EL COMPRESOR
A UN 40% DE SU VELOCIDAD

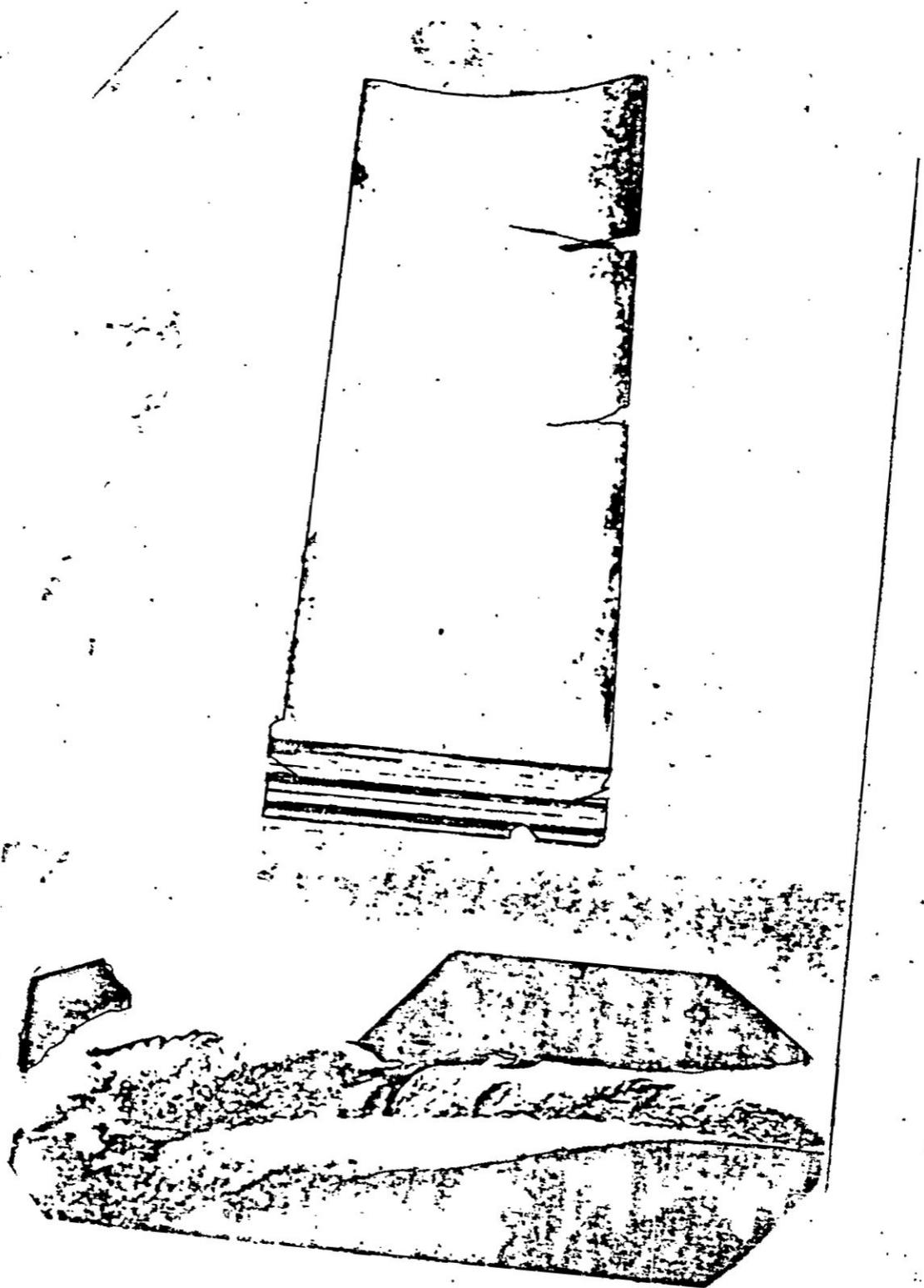


FIG. 3.6 FALLA DE LOS ALABES DE LA TURBINA

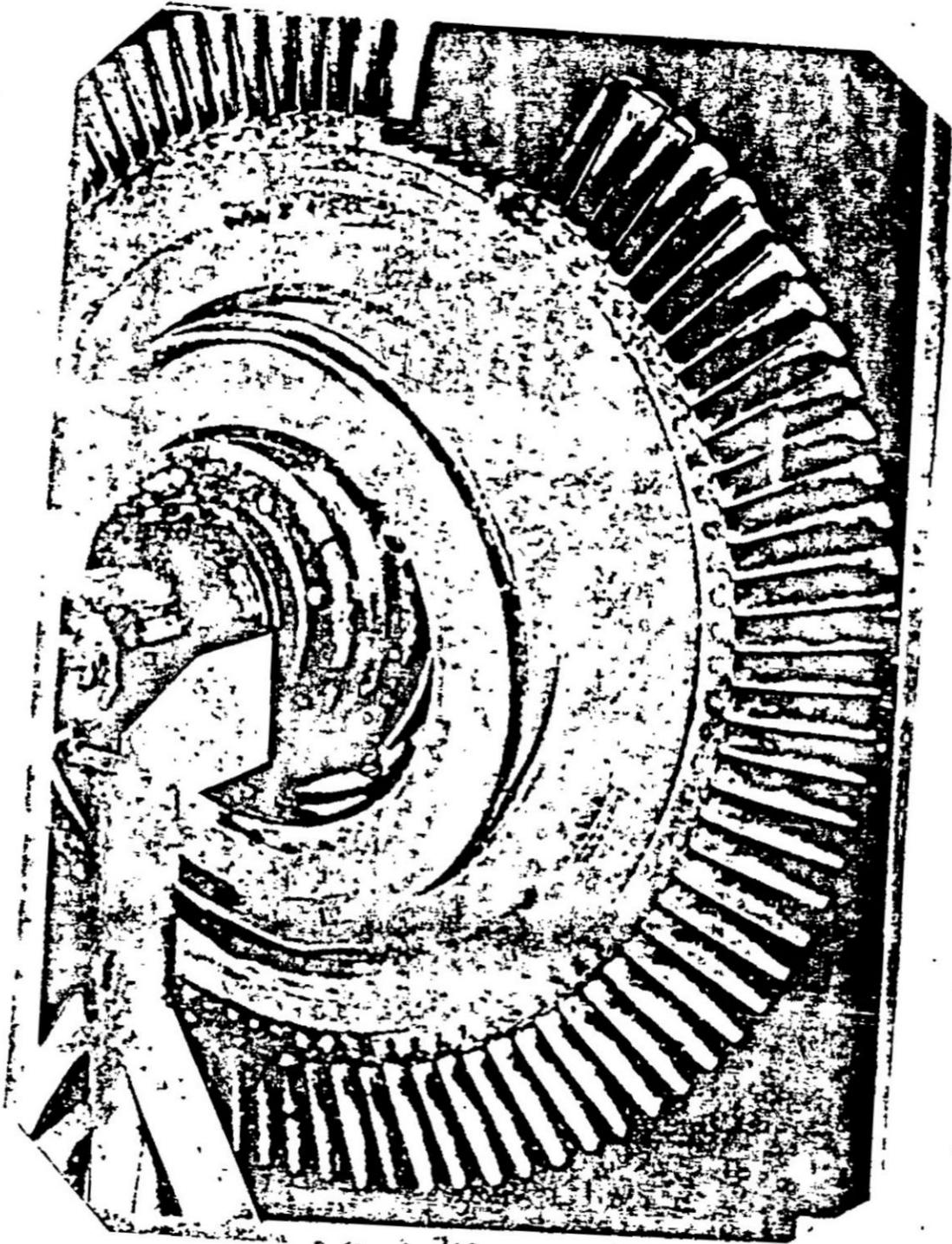


FIG. 3.7 FALLA DEL ENDENTADO DE LA TURBINA

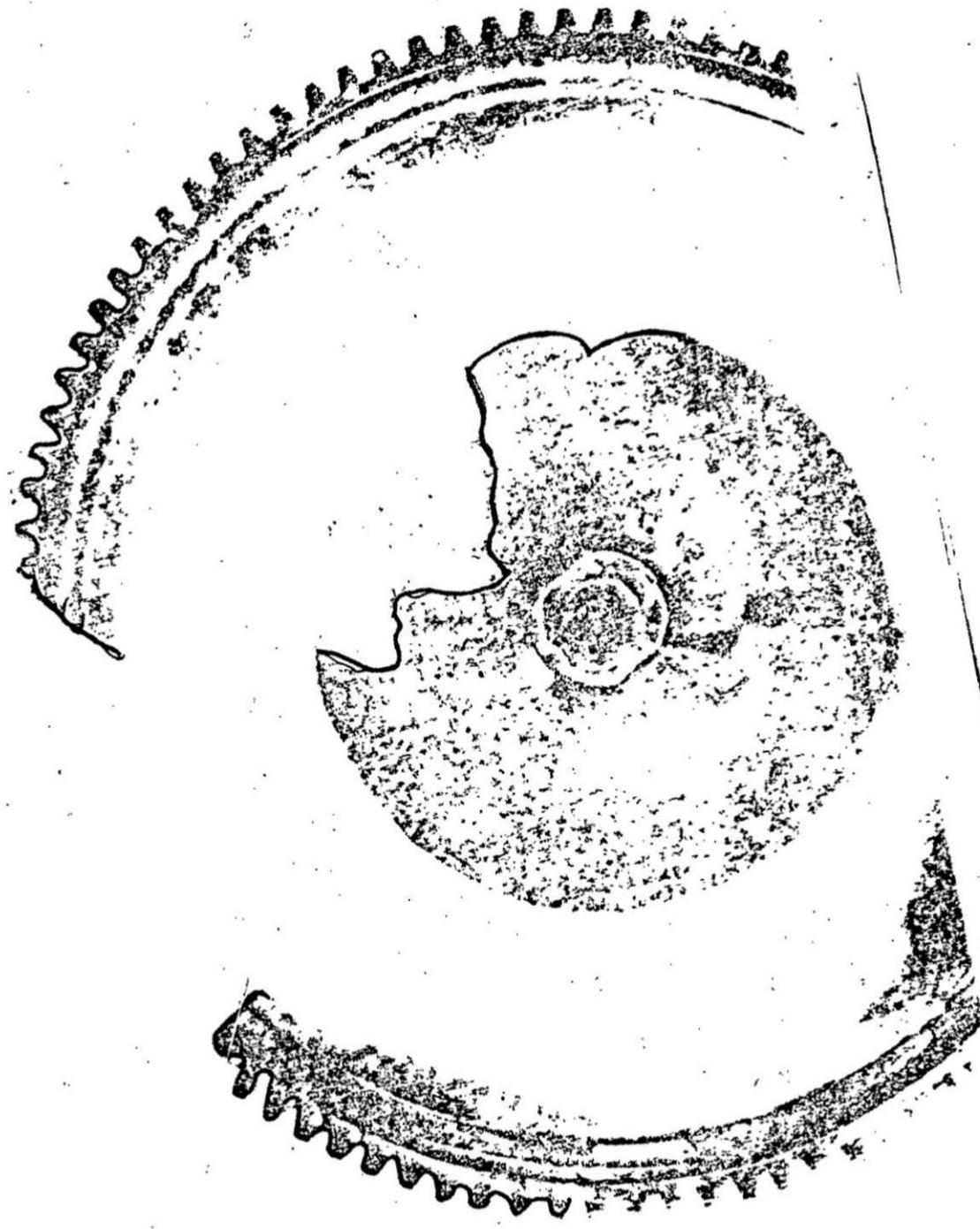


FIG. 3.8 FALLA DEL DISCO DE LA TURBINA

re y aceite, y de las boquillas de aceite y también en daños considerables en el aro de refuerzo.

Puede suceder también que los accesorios se rompan en pedazos con peligro de que estos ingresen al compresor y originen una falla en el eje de la turbina a la altura de los rodajes No 3 y 4 dependiendo esto del número de álabes perdidos.

En algunos casos, que son muy raros, la falla del endentado de la turbina puede resultar como consecuencia de fuerzas de impacto.

Es esencial un examen profundo del guillotamiento de las cabezas de los tornillos que aseguran el sello de aire y aceite.

Los daños que se producen en la zona del rodaje No 4, como consecuencia de una falla de impacto de la rueda de la turbina se caracterizan por unidireccionales indicando que la fuerza fué aplicada sólo en una dirección, no de una condición de desbalance.

Las fallas de los endentados producidos como consecuencia de fuerzas de impacto, generalmente resultan en una fractura sumamente dispareja muy diferente a las fallas relacionadas a rajaduras.

3.4.3 FALLA DEL DISCO DE LA TURBINA : La falla del disco de la turbina consis-

te en la rotura de una porción de la rueda principal de la turbina.

Este tipo de falla de turbina que reviste mayor seriedad pues resulta siempre en fallas considerables al motor.

Generalmente es causada por un shock térmico ó por temperatura excesiva, las cuales reducen la resistencia del material a un valor menor del que se necesita para una operación normal.

En la falla que presenta en forma conjunta al shock térmico es una rajadura que se inicia radialmente hacia dentro y luego se propaga, resultando la falla en un segmento de gran tamaño. Las fallas relacionadas con una operación en condiciones de sobretemperatura, generalmente ocurren muy cerca a la temperatura de fusión.

motor por elementos como hielo, papeles, aves, trapos etc. pueden causar una condición de elevada temperatura.

Una fuga de aceite ó de combustible, en la zona de admisión del motor puede también ser causa de una condición externa de sobretemperatura.

Teniendo en cuenta que los desperfectos del motor en este caso en condiciones de sobretemperatura pero operando en una condición de no estol. Puede presentar falla de los álabes de la turbina ubicándose esta falla en su parte media y presenta la parte más quemada en la parte media del borde de ataque, los compartimientos de la tobera de la turbina se quemarán exactamente detrás de las cámaras de combustión, pero rara vez presentarán desperfectos en la parte media de dichas cámaras,

La sección de escape se quema muy pocas veces, no obstante que es arrancada por los pedazos rotos de los álabes de la turbina, si el motor está equipado con línea de transmisión, se quemará totalmente, las cápsulas de las termocuplas resistirán a la quemadura.

La fuga de aceite ó de combustible en la entrada del motor, resultará en daños de una de las cámaras de combustión, la indicación del daño causado por sobretemperatura normalmente no se aprecia en un sector más allá de 90° del motor.

El revestimiento de la cámara de combustión que ha sido dañada normalmente quedará calcinada, decolorado por el calor ó quemado en la misma forma que quedan los tabiques de la tobera de la turbina que se encuentra directamente detrás de la cámara de combustión que ha sido dañada. Los álabes de la turbina no reciben daño debido a que están expuestos a altas temperaturas menos de la cuarta parte de su recorrido de 360° , los daños de este tipo son apreciados en la caja de la turbina, ó en la sección de escape, en la forma de un punto recalentado.

Algunas veces, si la fuga es de regular intensidad, puede producir una pequeña explosión, la cual puede romper una de las cámaras de combustión.

El compresor, por lo general no recibe daños por razón de la velocidad del aire, la cual impide la combustión, por lo tanto, toda la combustión se producirá detrás del compresor; excepto durante el arranque, si la fuga se presentará en la entrada del motor, es casi seguro que se observe en la cabina la presencia de humo y olores característicos.

3.5.2 FALLA DE LOS RODAJES : El rodaje dañado presentará evidencias de pronunciadas deformaciones rayaduras y distorciones, tendrá también la apariencia de haber sido recalentado.

Las fallas de los rodajes producidas a consecuencias de impacto tendrán muy poco ó nada de deformaciones ni señales de recalentamiento excepto en pequeñas zonas donde se ha dejado sentir con más intensidad las fuerzas.

La causa más común de las fallas de los rodajes es una lubricación deficiente.

Cuando se sospecha una falla en los rodajes, se procede a examinar los record de mantenimiento a fin de detectar algún consumo exagerado de aceite así como los historiales de reparación de aquellas partes como el filtro de aceite, las tuberías y las empaquetaduras deben de ser examinadas por alineamiento e interrupción, se debe usar mucha discreción cuando se examinan partículas sacadas de una bomba de presión ó circulación que ha sufrido una falla, ya que ellas podrán ser la causa de la falla ó en otro caso, podrían ser restos de un rodaje fallado ó partículas que han ingresado al sistema de aceite, en algunos motores, los rodajes principales operan por varios minutos después del suministro de aceite fué interrumpi

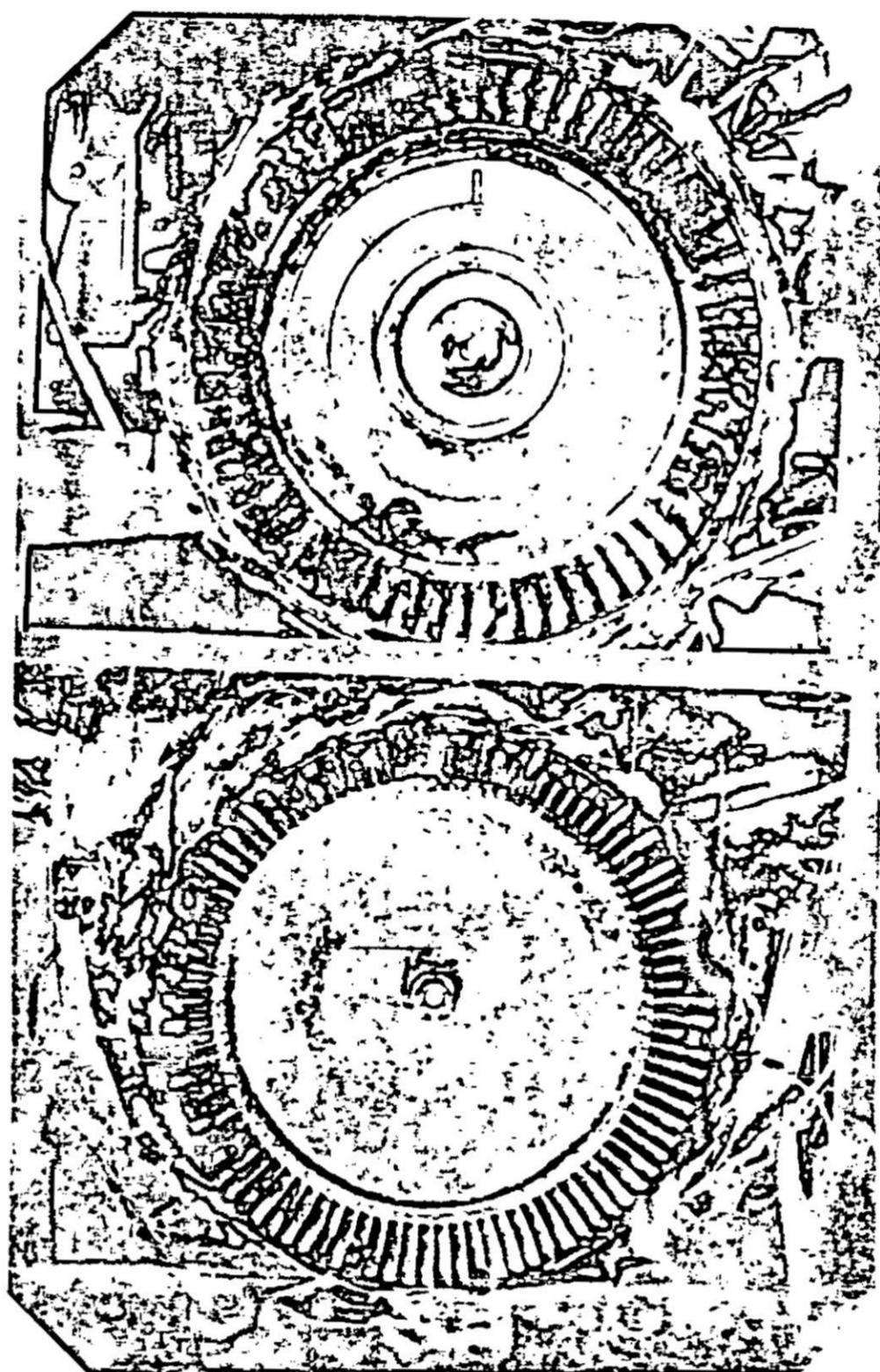


FIG. 3.9 SEVERO SOBRE CALENTAMIENTO

do, este tiempo depende de las condiciones de operación del momento e inmediatamente después de que el suministro de aceite ha sido interrumpido la temperatura de los rodajes se elevará rápidamente debido a que a mayor cantidad de aceite se emplea con fines de refrigeración.

El primer rodaje en fallar en el caso de una interrupción de aceite es en la mayoría de los casos el rodaje principal de empuje.

La secuencia normal de eventos que se producirán en el caso de ocurrir una interrupción en el abastecimiento de aceite es : la caída de presión a cero, dependiendo de la parte del sistema en que ocurre la falla, elevación de la temperatura del rodaje, falla del rodaje de empuje debido a la mayor carga, se siente vibración, el rotor del compresor se desplaza con la consecuente interferencia de las aletas, simultáneamente en todas las etapas, se escucha un ruido semejante a una explosión silenciada.

Los rodajes también pueden fallar como resultado de otras causas diferentes a la falla ó falta de lubricación, si se produce una falla en las billas, los rodetes, los retenes ó de las pistas, los resultados serían similares a aquellos producidos por la falta de aceite sin embargo, estos rodajes no presentarán las mismas indicaciones de sobrettemperatura que se observa en el caso de la falta de aceite, ya que pueden encontrarse rotos y luciendo manchas azules pero presentarán áreas quemadas y fundidas.

3.5.3 INCENDIOS : Los incendios ocurren en gran porcentaje de accidentes de aviación, como estos incendios pueden ocurrir ya sea durante el vuelo ó como resultado de un impacto, el investigador debe ser capaz de distinguir entre estas dos circunstancias de esta manera se llegará a establecer si el incendio ha sido una causa ó un resultado.

Los incendios que ocurren en vuelo generalmente serán de mayor intensidad que aquellos que ocurren después del impacto, el humo y la distribución de hollín de los incendios que ocurren en el vuelo siguen la corriente del aire y dejarán espacios limpios en la parte posterior de los remaches, pernos etc. en cambio el humo y las manchas de hollín de los incendios que ocurre en tierra serán hacia arriba ó en la dirección que sopla el viento.

Debido a la intensidad de los incendios en vuelo, es común que el fuselaje, alerones, etc. lleguen a quemarse completamente ó a fundirse, el metal fundido resultante, será llevado por la corriente de aire, chocando en otras partes del avión en las cuales quedarán adheridos.

La forma como este metal se adhiere, no solamente indica un incendio en el aire sino también ayuda a localizar el origen del mismo. En muchos casos, el camino más directo consiste en construir las áreas quemadas del avión, en la forma más completa posible y estudiar la continuidad de la quemadura y la distribución del hollín a lo largo de las líneas de la falla. Si los pedazos de una pieza rota, fueron separados por el impacto pero las señales de la quemadura y de la distribución del hollín guarda una continuidad sobre ellas cuando se les pone juntas, se puede considerar como una evidencia que el fuego se produjo antes de que la pieza se rompiera y probablemente durante el vuelo.

El exámen de la superficie de las fracturas, de las dobladuras y de las marcas de arañones y raspaduras pueden ser usados para determinar si un incendio se ha producido por el impacto y las superficies de fractura, dobladuras ó raspaduras están cubiertas de humo, quiere decir que el incendio probablemente ocurrió después del impacto, pero si las marcas mencionadas se encuentran limpias y las áreas adyacentes se encuentran cubiertas de humo, el fuego puede haberse

presentado durante el vuelo ó después del impacto inicial.

El humo y el hollín se adhiere más rápidamente a las superficies que se encuentran sucias que a las que se encuentran limpias.

3.6 FALLAS EN EL SISTEMA DE COMBUSTIBLE: Cuando se tiene evidencias que ha fallado ó se presenta un desperfecto en el sistema de combustible y cuando la naturaleza de la falla no se puede determinar con rapidez se debe sospechar de la contaminación del combustible.

Si la evidencia nos indica que el motor estaba desarrollando muy poco ó nada de velocidad de rotación, y no se encuentra señales de temperatura normal entonces existe la posibilidad de que el piloto haya retardado el acelerador hasta la posición de apagado, también existe la posibilidad que el motor haya sufrido una falla en uno de los sistemas, ó se haya presentado una falla mecánica en el motor mismo, si se pudiera eliminar la primera y tercera posibilidad, y se sabe que el motor ha sufrido una falla en el control de potencia, entonces se debe considerar una investigación para determinar si se ha sufrido una contaminación.

Contrariamente a lo que se ha dicho, algunos motores de alta velocidad y de alta relación de compresión podrían mostrar evidencias de alta velocidad de rotación en el momento del impacto, y a temperaturas de operación normal y sin embargo, incapaces de producir empujes suficientes para mantener el avión en vuelo.

Los motores que están equipados con toberas de escape de área variable, con compresor de geometría variable y con purgadores del compresor pueden sufrir desperfectos debido a la contaminación en los sistemas que controlan la posición de estos componentes, lo cual puede afectar grandemente el empuje que desarrolla el motor sin que se produzca ningún cambio en su velocidad.

3.6.1 DOSIFICACION INADECUADA DEL COMBUSTIBLE : Se debe tener en cuenta que algunas de las indicaciones que se enumeran a continuación, puede deberse también a fallas mecánicas en algunos componentes del sistema de combustible del motor ó del sistema del avión, se debe investigar todo el sistema por si solo, no es suficiente para llegar a la conclusión de que se trata de una contaminación del combustible.

También se debe mencionar que no todas las indicaciones necesariamente aparecerán al mismo tiempo, el número de desperfectos dependerán de la naturaleza y de la cantidad de contaminante y en la parte del sistema de combustible.

Algunas de las indicaciones más comunes de contaminación del combustible son:

- 1.- Oscilaciones en el motor y fluctuaciones en la presión de combustible generalmente se presentarán cuando existe exceso de combustible por estar fallando el control principal de combustible.
- 2.- Indicaciones erróneas ó fluctuaciones en los indicadores de cantidad de combustible se presentarán cuando el combustible está contaminado y su origen está en los tanques de combustible del avión.
- 3.- La disminución de las RPM del motor y la falta de respuesta a la acción del acelerador al tratar de aumentar la velocidad del motor, también puede ser indicación de contaminación en el combustible.
- 4.- Apagado del motor por extinción de flama lo cual casi siempre es el resultado de un abastecimiento nulo e insuficiente de combustible al motor.
- 5.- Falla en el arranque del motor en el aire, que también es una consecuencia de un insuficiente abastecimiento de combustible al sistema de combustión del motor.

6.- Operación lenta en el motor con rol disperejo del combustible que generalmente se deberá a la sedimentación en las válvulas deslizantes y en los pistones interiores del control de combustible, ocasionando la reducción al mínimo de los orificios y que las válvulas y pistones trabajen con un incremento de fricción.

7.- Los motores que utilizan compresores de geometría variable puede ser accionado por combustible del motor, aceite de lubricación ó fluido hidráulico, cualquiera de los cuales está sujeto a que inadvertidamente el sistema sea colocado en una posición abierta ó cerrada trayendo como consecuencia regímenes de aceleración muy lentos, pueden producir estoles de aceleración ó desaceleración, acompañados de sobretemperaturas.

3.6.2 CONTAMINACION DEL COMBUSTIBLE : Hay diferentes tipos de contaminación entre los cuales tenemos:

a.- QUIMICA : La contaminación química ocurre como resultado de introducir en el sistema de combustión sustancias que materialmente afectan las propiedades físicas y químicas del combustible ó afectan directamente a los componentes del sistema en tal forma que se generen sub-productos.

Ciertos tipos de aceite, que podrían inadvertidamente ser usados para lavar tanques de combustible de los aviones, contienen agentes que atacarán directamente al material del tanque, y reaccionarán con las ondas de los indicadores de combustible, dentro del tanque el sub-producto resultante es una sustancia gomosa de color oscuro la cual al ser movida dentro del combustible causará la obstrucción de los filtros de combustible, los controles de combustible y de los difusores de flujo, cuando se drenen los tanques, este material se encuentra asentado en el fondo de los mismos, algunos alcoholes

también atacarán a los materiales empleados en la confección de empaquetaduras y sellos anillados.

Estos materiales se suavizan, se rompen y desprenden y se introducen dentro del mismo sistema de combustible y luego se van depositando en los filtros del combustible, ocasionando obstrucciones, ó pueden ser pasados hacia boquillas lo cual resulta en una serie de distorciones de la pulverización ó en la destrucción de las mismas. Las aleaciones de magnesio y de aluminio frecuentemente empleados para la confección de los cuerpos de la bomba y de los controles de combustible, en presencia del etanol ó del metanol, estas aleaciones están sujetas a corrosión, dependiendo el grado y régimen de avance de la corrosión, en la concentración del alcohol.

Las aleaciones de magnesio, al estar en contacto con metanol al 100 % se desintegra en muy corto tiempo, el producto resultante de la reacción es el melilato de magnesio, que es un sólido grueso y gomoso que al secarse se convierte en un fino polvo blanco, cuando existe este material e su forma gomosa puede afectar adversamente la operación del motor, si llega a fluir dentro de las áreas críticas del sistema de combustible, las aleaciones de aluminio, son severamente atacadas por la solución de alcohol diluido, cuando una solución contiene menos del 30 % de metanol este tiene efecto corrosivo menor que el etanol, pero en concentraciones mayores al 30 % el efecto corrosivo de cada alcohol es casi igual.

b.- CONTAMINACION MATERIAL :

- AGUA : La presencia de agua en el combustible para jets, constituye una de las mayores fuentes de contaminación, estos combustibles contienen un cierto porcentaje de agua que está disuelta en el combustible y no puede ser sacada por sedimentación, a no ser que el combustible sea enfriado repentinamente.

Este tipo de agua puede ser la causa de muchos problemas ya que

bajo condiciones normales de temperatura, se considera que el combustible está totalmente saturado de agua.

El agua que ingresa, es el resultado de la condensación en los tanques de combustible, en el equipo de descarga, en las líneas de llenado y de ventilación, el agua tiende a amontonarse en el fondo de los tanques y de los componentes del sistema de combustible por acción de los descensos de temperatura, cuando las gotas están en estado sub-enfriado, solamente necesitan hacer contacto con cualquier núcleo para comenzar a acumularse en forma de hielo estos núcleos pueden ser los filtros de combustible, el cuerpo de la bomba, ó la unidad de rol de combustible.

La formación de hielo es muy rápida y lo suficiente considerable para que el sistema de combustible se torne incapaz de abastecer al motor con el combustible necesario para mantener la combustión. La formación de hielo es particularmente fuente de muchos problemas, debido a que la mayoría de los casos no deja una evidencia de su presencia especialmente si a habido incendio en tierra, ó de su presencia si la temperatura de aire se encuentra por encima del punto de congelación. Un examen de los filtros de combustible del motor y de los sistemas del avión, se debe hacer tan pronto sea posible especialmente en los filtros de baja presión.

- HERRUMBRE : Se ha considerado que el herrumbre abarca aproximadamente el 80 % del total de sedimentación que se encuentra en los combustibles. El tamaño de las partículas de herrumbre varía desde películas alargadas hasta partículas muy pequeñas que son difíciles de ver a simple vista, la mayor parte de este sedimento puede ser eliminado por sedimentación ó por filtrado micrónico, sin embargo la mayor parte de las partículas son de un tamaño de 5 micrones ó menor pudiendo pasar a través de los filtros y lle-

vando hacia los componentes del sistema de combustible, esta fina herrumbre es capaz de cubrir las superficies de las válvulas deslizantes y de los pistones del regulador de combustible y presenta la apariencia de una superficie barnizada oscura. Las acumulaciones considerables de este material traen como consecuencia un funcionamiento lento del motor y un control muy disparado del combustible.

Las partículas no magnéticas de herrumbre dan al combustible una coloración rojiza, mientras que las partículas de herrumbre son recogidas por el manejo inadecuado del combustible y por el uso de equipo de transferencia y de almacenamiento del combustible que no han sido mantenidos y limpiados convenientemente.

- ARENA Y POLVO : Los efectos que producen la arena y el polvo en la operación de los motores son muy similares a aquellos que producen la acumulación de herrumbre, excepto que los desperfectos resultantes ocurrirán más rápido con menos contaminación.

Las partículas de arena y polvo son de tamaño mayor que las partículas de herrumbre y son difíciles de eliminar cuando se encuentran atrapadas dentro de las zonas sensitivas del sistema de combustión, estas partículas son de naturaleza granular ó cristalina y cuando la concentración es muy elevada puede detectarse a simple vista si es que se le permite que se asienten, las rejillas son muy finas y los filtros micrónicos retendrán una buena cantidad de estos materiales los cuales pueden verse mediante el examen de filtros.

Se puede decir que todo este material ingresa al sistema de combustible, procedente del exterior, generalmente durante las operaciones de recarga, por eso se recomienda hacer una esmerada limpieza de los equipos y seguir las técnicas para hacer una es-

cen al sistema como resultado del descuido en las operaciones de mantenimiento y de la transferencia de combustible, las partículas de mayor tamaño de este tipo de contaminación puede causar fácilmente la rotura del eje de las bombas, ó de los engranajes interiores, en los casos en que se encuentre un eje roto, es muy importante que se haga un análisis de la parte fracturada de tal forma de hacer posible la determinación de la causa.

La presencia de hilachas en los filtros de combustible puede indicarnos el empleo de filtros micrómicos, ó el uso extensivo del trapo para efectuar la limpieza de los tanques, ó también, que se produzcan de la ropa de las personas que trabajan cerca de los tanques, una acumulación excesiva de este material puede causar que el filtro quede inoperativo cuando en su recorrido lleva al sistema algo de contaminación.

Aquí nuevamente existe la posibilidad de que si el material ingresa hasta la unidad de control ó hasta las boquillas, se puede presentar unas fallas en el funcionamiento del motor, por el paso inadecuado de combustible.

3.7 FALLAS EN EL SISTEMA DE LUBRICACION : La presencia de contaminación en el sistema de lubricación puede ser desastroso para la operación del motor, tanto como la presencia de contaminación en el sistema de lubricación.

La mayoría de materiales contaminantes encontrados en el sistema de combustible pueden encontrarse en el sistema de lubricación, por lo tanto la naturaleza del contaminante dará pauta sobre cual será su efecto en la operación del motor.

3.7.1 FALLA DEL LUBRICANTE : Los diferentes lubricantes empleados en los motores difieren en su composición de los lubricantes empleados hace 7 u ocho años, esto se debe al hecho de que las perforaciones son mucho más

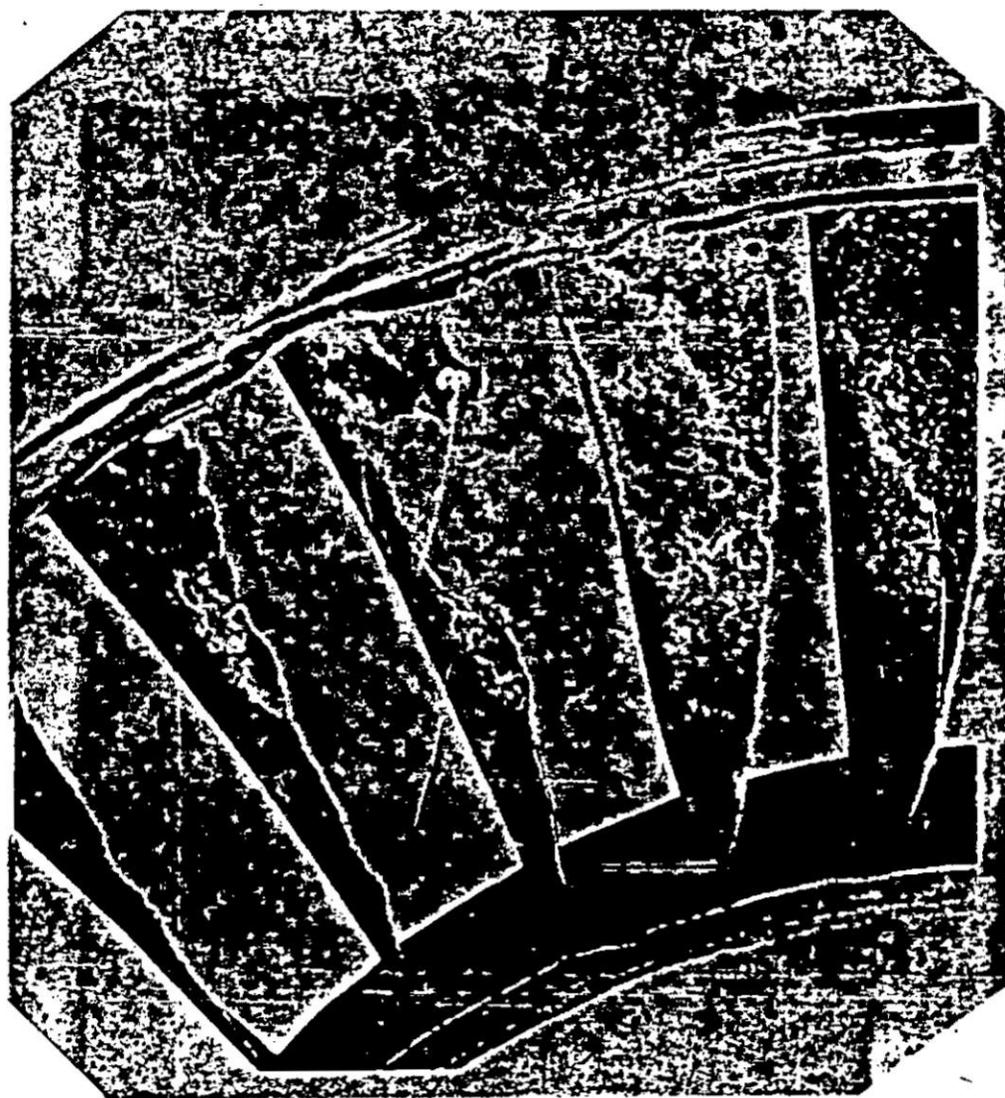


FIG. 3.10 MARCAS DE LA ROSCA DE UN PERNO
EN EL CONJUNTO DE PALETAS

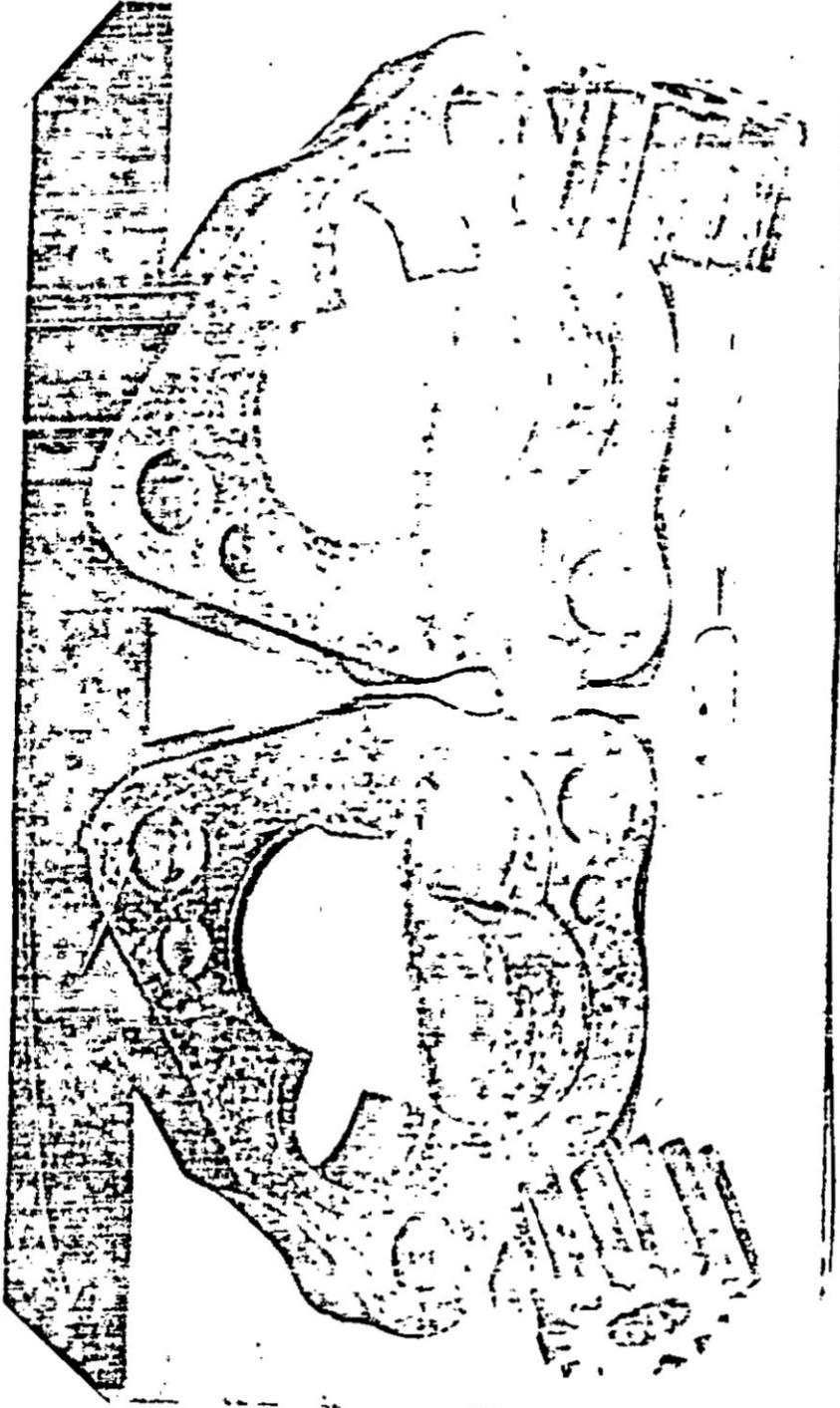


FIG. 3.11 BOMBA DE CIRCULACION DE ACEITE FALLADO POR HABERSE
ATRACADO SUS ENGRANAJES DEBIDO A RESIDUOS METALICOS

elevadas ya que no solo tienen que operar sus turbinas a mayores temperaturas, si no que las temperaturas soportadas por los rodajes son también mayores. Esto a su vez necesito el desarrollo de nuevos lubricantes que pudieran soportar también estas temperaturas y trajo como resultado la aparición de los aceites sintéticos.

Los aceites sintéticos están basados en ácidos y otros productos químicos por lo tanto no son compatibles con los aceites de base mineral de petróleo, los componente del sistema de lubricación del motor, están hechos de materiales que deben estar basados en el tipo de aceite que van a llevar, los aceites sintéticos atacan rápidamente a todo material de jete común que se emplean en la fabricación de sellos anillados y de empaquetaduras del sistema de circulación.

Estos materiales, una vez atacados, comenzarán a suavizarse, hincharse y a perder las características sellantes dando origen a que los aceites escapen del sistema.

Los aceites del motor con base mineral ó de petróleo son compatibles con la mayoría de los materiales empleados en la fabricación de sellos anillados y de las empaquetaduras.

El uso inadvertido de aceite de petróleo en lugar de aceite sintético puede producir serias complicaciones ya que los primeros no pueden operar a altas temperaturas que son comunes en los aceites sintéticos, de ser usados en forma inadvertida, se descompondrán y producirán abundante espuma y se evaporarán debido a la gran temperatura que soportan los rodajes.

- 3.7.3 DOSIFICACION INADECUADA : El aceite al mezclarse con el combustible puede deberse a la ruptura del refrigerador de aceite, si el motor viene equipado con este sistema, como el combustible opera a una mayor presión que la del aceite, el flujo irá hacia el de menor presión. La presencia del combustible en el aceite diluido y por lo tanto cambiarán las propiedades del lubricante, a tal extremo que lo hace inoperante.

vible para cumplir sus propiedades de lubricar y enfriar rodajes.

El insuficiente control de lubricación es decir que el lubricante se de en pequeñas cantidades da como resultado una sobretemperatura en los rodajes y excesiva fricción.

3.7.3 CONTAMINACION DEL LUBRICANTE : La presencia de óxido en el sistema de aceite se debe a dos factores: a la presencia de agua en el aceite, al haberse introducido desde el exterior, por el aceite que ya se encontraba contaminado en depósitos de almacenamiento ó equipo de recarga mal cuidados, la presencia de óxido en el sistema de lubricación, por un cierto período de tiempo, producirá en algunos casos; el cambio de color de los elementos de los rodajes.

El óxido común, por ejemplo, dejará algunas veces un color rojo mientras que el óxido negro de fierro dejará una indicación negra.

Las partículas de óxido generalmente no llegan a ser lo suficientemente grandes para que puedan causar una falla en la bomba de presión ó en la circulación, esto sin embargo depende en gran parte del diseño de la bomba, en el tamaño de las partículas y en el grado de concentración.

Algunas veces este carbón se rompe y es recogido por la bomba de circulación y enviado a lo largo del sistema de lubricación, los pedazos de carbón no tienen dureza ni la longitud suficientemente grande para obstruir los filtros ó boquillas de lubricación, el pasaje de este tipo de material através del sistema de abastecimiento podría traer como consecuencia daños muy serios a los rodajes del motor.

La presencia de arena, polvo, plomo y partículas metálicas podrían dentro del sistema indicar un descuido en el procedimiento de servicio

y descarga, sin embargo debe tenerse en cuenta que las partículas metálicas podrían ser el resultado de la falla de algunas de las partes del sistema.

Así como el caso de este tipo de contaminación en el combustible, es muy importante que el material sea debidamente identificado para poder establecer si es extraño el sistema del motor.

La falla de una bomba de circulación debido a la presencia de partículas metálicas puede ser fácilmente identificada.

Cuando los componente del sistema de lubricación no ha recibido daños de impacto muy considerables, será tarea relativamente fácil para el investigador hacer un exámen de ellas en el sistema mismo.

Los desperfectos de un rodaje, debido a la falta de aceite, puede ser el resultado de varias fallas.

Se recomienda no dejar pasar la presencia de algún contaminante, los filtros del sistema de circulación y de abastecimiento deben ser cuidadosamente examinados para ver si existe algún material foráneo.

Cualquier material que se encuentre debe ser enviado a un laboratorio para ser añáлизado e identificado, conjuntamente con una muestra del aceite del motor si fuera posible conseguir.

Los contaminantes sólidos de tamaño considerable generalmente producen rotura del eje de la bomba de presión ó de la circulación, también esto es posible de que suceda en ambas bombas por efecto de la fuerza de impacto; por lo tanto es muy importante que en caso de rotura del eje, los elementos fracturados sean remitidos a un laboratorio para efectuar el análisis de la fractura.

Sila contaminación ha producido la rotura del eje, el contaminante será encontrado dentro los elementos de la bomba en el momento de desarmarla, es importante establecer si la presencia del contaminante fué la causa de la falla, ó el resultado de la falla de algún componente del motor.

Las boquillas de lubricación deben ser también examinadas por ser posi

ble la obstrucción causada por materiales extraños, ya que esta obstrucción puede ser de tal grado que redujo el flujo de aceite hacia los rodajes, en caso de encontrarse debe ser identificado para determinar su procedencia, el cuidado que se tenga al examinar las boquillas debe ser igual al que se tuvo en el caso del sistema de combustible, lo más importante que debe tenerse en cuenta es que cualquier accidente que atañe al motor y donde hay evidencias de contaminación, es necesario establecer si fué la causa ó si la presencia obedece a alguna otra falla, esto podrá ser hecho solamente mediante un cuidadoso y completo análisis de las condiciones e indicaciones encontradas.

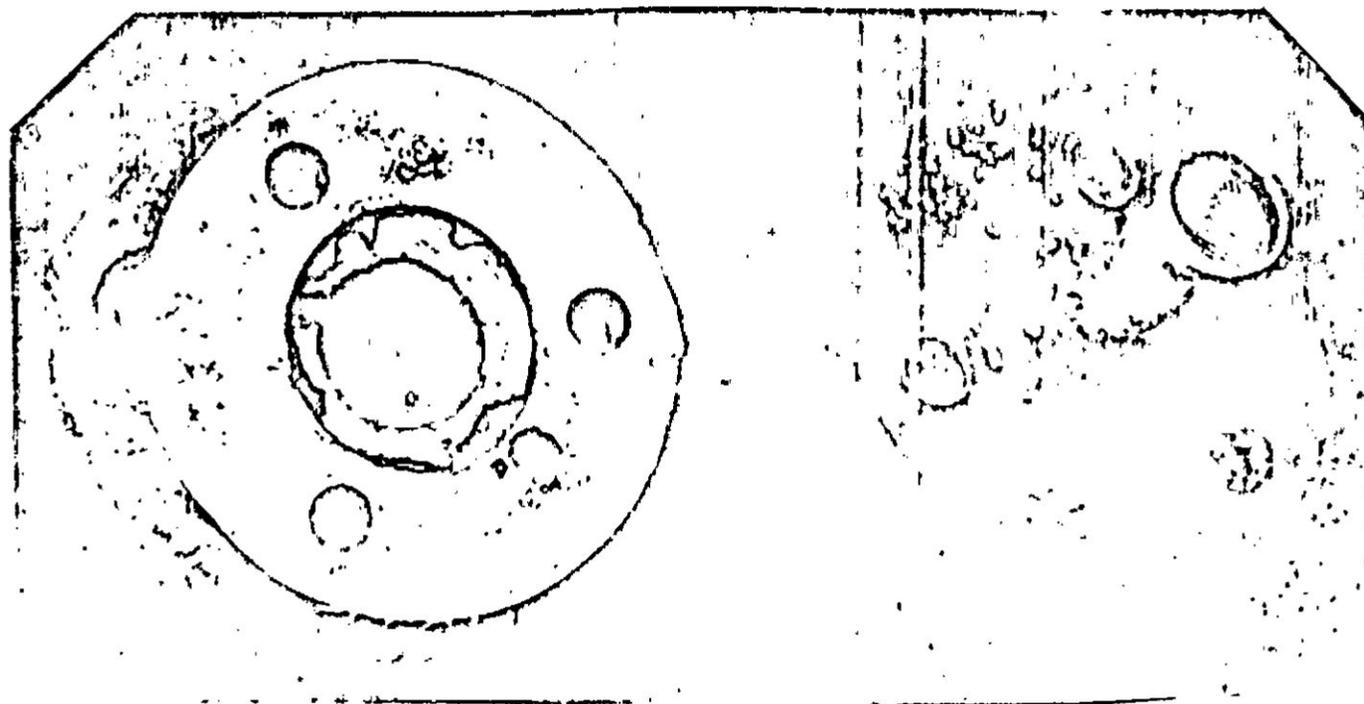


FIG. 3.12 ACUMULACIONES EN LAS CORTINAS DEL FILTRO DEBIDO A
OBSTRUCCIONES DE LOS VAPORES DE ACEITE

CAPITULO IV

APLICACION DEL OVERHAUL AL MOTOR ALLISON 50I-D22 PARA LAS 3000 HORAS

DE VUELO

Siendo el objeto alcanzar el más elevado nivel de operatividad y seguridad para el material aéreo, es necesario considerar como necesidad fundamental la ejecución de las reparaciones mayores en el país a los motores a reacción elementos matrices de los aviones.

Antes de entrar a analizar en forma detallada la marcha de una reparación mayor para el motor Allison 50I-D22 debemos resaltar la diferencia que existe entre un taller de reparaciones y el montaje de motores de fabricación.

Si bien poseen gran número de elementos comunes, la forma en que se realizan los trabajos hace que su organización sea fundamentalmente distinta.

El taller de montaje de fabricación recibe del depósito la totalidad de piezas nuevas inspeccionadas listas para ser colocadas entre los diversos subconjuntos, para luego armar el conjunto general.

Por el contrario, el taller de reparación recibe un motor completamente con cierto uso, el cual se deberá desarmar, limpiar, inspeccionar, reparar algunas de las piezas y luego efectuar las operaciones de montaje, todo ello obliga a disponer en el taller de una serie de máquinas-herramientas que no son necesarias para el montaje de los de fabrica.

MARCHA DE LA REPARACION MAYOR DEL MOTOR ALLISON 50I-D22: La secuencia que se deberá seguir es la siguiente:

4.1 RECEPCION DEL MOTOR: El motor es recepcionado del lugar de utilización, de biendose proceder a efectuar el control del mismo en el aspecto administra

tivo verificando: número de motor, cantidad de accesorios que lo acompañan y número de los mismos, estado físico de los elementos y libreta historial.

Dimensiones, áreas y características principales del motor Allison 501-D22:

Largo	:	40.8 pulg.
Ancho	:	19.0 pulg.
Altura	:	23.2 pulg.
Peso	:	158 lbs.
Velocidad Máxima	:	8,100 RPM.
Reducción Revoluciones	:	9/20 (1 : 0.45).
Relación de Compresión	:	9 : 1
Compresor de Flujo Axial 3 etapas		
Etapa		Rotor
Primera	:	16 álabes.
Segunda	:	36 álabes.
Tercera	:	36 álabes.
Turbinas		
Primera	:	47 álabes.
Segunda	:	43 álabes.
Inyectores		
Primario	:	7
Secundario	:	7
Velocidad Máxima	:	400 nudos.
Altitud Máxima	:	25,000 pies.
Lubricante	:	AN-1100 Viscosidad No 100-210 oF - Mil
Combustible	:	Gasolina 100-130 octanos.
Presión	:	Max. 23 Lbr/plg ² , Min. 21 lbr/pulg. ²
Relación de combustible - aceite	:	30 : 1
Mil : Especificaciones Militares.		

4.2 DESARMAJO DEL MOTOR : El motor deberá pasar a la línea de montaje donde se procederá al desarmado total: circuitos eléctricos, tuberías y accesorios, turbina, carter central, cámara de combustión, compresor, desarme de cada subconjunto.

4.3 LAVADO Y LIMPIEZA : En esta sección deberá existir el lavadero y equipos desengrasantes, estos equipos se destinan al lavado general de las piezas para sacarles los residuos aceitosos y otros.

Existen dos tipos de detergentes: el sintético como el tricloroacetileno u que por el desprendimiento de gases tóxicos, se debe estar provistos de una instalación extractora de gases.

El tipo jabonoso, que consiste en un tipo de jabón en polvo que es disuelto en agua a temperatura de 70 a 80 °C, dan como resultado una solución que se puede emplear durante largos períodos, teniendo en cuenta que no son tóxicos y no atacan a los metales.

4.4 INSPECCION : La parte destinada a la inspección debe disponer no solo de aparatos necesarios sino también de amplias mesas donde disponer las piezas para poder observarlas, medirlas, calibrarlas, la inspección será de tipo:

1.- VISUAL : Permite descartar las piezas que a simple vista no sirven por roturas, desgaste, deformaciones.

2.- DE MEDIDA : Controlando y calibrando piezas de acuerdo a la tolerancia admitida por el desgaste.

3.- ESPECIAL : Comprende las determinaciones de grietas, soldadura etc. estos ensayos especiales se deberá disponer de los aparatos correspondientes, al mismo tiempo que se realizará la inspección se procederá

a efectuar el llamado parte de verificación, en esta parte se debe detallar la totalidad de trabajos a efectuar al motor, así como las modificaciones que hubieran surgido durante el período que el motor ha estado en servicio, estos ensayos especiales son:

a.- EXAMEN RADIOGRAFICO : La radiografía de los metales puede realizarse bien utilizando los rayos X ó rayos gamma.

Los rayos X, se genera al chocar un chorro de electrones a gran velocidad contra un obstáculo, así pues, cuando los electrones lanzados a gran velocidad son bruscamente detenidos por un cuerpo.

Una radiografía no es sino una fotografía obtenida por transparencia del objeto a reconocer en la cual unas zonas aparecen más ennegrecidas que otras, según la intensidad de la radiación que recibe.

Esta intensidad es función de la densidad en las distintas zonas del material, ya que cuando es menor ésta, mayor es la facilidad con que el objeto es atravesado por los rayos X, mayor es la intensidad de la radiación que incide sobre la placa fotográfica por la que aparecen unas zonas con un sombreado más acusado que otras, por lo consiguiente las sopladuras y grietas dan lugar en la fotografía a zonas aún más oscuras que el resto.

b.- INSPECCION POR MEDIO DE PARTICULAS MAGNETICAS : Este procedimiento es conocido como magnaflux, se utiliza para la detección de grietas, pliegues, costuras, inclusiones y defectos similares a los materiales ferromagnéticos; especialmente en el hierro y el acero. Se puede medir ó detectar discontinuidades superficiales que por su tamaño pequeño no son visibles directamente, defectos situados en el interior del material pero muy proximoa a la superficie.

c.- INSPECCION MEDIANTE LIQUIDO PENEPRANTE : Se emplea en la detección de discontinuidades superficiales de tamaño muy pequeño, tales como: grietas, arrugas y poros en materiales no magnéticos.

d.- ULTRASONIDO : Se utiliza para la detección de los defectos, ondas de frecuencia superior a las audibles de ahí su nombre, las frecuencias utilizables varían de 1 a 5 millones de ciclo por seg.

Estas ondas de frecuencia utilizables tan elevadas se reflejan en las superficies y defectos de una manera muy similar a como hace la luz de un espejo.

Después mediante dispositivos adecuados, se logra hacer visible las ondas reflejadas.

En una pantalla del aparato ultrasonico podemos observar tres señales:

La de la izquierda corresponde a la cara anterior a la pieza, la de la derecha a la cara posterior y la más pequeña situada entre ellas indica la presencia de la grieta inferior.

Los ultrasonidos se utilizan para detectar y localizar rechupes, roturas ó grietas interiores, poro e inclusive inclusiones no metálicas de gran tamaño, también puede emplearse para la medición del espesor de las paredes de recipientes ó depósitos cerrados, imposibles de medir por otros procedimientos.

4.5 ANOMALIAS ENCONTRADAS EN EL OVERHAUL : En esta sección se determina la reparación, modificaciones ó cambios de los diferentes componentes del motor a los efectos de establecer dentro de las tolerancias de diseño establecido.

4.5.1 BOMBA DE ACEITE

Inspección externa:

- Evidencias de haber estado expuesto a la acción de altas temperaturas.
- Eje de mando sin rotación.

Inspección interna :

- Todos los sellos de la empaquetadura quemados.
- Rodajes de tipo aguja sin rotación y quemados.
- Eje agarrotado con los rodajes.

4.5.2 FILTROS DE ACEITE :

Inspección externa :

- Evidencias de haber estado expuestas a la acción de grandes temperaturas.
- Caja deformada por golpes.

Inspección interna :

- Sellos y empaquetaduras de jebe quemados.
- Elementos de filtrado quemados y rotos.
- Perno de sujeción roto.

4.5.3 BOMBA DE COMBUSTIBLE :

Inspección externa :

- Presenta signos de golpes en la brida de sujeción.
- Evidencias de acción de alta temperatura en todo el cuerpo de la bomba.
- Eje de la bomba sin rotación

Inspección interna:

- Pieza central con la caja de alojamiento de los engranajes deformada por acción del golpe, dando como consecuencia la no rotación del eje de mando.
- Elementos de filtrado y empaquetadura quemadas.

4.5.4 TANQUE DE EMERGENCIA :

- Presenta pequeñas abolladuras y rajaduras.
- Prueba eléctrica no funciona.
- No gira por tener la caja deformada.
- Piezas de jebe en buen estado.

4.5.5 ELECTROBOMBA DE MICROTURBO :

- Presenta golpes y rajaduras en toda la extensión.
- Prueba eléctrica no funciona.
- Signos de exposición sometidos a fuego.
- Conexiones de entrada y salida en buen estado.

4.5.6 ROTOR : Alabe No 56 desprendido de la tercera etapa, partículas ferrosas impregnadas que presentan forma laminada y signos de suciedad (tierra, carbón).

DETERMINACION ANALITICA :

Elemento	Porcentaje en peso
Cromo	11.5 %
Zinc	0.04 %
Aluminio	0.18 %
Fierro	0.84 %
Tierra y carbón	Indeterminado.

4.5 DETERMINACION DEL PROCESO : En esta sección se realizará el reagrupamiento de las partes.

- Agrupamiento de piezas nuevas.
- Reagrupación de las piezas buenas.
- Reconstitución de las piezas reparadas.

4.6.1 ALMACEN DE PIEZAS NUEVAS: Almacenamiento de las piezas de repuesto.

4.6.2 MAQUINAS ; Material necesario para efectuar las reparaciones ó modificaciones según sea el caso tales como : fresas, taladros, rectificadoras, herramientas y calibres especiales necesarios para luego de efectuados los trabajos comprobar que el material se encuentre dentro de los parámetros establecidos.

4.6.3 PROCESOS ESPECIALES : Capacidad instalada necesaria para realizar recubrimientos de superficies mediante los diferentes métodos establecidos tales como : cromado, niquelado, plateado cadmiado, fosfatado, oxidación química , oxidación anódica, arenado, metalizado pintado.

4.6.4 Soldaduras : Necesario para los diferentes componentes del motor.

- Soldadura a arco eléctrico.
- Soldadura oxi-acetilénica.
- Soldadura con argón.
- Soldadura por puntos.
- Remachado.
- Control ardorox.
- Control rayos X

4.6.5 ELECTRICIDAD : Control de cables, control de accesorios eléctricos.

4.6.6 ENSAMBLAJE DE LOS SUBCONJUNTOS : Armado parcial de los subconjuntos, previo al armado final.

Balace estático y dinámico de los conjuntos rotativos del motor: rotor del compresor y rueda de la turbina.

Balace de equilibrio : En las velocidades de alta rotación cualquier desequilibrio en el conjunto principal de rotación de un motor a reaccion es capaz de producir vibración y tensión con un incremento como el cuadrado de la velocidad rotacional.

Para obtener auténticos resultados de equilibrio cuando la agitación de los álabes esta presente, es necesario registrar las indicaciones de las diferentes marchas equilibradas, por ejemplo ocho marchas de allí en adelante se determina el significado del vector principal.

4.7. BANCO DE PRUEBA DE LOS ACCESORIOS

- = Prueba de verificación del reglaje de reguladores.
- Prueba de bombas principal y emergencia de combustible.

4.7.I TALLER DE ACCESORIOS DE COMBUSTIBLE :

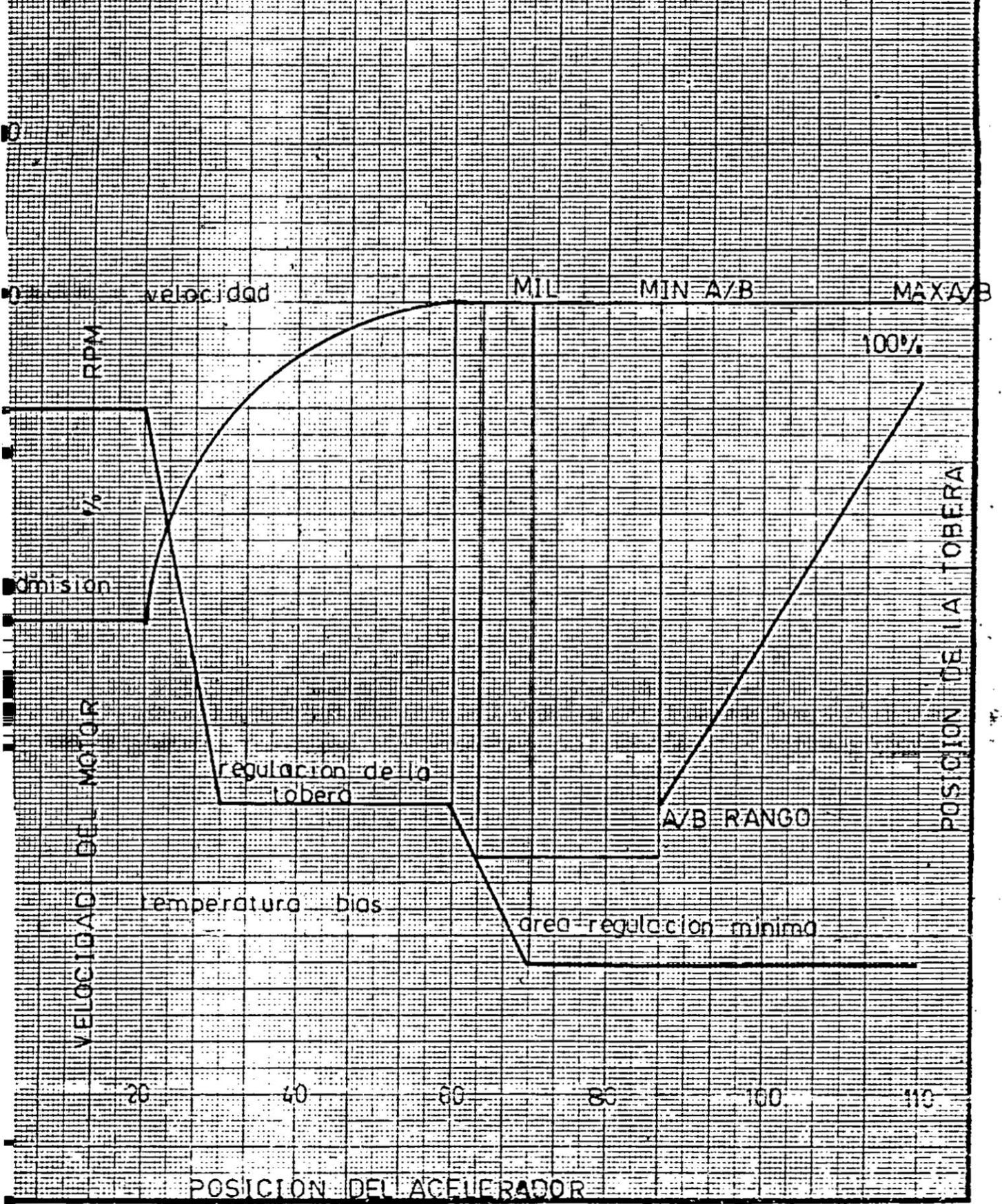
- Operaciones menores en los reguladores.
- Pruebas en las bombas de aceite.
- Prueba de accesorios.
- Prueba bajo carga reducida de soportes de accesorios.

4.8 MONTAJE TOTAL O ARMADO FINAL :

- = Montaje del compresor (estator sobre el rotor).
- Montaje del carter de admisión sobre el compresor.
- Montaje del conjunto carter central-cámara de combustión sobre el compresor.
- Montaje del conjunto turbina sobre reactor.
- Montaje de accesorios.
- Montaje del cableado eléctrico.
- Montaje del arrancador.
- Armado final, eventualmente desarmado y armado final del reactor, después de pruebas no satisfactorias.

4.9 ENSAYO: Prueba de recepción después de la reparación, el banco de prueba es el elemento necesario para la medición de performances del motor luego de haber finalizado el proceso de armado final es decir a una marcha de varias horas a distintos regímenes, con una cabina de control semejante a la cabina del avión.

GRAFICO VELOCIDAD DEL MOTOR Y POSICION DE LA TOBERA VS POSICION DEL ACELERADOR



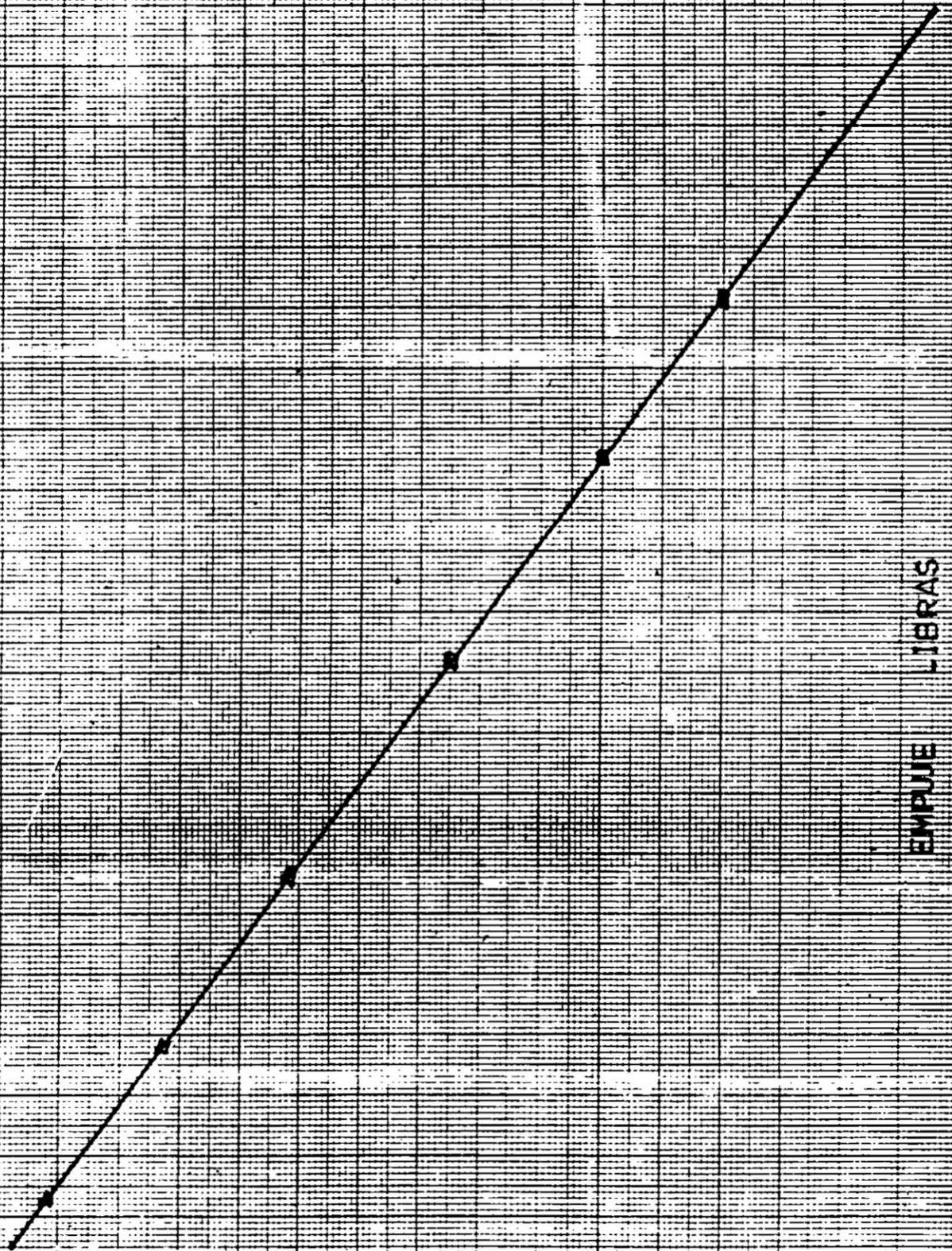
TEST CALIBRACION DEL MOTOR ALLISON 501.D22

EMPUJE VS RPM

EMPUJE LIBRAS

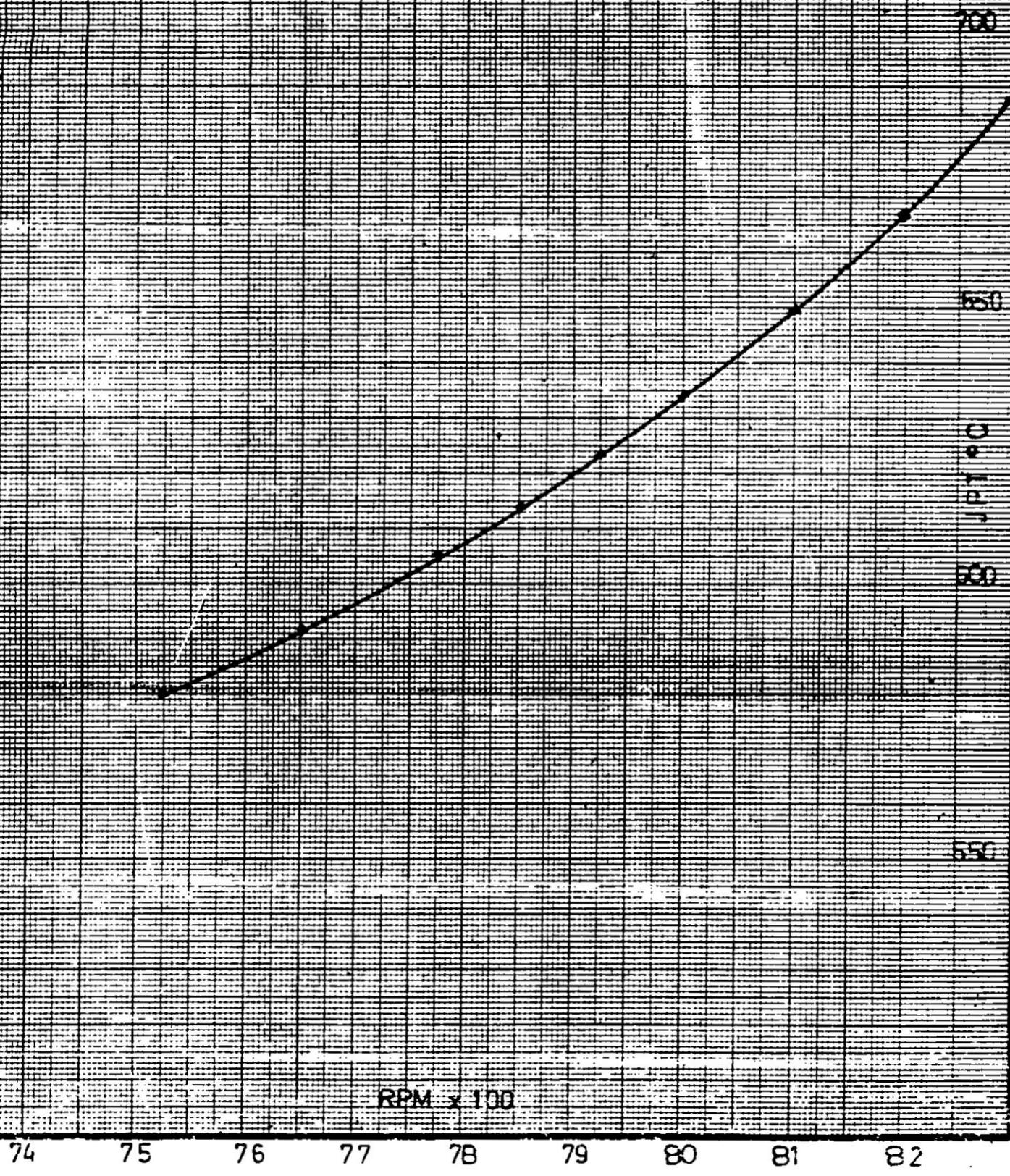
RPM x 100

74 75 76 77 78 79 80 81 82



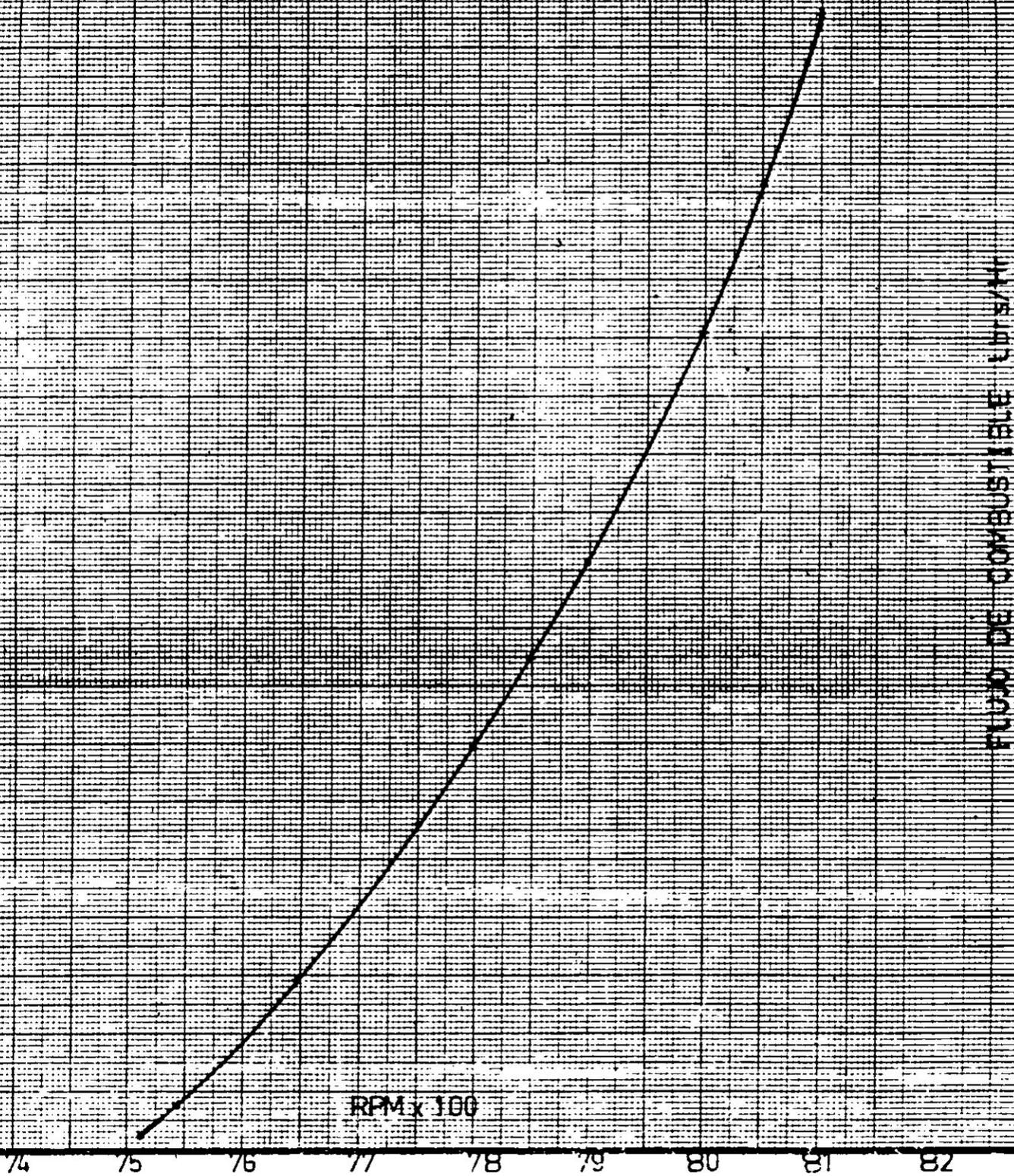
TEST DE CALIBRACION DEL MOTOR ALITSON 501.02

TEMPERATURA COMBUSTIBLE VS RPM



TEST DE CALIBRACION DEL MOTOR ALISON 501D22

FLUJO DE COMBUSTIBLE VS RPM



2. The second part of the document

3. The third part of the document

4. The fourth part of the document

5. The fifth part of the document

6. The sixth part of the document

CAPITULO V

JUSTIFICACION ECONOMICA

Para realizar el presente estudio, se ha tomado en cuenta la inversión que deberá realizarse para lograr la capacidad instalada necesaria que permita el procesamiento de los motores Allison 50I-D22 en las mejores condiciones, así como los costos unitarios que demandaría el overhaul de los motores en el Perú y en el extranjero, de manera de poder determinar el punto de equilibrio.

Al dotar de la capacidad instalada que le permita procesar estos motores, se obtendrá como consecuencia una serie de ventajas entre las que tendremos:

- Un mejoramiento en el nivel técnico en plazos relativamente cortos.
- Conceder autonomía reduciendo de esta manera las condiciones de dependencia existente en la actualidad en el procesamiento de los motores.
- Proporcionar al personal, nuevos conocimientos técnicos empleados en motores a reacción, obteniendo con ello un aumento del índice de capacitación.
- Como consecuencia de este alcance y su grado de complejidad determinar la capacidad instalada suficiente en base a criterios establecidos para absorber la necesidad planteada.
- Analizar bajo aspectos principales en personal, material e instalación la inversión necesaria para el cumplimiento de los trabajos por llevar a cabo.
- La solución que se recomienda deberá considerar cada una de las actividades a cumplir y los costos estimados en los siguientes aspectos:

a.- EN PERSONAL :

- 1.- Requerimiento de instrucción en el país.
- 2.- Requerimiento de instrucción en el extranjero.

3.- Asesoría técnica.

b.- EN MATERIAL :

1.- Herramientas.

2.- Bancos de prueba, máquinas y equipos.

3.- Repuestos.

c.- EN INSTALACIONES :

1.- Acondicionamiento en los talleres.

2.- Edificios de banco de prueba de motores.

3.- Establecer el diagrama de las actividades a seguir.

En el presente estudio se ha tomado tres áreas fundamentales éstas son:

a.- AREA DE PERSONAL :

1.- Requerimiento de selección de personal: En la actualidad el servicio de Mantenimiento no cuenta con personal disponible en la cantidad suficiente para cubrir las necesidades de entrenamiento en el overhaul de los motores, existiendo un déficit de especialistas de mano de obra directa para completar los cuadros requeridos en cada uno de los talleres.

2.- Requerimiento de instrucción : En vista de que en la actualidad la mayoría del personal cuyo nombramiento se preveía, no posee experiencia específica en reparaciones mayores a motores a reacción, será necesario desarrollar las siguientes actividades.

- Instrucción previa en el país:

a Curso del idioma inglés : Será dictado en un instituto de idiomas y dentro del período de 16 semanas de duración.

b Cursos de familiarización : Con procedimientos de overhaul de motores, se llevará a cabo en el servicio de mantenimiento simultánea-

mente con el curso de ingles, teniendo la misma duración que éste.

- Entrenamiento en el extranjero ; Tiene por finalidad el adiestramiento del personal en los procesos de overhaul específicos de cada motor.

Comprendera cursos teórico prácticos considerándose los fundamentos de cada motor, equipos e instrumentos especializados así su aplicación y empleo de herramientas especiales y utilización de equipos de equipos de inspección y reparación con ejecución de trabajos prácticos por el personal en sus respectivas especialidades.

3.- Efectivo de personal para entrenar en el extranjero:

En concordancia con los criterios establecidos se ha previsto la necesidad de proporcionar entrenamiento a ocho personas en las siguientes especialidades:

- 1.- Un jefe de grupo a cargo de la supervisión del trabajo.
- 2.- Tres ingenieros.
- 3.- Tres mecánicos de motor.
- 4.- Tres mecánicos de accesorios.
- 5.- Un inspector de calidad.

6.- AREA DE MATERIAL :

- 1.- En este rubro se considerarán los recursos materiales requeridos por el servicio de mantenimiento para estar en condiciones de ejecutar los trabajos correspondientes a las reparaciones mayores y menores que sean necesarias en los motores.
- 2.- La implementación, habiéndose considerado el equipo y herramientas necesarias para cubrir cada actividad del mantenimiento mayor de los motores.

c.- AREA DE INSTALACION :

- 1.- Para cubrir las necesidades de esta área, se ha efectuado el análisis funcional de las actividades que intervienen en la reparación de cada uno de los motores, para lo cual se ha empleado una información proporcionada por cada fabricante en sus respectivos manuales de overhaul.
- 2.- Como resultado de los estudios realizados se ha establecido que en lo referente a talleres, no será necesario efectuar ninguna inversión ya que los actuales disponibles serán lo suficientes para la realización del overhaul de los motores.

5.0 ANALISIS ECONOMICO:

Para realizar el presente estudio, se ha tomado en consideración la inversión que deberá realizarse para lograr la capacidad instalada necesaria que le permita al servicio de mantenimiento el procesamiento de los motores, motivo del presente estudio en las mejores condiciones, así como los costos unitarios que demandaría el overhaul de cada motor y poder determinar el punto de equilibrio.

5.1 COSTO DE MANO DE OBRA:

I.- Instrucción en el país

- a) Curso de ingles S/83,000.00
- b) Curso de familiarización no será necesario realizarlo
ninguna inversión por cuanto se realizará en el grupo aéreo No 8

2.- Instrucción en el extranjero:

- a) Pasajes..... \$ 7,000.00
- b) Viáticos por tres meses..... \$ 29,000.00

c) Costo del curso.....	\$	16,000.00
3.- Asesoría técnica por un año.....	\$	60,000.00

4.- COSTOTOTAL :

a) En soles por la instrucción en el país...	\$	83,000.00
b) En dolares por la instrucción en el ex...	\$	112,000.00

 tranjero, y la asesoría por un año.

5.2 AREA DE MATERIAL:

Los costos estimados para cubrir las necesidades en esta área corresponden a los siguientes aspectos:

a) Repuestos para 10 overhaules.....	\$	813,239.00
b) Herramientas y equipos.....	\$	327,000.00
c) Materiales de combustible.....	\$	10,000.00
d) Fletes, seguro y aduana.....	\$	175,987.00
Costo total.....	\$	<u>1326,228.00</u>

5.3 AREA DE INSTALACION :

En lo relacionado a requerimientos de talleres, no será necesario invertir para la construcción de nuevos locales ya que actualmente los disponibles son suficientes.

Con respecto al banco de prueba cabe manifestar lo siguiente:

Será necesario ejecutar a la brevedad posible la obra civil y para lo cual se estima efectuar una inversión aproximada de 2'000,000.00 de dolares.

5.4 COSTO GLOBAL :

Considerando la inversión global necesario en las tres áreas para el logro de la capacidad instalada que le permita al servicio efectuar en

forma óptima el overhaul de cada uno de los motores se llega a los siguientes valores.

1.- En moneda nacional	S/	83,000.00
2.- En dolares	\$	3'438,226.00

5.4.I COSTOS UNITARIOS ESTIMADOS PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS MOTORES :

1.- Para establecer el costo unitario estimado para el procesamiento de cada uno de los motores se ha tomado en cuenta lo siguiente:

- a) Mano de obra: Para estimar el costo se ha considerado el promedio de horas hombre que se insume en este momento en el servicio de mantenimiento para el procesamiento de motores de categoría similar a los estudiados.
- b) Repuestos: Se ha considerado el costo unitario de repuestos que se insuminarán para cada overhaul de cada motor, tomado como inversión inicial que deberá hacerse para la adquisición de material para el procesamiento de 10 overhaules.
- c) Material consumible: Se ha tenido en cuenta el consumo aproximado que demandará el overhaul de cada motor en lo relacionado a pinturas, grasas, lubricantes, etc.

2.- En base a lo indicado anteriormente se obtiene para cada motor en lo relacionado a los siguientes costos unitarios:

1.- Mano de obra	\$	6,750.00
2.- Repuestos	\$	81,323.00
3.- Material consumible	\$	1,000.00
4.- Total	\$	<u>89,073.00</u>

5.4.2 COSTO UNITARIO PROMEDIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS MOTORES EN EL EX-

TRANJERO:

1.- Para establecer el costo unitario promedio para el procesamiento de los motores, se ha tenido información de motores que ya han sido remitidos a los EE.UU para su overhaul.

2.- En los costos indicados en el párrafo anterior se tomará como variable la mano de obra ya que el consumo de repuestos y material consumible será el mismo de realizarlo el overhaul en el país ó en el extranjero.

Por otro lado en este caso se debe agregar otro factor, que lo constituye el flete que debería pagarse cada vez que un motor se remita para su reparación al extranjero.

3.- En base a lo establecido se obtiene para cada motor los siguientes costos unitarios:

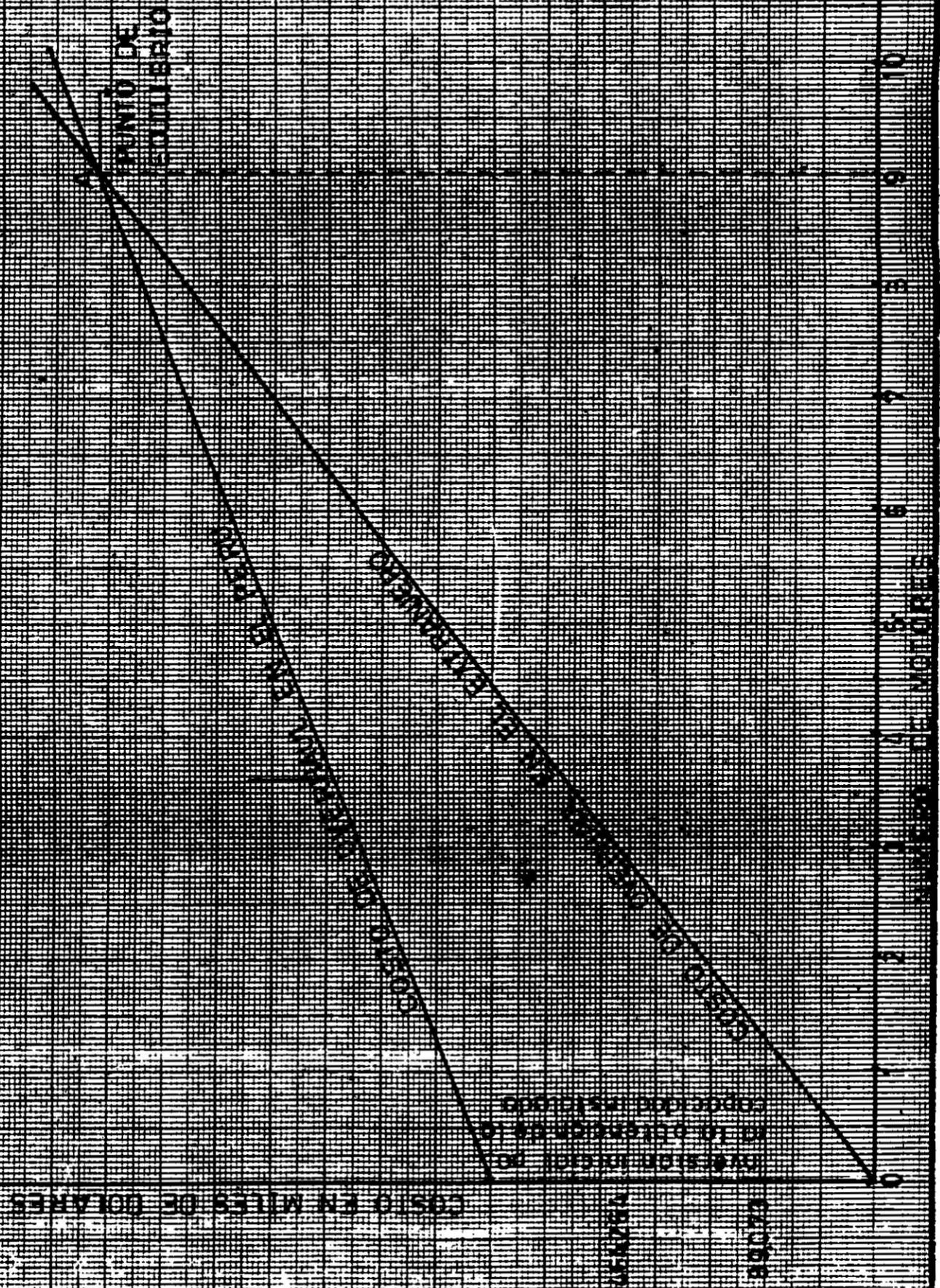
1.- Mano de obra.....	\$	41,000.00
2.- Repuestos.....	\$	81,323.00
3.- Material consumible.....	\$	1,000.00
4.- Fletes, seguro y aduana.....	\$	5,000.00
5.- Total.....	\$	<u>118,000.00</u>
Según propuesta en el extranjero se estima..	\$	150,000.00

5.4.3 DIFERENCIA ENTRE EL PROCESAMIENTO DE LOS MOTORES EN EL PAIS Y EN EL

EXTRANJERO :

1.- En el país.....	\$	89,073.00
2.- En el extranjero.....	\$	150,000.00
3.- Diferencia.....	\$	<u>60,927.00</u>

PUNTO DE EQUILIBRIO PARA MOTORES ALLISON 300 D-22



INVERSION INICIAL DE \$1000000

INVERSION INICIAL DE \$1000000

2500
2000
1500
1000
500
0

12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

5.4.4 PUNTO DE EQUILIBRIO :

- 1.- La determinación del punto de equilibrio nos permitirá conocer la cantidad de motores que deben procesarse para que se recupere totalmente la inversión realizada para la implementación del servicio de mantenimiento.
- 2.- Se ha trazado un gráfico en el que se registran los costos de procesamiento en función del número de motores a procesar.
- 3.- Puede observarse que de acuerdo a la recta representativa de la alternativa de enviar los motores al extranjero, parte de cero debido a que este hecho no necesita de ninguna inversión previa, la pendiente de esta recta esta dada por el costo unitario de procesamiento de cada motor, que incluye mano de obra, repuestos, material consumible y fletes para la remisión y retorno del motor.
- 4.- En el caso de la recta que representa la alternativa de reparar los motores en el país, puede observarse que la recta no se inicia en el origen de coordenadas sino en el punto D del eje de costos y representa la inversión inicial.
A partir del punto D la recta incluye los costos relativos a la mano de obra, repuestos, y material consumible y tiene menor pendiente que la correspondiente al procesamiento en el extranjero en razón del bajo costo unitario de la mano de obra peruana; interceptando la recta en los pto. A, B, C que corresponden a nueve motores.
- 5.- Se llega a la siguiente conclusión: a partir del primer motor hasta el motor correspondiente al punto de equilibrio, la diferencia de costos unitarios entre la alternativa peruana y la extranjera se utilizaría para la amortización de la inversión inicial para el logro de la capacidad instalada, del pto de equilibrio en adelante.

CAPITULO VI

PREVENCION Y PROTECCION DE ACCIDENTES

La disponibilidad de operación en mantener los aviones en la mejor condición de operatividad es función del personal de mantenimiento y es esencial que el trabajo se lleve a cabo con un mínimo de accidentes en el personal y de daños en los aviones y en el equipo.

Sin embargo antes de examinar las precauciones de seguridad es necesario bosquejar las causas mayores de los peligros en mantenimiento.

6.1 CAUSAS DEL ACCIDENTE :

1.- Incendios y explosiones : Las instalaciones de los aviones y de las líneas de vuelo presentan potencialidades para incendios y para explosiones debido a la gasolina, combustibles para aviones, oxígeno y equipo de potencia son típicos de tales peligros.

2.- Caidas: El personal de mantenimiento esta expuesto a los peligros de caidas cuando están atendiendo aviones desde andamios, plataformas y cuando se trabaja en ó dentro del mismo avión.

3.- Reparación y funcionamiento del motor : El personal de reparaciones del motor, con frecuencia esta expuesto a peligros cuando están trabajando en una planta motorpropulsora en funcionamiento; y se tendrá especial cuidado cuando se hace el mantenimiento con los motores en funcionamiento.

6.2 SEGURIDAD PARA EL MANTENIMIENTO : Las siguientes normas de seguridad tratan principalmente de la prevención de accidentes, estas normas son decis

nadas para proveer el máximo de seguridad del personal mientras se aseguran las operaciones eficientes de mantenimiento y los aviones queden listos para vuelo:

- 1.- Conectar a tierra los aviones: Para proteger los aviones del peligro de la electricidad estática, se conectarán efectivamente a tierra durante todas las operaciones de mantenimiento y reparación cuando estén en el hangar, estacionados ó atados con el cable, excepto cuando están listos para el despegue.
- 2.- Prelubricación y funcionamiento del motor : Para la máxima seguridad del personal, las reparaciones del motor y los ajustes se efectuarán cuando los motores no están funcionando, si por alguna razón, se tiene que hacer el trabajo con los motores en funcionamiento, estas serán hechas de acuerdo con las instrucciones publicadas en el manual.
- 3.- Personal capacitado para la operación de motores : Solamente los pilotos clasificados y el personal especializado de la cuadrilla terrestre estarán autorizados para poner en marcha ó detener la marcha de los motores, el contacto de radio con la torre de control será mantenido todo el tiempo que dure la operación del motor.
- 4.- Áreas limpias de arranque de motores : el jefe de la cuadrilla ó el supervisor de prueba de funcionamiento del motor, inspeccionará el área de arranque de los alrededores para asegurar que esté libre de todo equipo y materiales que puedan causar ó estar propensos a daños.
- 5.- Seguridad en las operaciones terrestres : Cuando el motor está funcionando, la presión de escape en la cola y el efecto de succión en la proa presenta peligros que requieren atención de los mecánicos y del

personal de línea de vuelo.

- 6.- Rotor móvil de la turbina : El personal de mantenimiento no permanecerá junto a las rayas pintadas de rojo del fuselaje ó en las barbillas del motor. Estas rayas marcan el plano de giro del rotor móvil de la turbina, el cual es potencialmente un área de peligro en el caso que falle la turbina.
- 7.- Efecto de succión : El efecto de succión del motor es suficiente para causar accidentes fatales al personal y daños extensibles al equipo. Los miembros de la cuadrilla de seguridad no se acercarán a más de 5 pies de los conductos de admisión desde un lado ó desde la parte posterior y todo el personal permanecerá por lo menos a 25 pies enfrente de los conductos de admisión cuando el motor está funcionando.
- El personal no usará ropas anchas ó llevarán objetos que puedan ser aspirados en los conductos cuando estén trabajando en ó cerca del avión.
- 8.- Escape de chorro a presión : Estará prohibido a todas las personas y vehículos pasar por debajo del avión con los motores funcionando. Un miembro de la cuadrilla terrestre estará situado al lado de la unidad de operación del avión para avisar al personal y al tráfico del peligro y se mantendrá un área libre por una distancia aproximada de 200 pies de la sección libre del avión de la parte posterior antes de poner en marcha el motor, las herramientas, las piezas de repuesto y otros objetos serán removidos del área de las ráfagas.
- 9.- Entrada al tubo de expulsión : Cuando una persona entra en el tubo de expulsión de un avión para inspeccionar el montaje de la rueda

de la turbina, un miembro responsable de la cuadrilla será apostado cerca del avión para evitar que cualquiera entre en la cabina y para observar y comunicarse con la persona que está dentro del tubo de expulsión.

10.- Ropas protectoras : Los mecánicos que tienen que entrar al tubo de expulsión, usarán ropas protectoras.

El traje de trabajo será llevado sobre la ropa corriente mientras se esté dentro del avión y debe ser quitada inmediatamente después de salir del tubo de expulsión.

La ropa protectora usada en este tipo de operación será lavada e inspeccionada frecuentemente para comprobar si hay partículas nocivas de plomo que pudieran haberse filtrado a través de los materiales.

Los dispositivos protectores también serán inspeccionados para ver si hay evidencias de residuos amarillos ó concentraciones de óxido de plomo.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la mayoría de los casos, en el lugar de los sucesos, solo puede hacerse un exámen superficial del sistema motopropulsor, se debe tener en cuenta la siguiente información :

- a) Posición del avión cuando se produjo la falla del motor: despegue, ascenso, crucero, descenso, vuelo acrobático.
- b) Condiciones meteorológicas generales, temperaturas, medio ambiente, punto de rocío.
- c) Historial de mantenimiento.
- d) Descripción de la actuación del motor al fallar y antes de producirse la falla: paradas repentinas, marcha irregular, explosiones en el carburador al desarrollar velocidad, y cualquier otro dato general.

7.1 Motor; Si hubo avería en el motor, se debe determinar si es posible, la parte exacta que fallo ó funcionó mal, y cuales fueron las circunstancias, además debe indicar su marca de fabrica, modelo y número de serie.

Tanto los dibujos como las fotografías que muestren la falla son de suma importancia para apreciar la naturaleza de la avería y determinar la causa exacta.

Debe advertirse cuidadosamente la posición de los mandos, pues así puede determinarse si se accionaron ó no en forma correcta durante el vuelo.

Si se hubieran rotó algunas partes estructurales del motor, es necesario identificarlo y describir las roturas por ejemplo: se rompió el cigüeñal en la zona de la biela No 2 ó si se rompió el vástago de la válvula de escape, si hay indicios poco corrientes de desgaste tales como : rozadura, quemaduras ó grietas, se debe describir y precisar donde se encuentra.

Entre los puntos que merecen especial atención se cuentan los siguientes:

- Estaba cerrada ó abierta la llave de paso del combustible.
- Hay indicios de avería en la instalación de alimentación de lubricación.
- Hay indicios de avería en la instalación de combustible.
- Indicación del estado en que aterrizo con los motores apagados, en marcha lenta ó a muchas revoluciones.
- Si el motor es parado para efectuar maniobras sin motor, tales como entradas en pérdidas, barreras ó planeos.

La lista que sigue es una breve guía de la relación entre los síntomas observados y sus causas, debe advertir que varias de las causas presentan síntomas iguales.

- Hielo en el carburador, es causada generalmente por una disminución gradual de potencia, falsas explosiones, variaciones desordenadas del régimen de irregularidades intermitentes de funcionamiento.
- La falta de combustible va acompañado de falsas explosiones y aumentos esporádicos de potencia.
- Paso inadecuado de combustible, tubos obstruidos ó rotos se manifiesta por falsas explosiones y funcionamiento desigual.

7.2 Instalaciones de combustible : Es especialmente importante que se registre datos de la cantidad de combustible que el avión tenía a bordo en su último punto de partida, si se desmonta los carburadores, debe anotarse cualquier cosa anormal, especialmente si están secos, la cantidad de combustible que contienen y materia extraña ó parte dañada.

Si resulta que la falla de motores proviene de alguna dificultad debida al combustible, se debe incluir en el informe los siguientes datos:

- El último lugar donde se reaprovisiona el avión, que tipo de recipiente se empleo, cuanto combustible tomó, de que grado, debe obtenerse una muestra para su análisis.

- Resultado de las pruebas de las bujías.
- Si las bujías estaban blindadas para la radio.
- Estado de protección de cables del encendido.
- Marcas y tipo del magneto del encendido por batería.
- Estado de instalación de la batería.
- Resultado del examen de los interruptores eléctricos en cuanto a su continuidad y aislamiento.

7.5 Mantenimiento mayor de motores : Disponer el análisis y aprobación de la implementación del servicio de mantenimiento en el más corto plazo posible para realizar el mantenimiento mayor de los motores, solución más conveniente desde el punto de vista técnico económico.

Disponer a la brevedad posible, una comisión integrada por personal altamente calificado en las respectivas fabricas y talleres reparadores de cada motor, los requerimientos de material con la finalidad de establecer las necesidades reales de la implementación del servicio de mantenimiento y optimizar la inversión a realizarse.

7.6 RECOMENDACIONES : Los progresos acompañados, por una mayor seguridad en el vuelo de la aeronaves, darán a la aviación una señal indicadora de un alto rendimiento operativo de los motores, para lo cual se tomará en cuenta lo siguiente:

- Preparar al personal eficientemente para el mantenimiento y operación de los motores a reacción.
- Efectuar el ensayo de los motores en el banco de prueba así como de sus accesorios mínimo en 8 regímenes diferentes.
- Establecer estadísticamente una tabla para determinar cuales son las fallas que mayor incidencia tienen en los motores a reacción.
- Mantener al día el historial de operaciones de los motores.
- Que el procedimiento de los motores sea realizado con la máxima garantía

significa que tanto los materiales, como los procedimientos de reparación, modificación y prueba sean tales que garanticen una operación segura en los motores.

- La reparación mayor de los motores, que actualmente son procesados en el extranjero, para satisfacer los requerimientos operativos, representan un apreciable egreso de las divisas que es necesario reducir al mínimo, mediante el procesamiento del mencionado material en el país, desde el punto de vista técnico es factible realizar la reparación mayor.
- Para posibilitar el procesamiento de los mencionados motores en el país, con la menor inversión posible; es necesario obtener directamente de los talleres extranjeros donde se efectúan dichos trabajos, la información que permita establecer la capacidad instalada complementaria estrictamente indispensable y en consecuencia reajutable de manera favorable, los importantes estimativos referenciales por invertir los que han sido obtenidos fundamentalmente de los manuales de mantenimiento mayor y recomendaciones de los fabricantes de los motores.

CAPITULO I

INTRODUCCION

El presente estudio ha sido preparado con la finalidad de analizar y discernir sobre las fallas que pueden presentarse en un motor a reacción, elementos matrices de los aviones y poder adoptar medidas tendientes a evitarlas; proporcionando seguridad del vuelo, desarrollando progreso y perfeccionamiento en el avance de las investigaciones con la aplicación de factores tecnológicos que revierten seguridad y alto rendimiento operativo, señal indicadora de nuestra permanente superación para la defensa tutelar de la Patria, ya que el Perú es uno de los países Latino-americanos que tienen una de las más difíciles situaciones geopolíticas.

La industria aeronáutica desarrollará la tecnología apropiada que facilite su crecimiento industrial, el diseño, fabricación de productos de acuerdo a las necesidades del país y de los mercados extranjeros, así mismo, establecerá y desarrollará centros de ensamblaje, mantenimiento y reparación general de aeronaves, motores y sistemas anexos para atender los requerimientos integrales de las F.F.A.A, Aviación Civil, Comercial, Deportiva y Privada del país y del extranjero.

Conjuga el enorme despliegue de horas-hombre y máquinas versátiles por las innumerables rutas aéreas del Perú, labor integral cada vez más creciente, que comprende a los pobladores de las más apartadas regiones de la costa, sierra y selva, de esta manera la agreste geografía peruana es vencida por los conductores de la aviación, apoyando los planes de desarrollo nacional así como las más apremiantes casos de emergencia, tal como se puede comprobar después del sismo y aluvión del 31 de Mayo de 1970 en el Callejón de Huaylas, el represamiento del río Mantaro, se contó oportunamente con la información aerofotográfica requerida para evaluar los daños y la posterior ubicación de los

BIBLIOGRAFIA

1.- TEORIA DE MOTORES.....	ING. RAUL MAGALLANES.
2.- MOTORES TERMICOS.....	ING. FELIX SANGUINETE.
3.- CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO DE MOTORES.....	ING. ROBERTO MARTINEZ.
4.- MOTORES RAPIDOS DE COMBUSTION.....	P.M. HELDT.
5.- LUBRICACION RACIONAL.....	ING. PEDRO MONTOYA.
6.- INTERNAL COMBUSTION ENGINE.....	V.L. MALEEV.
7.- AIRCRAFT POWER PLANT.....	NORTHROP.
8.- AIRCRAFT ENGINE.....	A.W. JUDGE.
9.- AIRCRAFT PROPULSION POWER PLANT.....	CARGINO Y KARVINEN.
10.- AIRCRAFT ENGINE DESING.....	JAMES LISTON.
11.- THE JET ENGINE.....	ROLLS ROYCE

REVISTAS:

- 1.- "ESSO AIR WORLD.
- 2.- "SHELL AVIATION NEWS"
- 3.- "AIRCRAFT PRODUCCION".
- 4.- "BRISTOL SIDDELEY REVIEW".
- 5.- "ROTOR WING".
- 6.- "THE ROLLS ROYCE MAGAZINE".
- 7.- " AVIATION 441".

////////////////////////////////////