



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
UNIDAD PROFESIONAL TICOMAN



**INGENIERIA AERONAUTICA**

**SEMINARIO DE TITULACIÓN**

**“ADMINISTRACION DE LA PRODUCCION EN EL  
MANTENIMIENTO DE AERONAVES”**

**“IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMA DE REMOCIÓN Y  
ENVÍO PROGRAMADO A TALLER DE LA FLOTA DE  
MOTORES CFM56”**

**PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO EN AERONAUTICA**

**P R E S E N T A:**

**Castelán Martínez Guillermo  
Chávez Maqueda Juan Antonio**

# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD TICOMÁN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO EN AERONÁUTICA  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN: SEMINARIO  
DEBERAN PRESENTAR: LOS CC. PASANTE:  
**CASTELÁN MARTÍNEZ GUILLERMO**  
**CHÁVEZ MAQUEDA JUAN ANTONIO**

**“IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMA DE REMOCIÓN Y ENVIÓ PROGRAMADO A TALLER DE LA FLOTA DE MOTORES CFM56”**

GLOSARIO DE TERMINOS Y ACRÓNIMOS  
INTRODUCCIÓN  
JUSTIFICACIÓN  
OBJETIVO  
CAPÍTULO I DETERMINACIÓN DEL TIPO DE REPARACIÓN  
CAPÍTULO II ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE REPARACIÓN  
CAPÍTULO III DETERMINACIÓN DEL PLAN DE REMOCIONES PROGRAMADAS  
CONCLUSIONES  
BIBLIOGRAFÍA

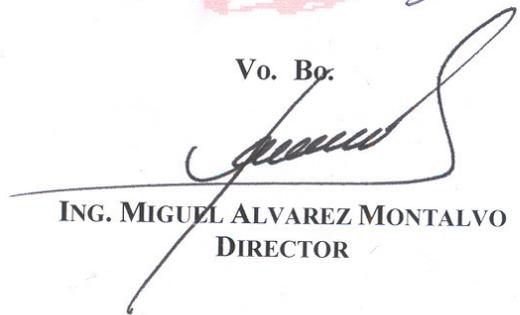
México, DF., a 31 de Octubre de 2008.

**A S E S O R E S**

  
M. EM C. PEDRO SANTAMARÍA BRIONES

  
ING. GEORGINA PATRICIA GARCIA RIVERA

Vo. Bo.

  
ING. MIGUEL ALVAREZ MONTALVO  
DIRECTOR



I. P. N.  
ESCUELA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIDAD TICOMÁN  
DIRECCIÓN



# ÍNDICE.

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS.....	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....	5
INTRODUCCIÓN.....	7
JUSTIFICACIÓN.....	7
OBJETIVO GENERAL.....	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
HIPÓTESIS.....	8
MARCO TEÓRICO.....	9
INTRODUCCIÓN-MOTOR CFM56.....	9
GENERAL.....	10
FAN Y COMPRESOR.....	10
COMPRESOR DE ALTA PRESIÓN (HPC).....	10
CÁMARA DE COMBUSTIÓN.....	11
TURBINA DE ALTA PRESIÓN. HPT.....	11
TURBINA DE BAJA PRESIÓN. LPT.....	11
CAJA DE ACCESORIOS.....	11
BALEROS PRINCIPALES DEL MOTOR.....	13
LOCALIZACIÓN DE SECCIONES DEL MOTOR.....	14
ESTACIONES AERODINÁMICAS.....	15
CAJA DE ENGRANES DE ACCESORIOS.....	16
FAN Y SPINNER DEL MOTOR.....	17
ALABES.....	17
FAMILIA DE MOTORES CFM-56 7B.....	18
ALCANCE.....	19
METODOLOGÍA.....	20
CAPÍTULO 1 “DETERMINACIÓN DEL TIPO DE REPARACIÓN”.....	22
1.1 INTRODUCCIÓN.....	23
1.2 NIVELES Y TIPOS DE REPARACIÓN.....	24
NIVEL MÍNIMO DE WORKSCOPE.....	24
NIVEL PARA RESTAURAR EL FUNCIONAMIENTO WORKSCOPE.....	24
EL NIVEL DE WORKSCOPE RESTAURACIÓN TOTAL.....	24
DECISIONES DE WORKSCOPE DEL MOTOR.....	25
1.3 LÍMITES DE VIDA DE PARTES CRÍTICAS.....	26
MÓDULO DEL FAN.....	26
MÓDULO DEL COMPRESOR DE ALTA PRESIÓN.....	27
MÓDULO DE LA TURBINA DE ALTA PRESIÓN.....	28
MÓDULO DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN.....	29
MÓDULO DEL MARCO DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN.....	30
1.4 DIRECTIVAS DE AERONAVEGABILIDAD Y BOLETINES DE SERVICIO.....	31
DEFINICIONES.....	31
CUMPLIMIENTO DE DIRECTIVAS DE AERONAVEGABILIDAD Y BOLETINES DE SERVICIO.....	31
CUMPLIMIENTO DE LOS BOLETINES DE SERVICIO.....	31
DIRECTIVAS DE AERONAVEGABILIDAD APLICABLES AL MOTOR CFM56.....	32
BOLETINES DE SERVICIO RECOMENDADOS PARA SU INCORPORACIÓN EN EL MOTOR CFM56.....	34
DEFINICIONES Y CLAVES UTILIZADAS EN LOS BOLETINES DE SERVICIO.....	34
1.5 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE REPARACIÓN.....	38
MÓDULO MAYOR DEL FAN.....	39
MÓDULO DEL FAN & BOOSTER.....	40
MÓDULO DEL SOPORTE DE LOS BALEROS No1 & No2.....	41
MÓDULO DE LA CUBIERTA Y MARCO DEL FAN.....	42
MÓDULO DE ENTRADA DE LA CAJA DE ENGRANES.....	43
MÓDULO MAYOR DEL FAN.....	44
MÓDULO MAYOR DEL COMPRESOR DE ALTA (HPC).....	48
MÓDULO ROTOR DEL COMPRESOR DE ALTA.....	49
MÓDULO DELANTERO DE LA CUBIERTA DEL COMPRESOR DE ALTA.....	50
MÓDULO DE LA CUBIERTA TRASERA DEL COMPRESOR DE ALTA.....	51
MÓDULO MAYOR DEL COMPRESOR DE ALTA(HPC).....	52
MÓDULO DE COMBUSTIÓN.....	54
MÓDULO DE LA CUBIERTA DE COMBUSTIÓN.....	55



COMBUSTOR ANULAR INDIVIDUAL .....	56
COMBUSTOR ANULAR DUAL .....	57
MODULO DE COMBUSTION .....	58
MODULO DE LA TURBINA DE ALTA PRESIÓN .....	59
MODULO DE LAS BOQUILLAS DE LA TURBINA DE ALTA PRESIÓN .....	59
MODULO DEL ROTOR DE LA TURBINA DE ALTA PRESIÓN .....	60
MODULO DEL SOPORTE Y DE LA BQUILLA No1 DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN .....	61
MODULO DE LA TURBINA DE ALTA PRESIÓN .....	62
MODULO MAYOR DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN .....	63
MODULO DEL ROTOR Y DEL ESTATOR DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN .....	64
MODULO DE LA FLECHA DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN .....	65
MODULO DEL MARCO DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN .....	66
MODULO DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN .....	67
MODULO DEL ROTOR Y DEL ESTATOR DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN .....	68
MODULO DE LA FLECHA DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN .....	69
<b>CAPITULO 2. “ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE REPARACIÓN.” .....</b>	<b>70</b>
2.1 MONITORES DEL RITMO DE VISITA A TALLER REPARADOR. ....	71
IMPACTO DEL RITMO DE VISITA A TALLER REPARADOR SOBRE EL COSTO DE MANTENIMIENTO DE LOS MOTORES. ....	73
2.2 DEFINICIÓN CAPACIDAD DE SOFT-TIME DE LOS MÓDULOS .....	75
COSTO DEL MANTENIMIENTO DEL MOTOR- SECCIÓN FRÍA. ....	75
COSTO DE MANTENIMIENTO DEL MOTOR- SECCIÓN CALIENTE: .....	77
RECOEMDACIONES DEL FABRICANTE “GENERAL ELECTRIC” .....	79
REGLAS DE APROBACIÓN PARA UN WORKSCOPE ESTÁNDAR .....	81
2.3 AMORTIZACIÓN DE PARTES LIMITADAS POR VIDA (LLPs) .....	83
2.4 IMPACTO DE LAS PARTES LIMITADAS POR TIEMPO DE VIDA SOBRE EL COSTO DE MANTENIMIENTO DEL MOTOR. ....	85
2.5 ESCENARIOS .....	87
2.6 IMPACTO DEL PLAN DEL WORKSCOPE SOBRE EL COSTO DE MANTENIENDO DE LOS MOTORES Y AC IOC. ....	89
PLANEACIÓN DEL WORKSCOPE DEL CFM-56 .....	94
ESTADO DE LOS MÓDULOS DEL MOTOR CFM-56 (CICLOS) .....	97
OPTIMIZACIÓN DE COSTO DE MANTENIMIENTO DE MOTOR .....	98
2.7 DIRECCIÓN DE LA FLOTA. ....	99
<b>CAPITULO 3 “DETERMINACIÓN DEL PLAN DE REMOCIONES PROGRAMADAS.” .....</b>	<b>102</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	103
3.2 DETERMINACIÓN DE LA FLOTA DE MOTORES .....	104
3.3         CALCULO DEL NÚMERO DE RESERVAS .....	106
3.4 PROYECCIÓN DE VENCIMIENTO DEL <i>SOFT-TIME</i> SIN ESCALONAMIENTO .....	107
3.5         PROYECCIÓN DE VENCIMIENTO DEL <i>SOFT-TIME</i> CON EL PLAN DE REMOCIONES ADELANTADAS	109
<b>CONCLUSIONES. ....</b>	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA. ....</b>	<b>116</b>



## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS.

Termino	Significado	
AGB	Accessory gearbox	Caja de accesorios
ATA	Air Transport Association	Asociación de transporte aéreo
Booster	Parte del fan que se encarga de acelerar el flujo para aumentar la velocidad.	
Boroscopio	Instrumento que se utiliza para la inspección de las distintas etapas de un turbo reactor	
Bypass	Que existe un flujo secundario	
Carter	Cavidad que por lo regular contiene aceite,(deposito)	
Durability	Durabilidad	
EFH	Engine flight hour	hora de vuelo del motor
EGT		temperatura de gases de escape
	Exhaust Gas Temperature	
EMP	Engine Managing plan	Plan de dirección del motor.
Hard-Time	Es el mantenimiento programado basado en limites fijos	
HDS	Horizontal drive shaft	Flecha horizontal
HMU	Unidad del Modulo Hidráulico	
HPC	High pressure compressor	Compresor de alta presión
HPT	High pressure turbine	Turbina de alta presión
IDG	Integrated drive generator	Generador
IGB	Inlet gear box	Caja de engranes interna
LLPs	Partes limitadas por tiempo	
LPC	Low pressure compressor	Compresor de baja presión
LPT	Low pressure turbine	Turbina de baja presión
MC	Maintenance Cost	Costo de mantenimiento
N2	Numero de revoluciones de la flecha que esta unida a el compresor y la turbina de alta presión	
On-Condition	Termino que se refiere a que los componentes se van a monitorear y no se dará algún límite de vida sino hasta encontrar alguna anomalía el componente será retirado.	
Overhaul	Mantenimiento mayor que se le realiza a los aviones a cierto tiempo de utilización.	
Performance	Desempeño ó desarrollo	
RDS	Radial drive shaft	Flecha radial
Reliability	Confiabledad	
Shaft	Flecha ó Eje	
Soft-Time	Periodo en el cual algún componente tiende a fallar.	
SVC	Promedio de costo de la visita a taller	
SVR	Velocidad de la visita a taller	
TGB	Transfer gear box	Caja de transferencia
Workscope	Especificaciones de Reparación	



## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.

Figura 1. Vista Principal del Motor.....	12
Figura 2. Baleros principales del Motor.....	13
Figura3. Secciones del Motor.....	14
Figura 4. Estaciones Aerodinámicas.....	15
Figura 5. Caja de Engranajes de Accesorios.....	16
Figura 6. Fan y Spinner.....	17
Tabla 0.1 Configuración de los motores CFM.....	18
Diagrama de decisiones de workscope del motor.....	25
Tabla 1.1 Modulo Del Fan.....	26
Figura 7. Modulo Del Fan.....	26
Tabla 1.2 Modulo del Compresor de Alta Presión.....	27
Figura 8 Modulo del Compresor de Alta Presión.....	27
Tabla 1.3 Modulo de la Turbina de Alta Presión.....	28
Figura 9. Modulo de la Turbina de Alta Presión.....	28
Tabla 1.4 Modulo De La Turbina De Baja Presión.....	29
Figura 10. Modulo De La Turbina De Baja Presión.....	29
Tabla 1.5 Modulo Del Marco de La Turbina De Baja Presión.....	30
Figura 11. Modulo Del Marco de La Turbina De Baja Presión.....	30
Tabla 1.6 Directivas de Aeronavegabilidad.....	33
Tabla 1.7 Boletines de Servicio.....	37
Figura 12 Modulo Del Fan.....	39
Figura 13. Modulo del Fan & Booster.....	40
Figura 14. Modulo del Soporte de los Baleros No1 & No2.....	41
Figura 15. Modulo de la Cubierta y Marco del Fan.....	42
Figura 16. Modulo de Entrada de la Caja de Engranajes.....	43
Trabajos Al Ensamble Del Modulo De Engranajes.....	45
Diagramas . Trabajos a Efectuarse en los Módulos Mayores.....	47
Figura 17- Modulo Mayor Del Compresor De Alta (HPC).....	48
Figura 18. Modulo Rotor del Compresor de Alta.....	49
Figura 19 Modulo Delantero De La Cubierta Del Compresor De Alta.....	50
Figura 20. Modulo de la Cubierta Trasera del Compresor de Alta.....	51
Tabla 1.8 Trabajos a efectuarse en el modulo mayor del compresor de alta (HPC).....	53
Figura 21. Modulo de Combustión.....	54
Figura 22 Modulo De La Cubierta De Combustión.....	55
Figura 23. Combustor Annular Individual.....	56
Figura 24. Combustor Annular Dual.....	57
Tabla 1.9. Trabajos a efectuarse en el modulo de Combustión.....	58
Figura 25 Modulo De Las Boquillas De La Turbina De Alta Presión.....	59
Figura 26 Modulo Del Rotor De La Turbina De Alta Presión.....	60
Figura 27. Modulo del soporte y de la Barquilla No1 de la Turbina de Baja Presión.....	61
Tabla 1.10 Trabajos a efectuarse en el modulo de la turbina de lata presión.....	62
Figura 28. Modulo Mayor de la Turbina de Baja Presión.....	63
Figura 28. Modulo del Rotor y del Estator de la Turbina de Baja Presión.....	64
Figura 29. Modulo de la Flecha de la Turbina de Baja Presión.....	65
Figura 30. Modulo del Marco de la Turbina de Baja Presión.....	66
Figura 31. Modulo de la Turbina de Baja Presión.....	67
Figura 32. Modulo del Rotor y del Estator de la Turbina de Baja Presión.....	68
Figura 33. Modulo de la Flecha de la Turbina de Baja Presión.....	69
Figura 2.1 Impacto del ritmo de visita sobre el costo de manteniendo.....	72
Figura 2.2 Velocidad de visita básica a taller de los CFM56 – Roll de 12 meses.....	74
(Misma cantidad de Horas/Ciclos).....	74
Figura 2.3 MS vs. MMC Sección fría.....	76
Figura 2.4 MS vs. MMC Sección caliente.....	78
Tabla 2.1 Acciones A recomendadas para el mantenimiento de los motores CFM 56.....	79
Tabla 2.2 Acciones B recomendadas para el mantenimiento de los motores CFM 56.....	80
Tabla 2.3 Acciones C recomendadas para el mantenimiento de los motores CFM 56.....	80
Diagrama 2.1 regla de aprobación.....	82



Tabla 2.4 Amortización por LLPs .....	83
Tabla 2.5 Amortización de las LLPs para un motor CFM.....	84
Tabla 2.6 Amortización estándar.....	84
Tabla 2.7 partes limitadas por límite de vida específica y los ciclos para un motor CFM .....	86
Figura 2.5 Escenarios .....	87
Tabla 2.6 CFM WORKSHEET .....	88
Tabla 2.7 Tendencias de cambios relativos en EGT, Wf y N2.....	90
Tabla 2.8 Tiempos CFM56.....	91
Tabla 2.9 Soft- Time común de los módulos del motor CFM 56.....	92
Tabla 2.10 Costo por visita a taller.....	92
Figura 2.6 Escenario Numero 1.....	93
Tabla 2.11 Planeación del Workscope del CFM-56 .....	95
Tabla 2.12 Velocidad de envío a taller (SVR).....	96
Tabla 2.13 Estado, Umbrales y Costo promedio del reacondicionamiento de la flota CFM-56.....	97
Figura 2.7 Estado de los módulos del motor CFM-56 (Ciclos).....	97
Figura 2.8 Dirección de la flota.....	100
Tabla 3.1. Flota de Motores.....	104
Tabla 3.2. Proyección de vencimiento de soft-time sin escalonamiento Cont.....	107
Tabla 3.3. Proyección de vencimiento de soft-time con escalonamiento .....	110
Tabla 3.4. Proyección de vencimiento de soft-time con escalonamiento para la segunda visita a taller. ....	112

## INTRODUCCIÓN

### JUSTIFICACIÓN

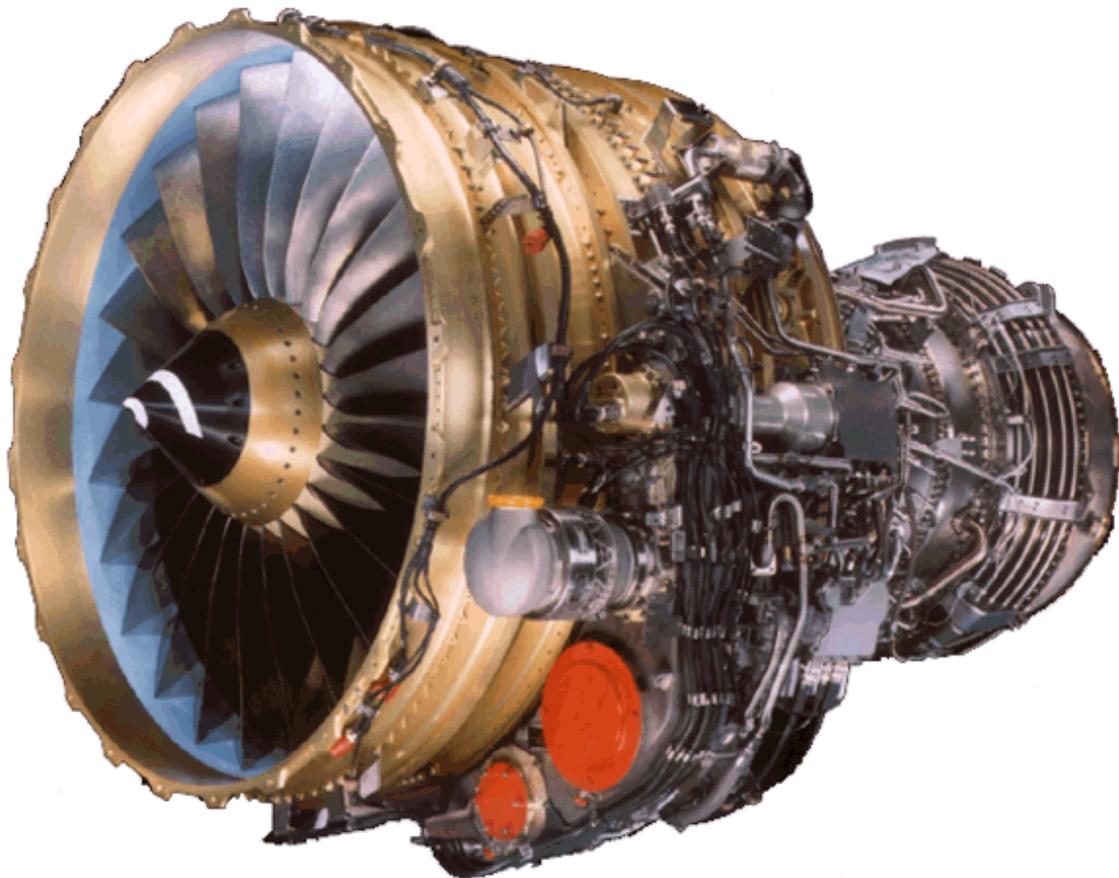
En base a la experiencia de los operadores y los estudios que a lo largo de la historia de la aviación, nos damos cuenta que, los costos resultantes de la operación y mantenimiento de los motores son significantes.

Por lo que una reducción en estos gastos que al fin y al cabo son necesarios para poder mantener operativo un avión, son de gran importancia para la compañía que tienen a su disposición los motores (operador).

Ahora bien, este estudio se enfocara en hacer hincapié de los ahorros que pudieran resultar de realizar una planeación óptima de remoción y envío a talleres de reparación a la flota de motores.

Ya que en base a estudios similares podemos ver que los operadores que no tienen una planeación de remoción de motores optimizada, regularmente tiene un tiempo de envío a taller 54% mas corto que los que cuentan con este plan. Lo que le resulta en un incremento de relativo del costo de operación de aproximadamente \$36 dólares, por hora de vuelo.

Aparentemente no es considerable, pero si se hacen los cálculos correspondientes podemos ver que: el incremento de una visita a taller promedio es de \$400,000 dólares.





## OBJETIVO GENERAL

Realizar el programa de remoción y envío programado a taller de la flota de motores CFM56 para optimizar su mantenimiento preventivo.

## OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Determinar las condiciones optimas para la remoción y el envío programado de los motores a taller.
2. Analizar los costos del mantenimiento y operación de un motor describiendo las posibles áreas de oportunidad para la generación de ahorros.
3. Proyectar los movimientos de remoción y envío programado de la flota de motores CFM56.

## HIPOTESIS

La realización un plan de remociones programadas utilizando un sistema de escalonamiento nos permitirá asegurar que, al vencimiento del tiempo de remoción propuesto del motor para envío a taller para reparación (Soft-Time) para los motores CFM56 de la flota, no se tengan efectos adversos en la operación por falta de motores de reserva.



## MARCO TEORICO

### INTRODUCCIÓN-MOTOR CFM56

El motor tiene como propósito proporcionar el empuje necesario al avión; así como también proporcionar la energía necesaria a los siguientes sistemas:

- \* Eléctrico.
- \* Hidráulico.
- \* Neumático.

Abreviaciones y acrónimos:

* AGB	Accessory gearbox	Caja de accesorios
* HDS	Horizontal drive shaft	Flecha horizontal
* HPC	High pressure compressor	Compresor de alta presión
* HPT	High pressure turbine	Turbina de alta presión
* IDG	Integrated drive generator	Generador
* IGB	Inlet gear box	Caja de engranes interna
* LPC	Low pressure compressor	Compresor de baja presión
* LPT	Low pressure turbine	Turbina de baja presión
* RDS	Radial drive shaft	Flecha radial
* TGB	Transfer gear box	Caja de transferencia



## GENERAL.

El CFM56-7 es un motor turbo fan de flujo axial de alto bypass. El diámetro del fan es de 61 pulgadas 1.55 metros y el peso bruto del motor es de 5257 libras 2385 kilogramos.

El motor para su mejor comprensión se divide en las siguientes secciones:

- Fan y compresor
- Compresor de alta presión
- Compresor de baja presión
- Cámara de combustión
- Turbina de alta presión
- Turbina de baja presión
- Caja de accesorios

El rotor del fan y el booster (acelerador) así como el rotor de LPT están conectados por la misma flecha (flecha de baja presión) por lo que giran a la misma velocidad N1.

En cambio el rotor de HPC y el rotor de HPT están unidos por la misma flecha (flecha de alta presión) estos giran a la misma velocidad N2.

## FAN Y COMPRESOR.

El fan y el compresor constan de 4 etapas.

El fan incrementa la velocidad del aire .después un divisor divide el flujo del aire en dos. Primario y secundario.

El flujo primario va directamente al interior del motor, exactamente al compresor en esta etapa el aire incrementa su presión y es enviado al HPC.

El flujo de aire secundario es enviado dentro del ducto del fan produciendo cerca del 80 por ciento del empuje total del motor durante el despegue.

## COMPRESOR DE ALTA PRESIÓN (HPC).

El compresor de alta presión es un compresor de 9 etapas. Este incrementa la presión del aire desde el compresor de baja y lo envía a la cámara de combustión, el compresor de alta HPC provee de presión al sistema neumática y al sistema de aire del motor.



## **CÁMARA DE COMBUSTIÓN.**

En la cámara de combustión se mezcla el aire que proviene del compresor con el combustible que sale de los atomizadores de combustible. Esta mezcla de aire combustible arde dentro de la cámara de combustión para incrementar la temperatura de la mezcla. Los gases calientes entonces pasan a la turbina de alta presión HPT.

## **TURBINA DE ALTA PRESIÓN. HPT**

La HPT es una turbina de una sola etapa. Esta transforma la energía de los gases calientes a energía mecánica, esta turbina utiliza la energía mecánica para girar la flecha que a su vez gira al compresor de alta y además girar la caja de accesorios.

## **TURBINA DE BAJA PRESIÓN. LPT**

La LPT es una turbina de cuatro etapas. También transforma la energía de los gases calientes en energía mecánica, y esta energía la utiliza para girar la flecha la cual a su vez hace girar al compresor de baja presión y al fan.

## **CAJA DE ACCESORIOS.**

La caja de transferencia contiene los siguientes componentes:

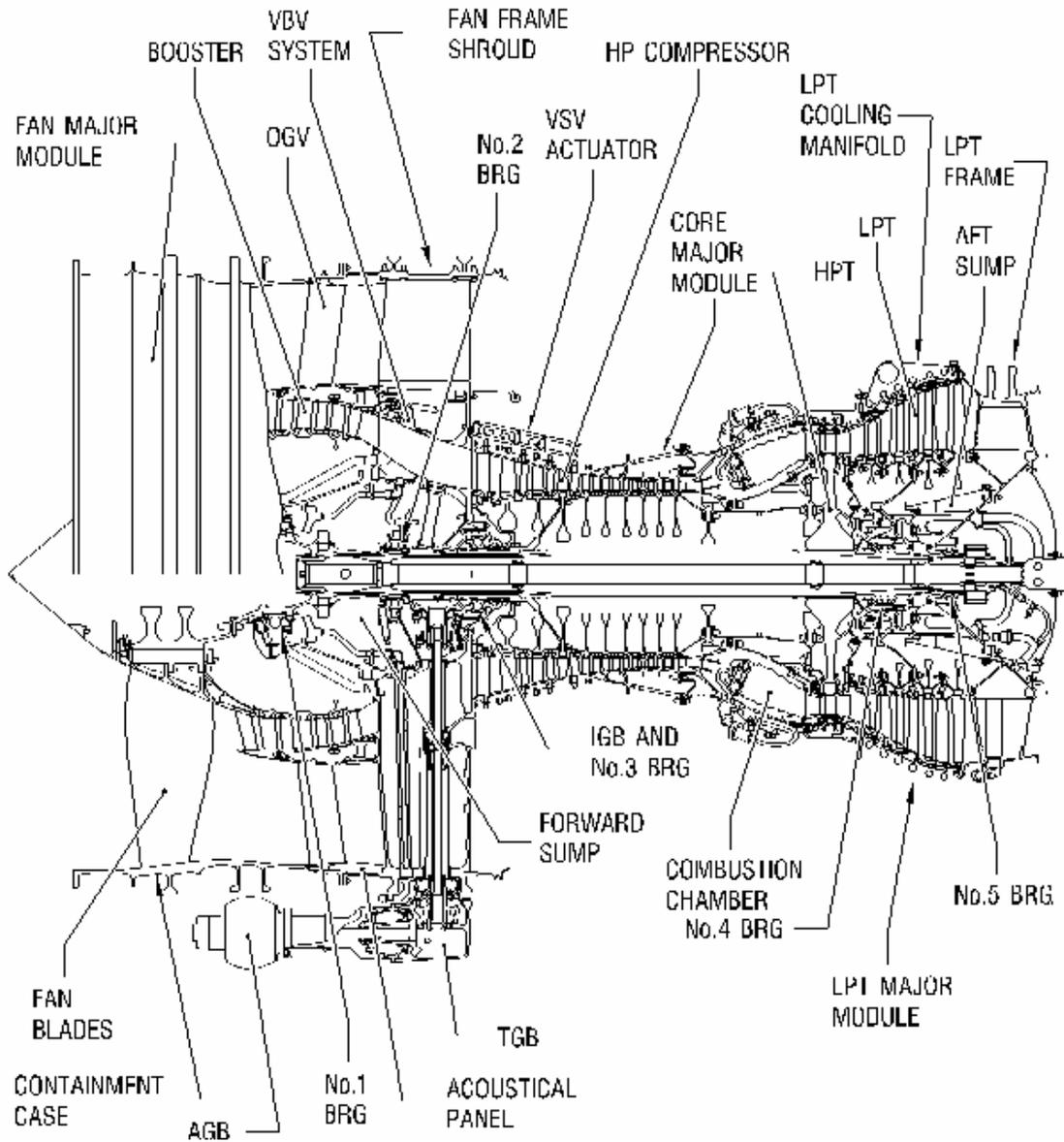
- IGB
- RDS
- TGB
- HDS
- AGB

La flecha N2 hace girar a la AGB a través del intercambio de movimientos de las flechas y engranajes de cambio:

- IGB
- RDS
- TGB
- HDS

La AGB mantiene y opera los accesorios de la aeronave y los accesorios del motor.

Figura 1. Vista Principal del Motor



## BALEROS PRINCIPALES DEL MOTOR.

Son 5 los baleros que sujetan las flechas N1 y N2, los números del 1 al 5 identifican los baleros del motor, los baleros esféricos absorben las cargas axiales y radiales de las flechas y los baleros de rodillos absorben solo las cargas radiales de las flechas.

Estos baleros principales del motor se encuentran en dos cavidades del carter, estas cavidades a su vez se localizan dentro de los carters delantero y trasero del motor.

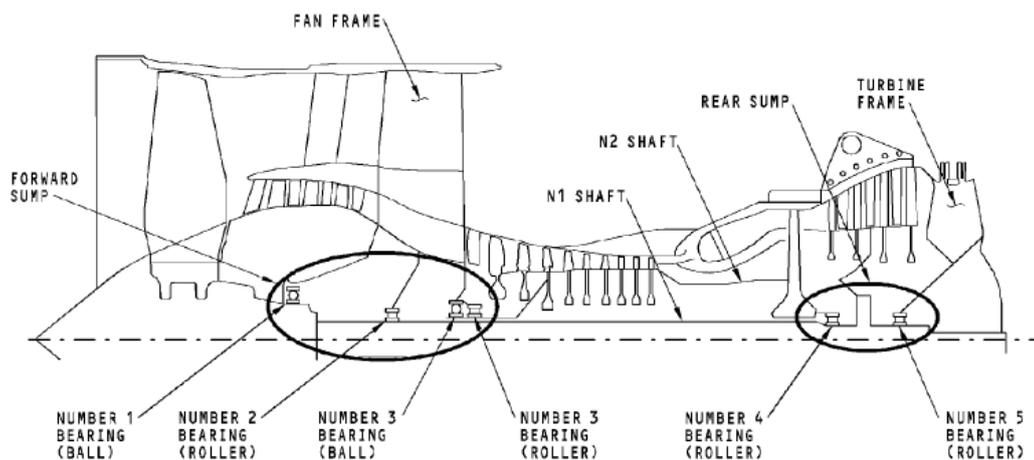
Los baleros 1 y 2 sujetan el frente de la flecha N1.

Un balero de esfera y un balero de rodillo se encuentran dentro de el ensamble del balero numero 3 ambos baleros de ensamble 3 sujetan el frente de la flecha N2.

El balero numero 4 sujeta la parte trasera de la flecha N2

Por ultimo el balero 5 sujeta la parte trasera de la flecha N1

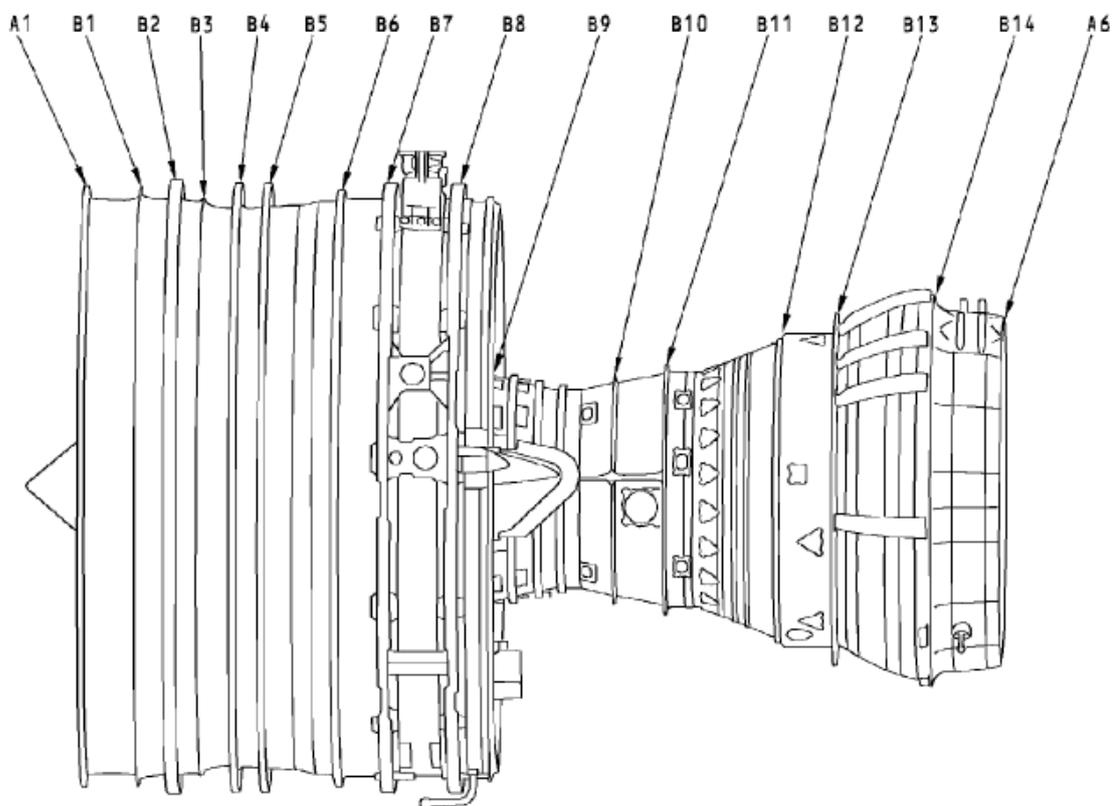
Figura 2. Baleros principales del Motor



## LOCALIZACIÓN DE SECCIONES DEL MOTOR.

El motor está dividido en 16 secciones transversales. Estas secciones están identificadas alfanuméricamente. Estas secciones contienen varios accesorios y componentes del motor. La designación alfanumérica se usa para poder encontrar la posición de los componentes del motor.

Figura3. Secciones del Motor

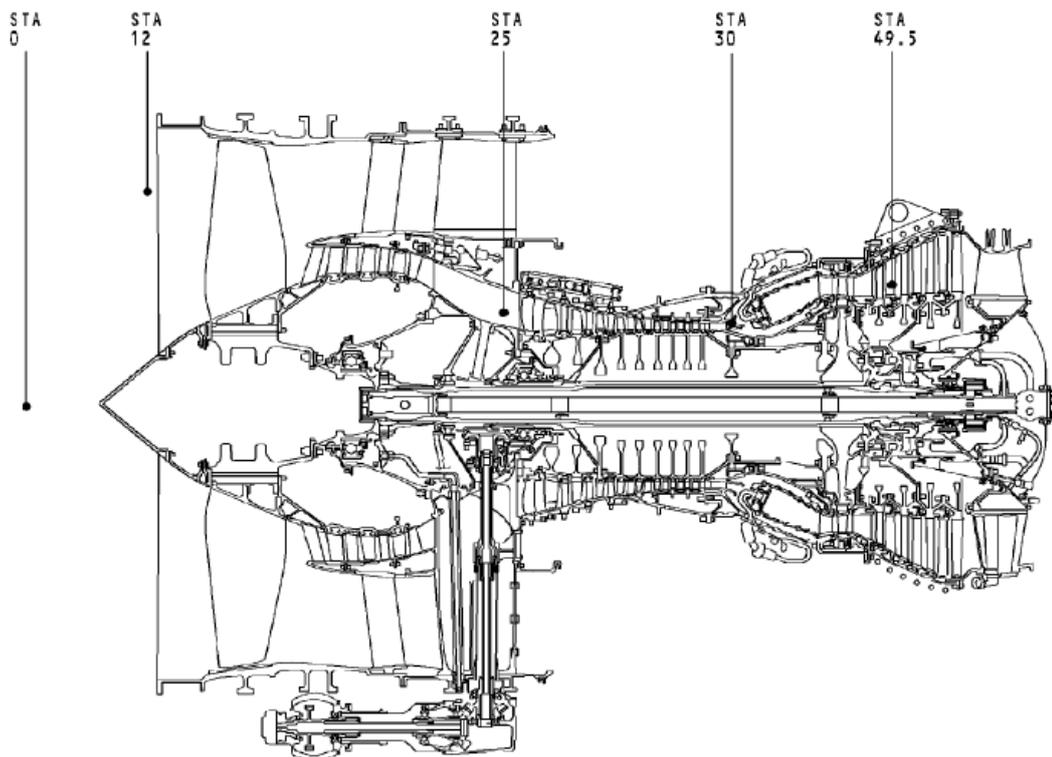


## ESTACIONES AERODINÁMICAS.

Al lo largo de recorrido del aire existen probetas y sensores que registran las condiciones del flujo con la finalidad de mantener controlado el proceso del mismo a través del motor. El motor esta dividido en las siguientes estaciones aerodinámicas:

- Estación 0 (aire del medio ambiente)
- Estación 12 (entrada del fan)
- Estación 25 (entrada del compresos de de alta presión)
- Estación 30 (descarga del compresor de alta presión)
- Estación 49.5 (segunda etapa estator de la turbina de baja presión)

Figura 4. Estaciones Aerodinámicas



## CAJA DE ENGRANES DE ACCESORIOS.

La caja de engranes de accesorios AGB esta ubicada del lado del motor. Sobre la caja de entrada del fan. La AGB envía torque desde el rotor de N2 a través de los engranes para hacer girar los accesorios del motor y del avión. Hay unidades lineales reemplazables. Para tener acceso a los accesorios y a la AGB solo es necesario abrir la cubierta del fan izquierdo.

Localización de los accesorios.

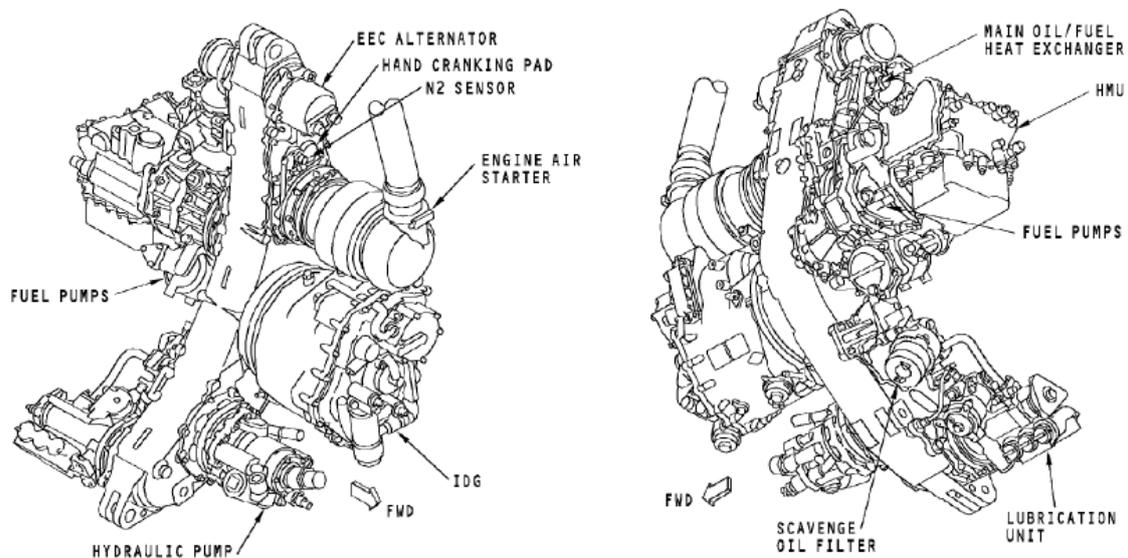
Los siguientes accesorios del motor y del avión están localizados al frente de AGB:

- Alternador de la computadora del Motor (EEC)
- El sensor del paquete de Alta Presión (N2)
- La marcha de Aire del Motor
- Generador Integrado (IDG)
- Hydraulic pump

Y los siguientes accesorios están localizados en la parte posterior del motor:

- La bomba del combustible, los intercambiadores de calor del aceite/combustible y el HMU
- El Puerto de Lubricación
- El filtro de descarga de aceite

Figura 5. Caja de Engranes de Accesorios



## FAN Y SPINNER DEL MOTOR.

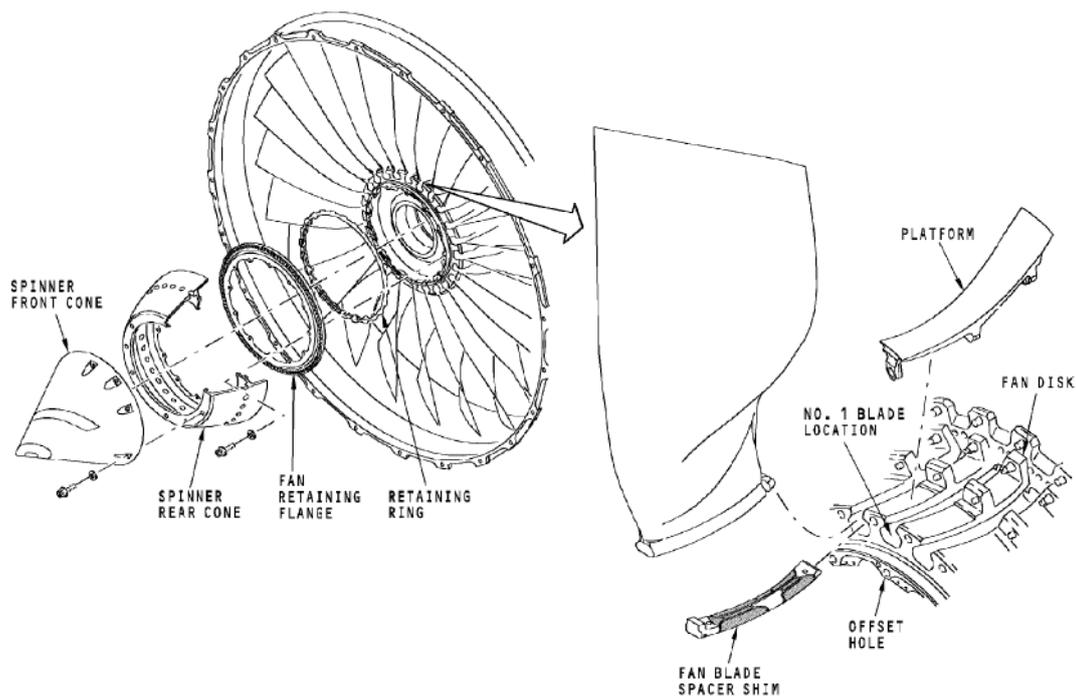
Conos spinners (delantero y trasero).

El spinner delantero y el trasero son carenados aerodinámicos los cuales direccionan la admisión del flujo de aire.

## ALABES.

Hay 24 alabes de cuerda ancha de titanio. Una calza del espaciador debajo de cada alabe la sostiene en la posición radial correcta. Las plataformas entre las láminas hacen la circulación de aire suave. El borde retenedor del fan y el anillo de retención sujetan los tiras de alabes y las plataformas del espaciador de los alabes.

Figura 6. Fan y Spinner





**FAMILIA DE MOTORES CFM-56 7B**

- CFM-56 XXXX/YY
- CFM-56 Identificación básica de los motores construidos por CFM
- XXXX Identificación básica del modelo: Estructura, grado de empuje, modelo de motor.
- YY Opciones De Identificación: Mayores Opciones De Identificación Y Rangos Especiales, Operaciones Especiales Con El Mismo Empuje De La Placa De Identificación.
- Para los motores CFM56-7 7BXX
- Modelo del motor -7XXX
- Estructura Boeing 7BXX
- Clase de empuje 19.5K -7B18 20.6K -7B20 22.4K -7B22 24.2K -7B24 26.3K -7B26 27.3K -7B27
- Opciones /XX /2 doble cámara de combustión anular
- Rangos especiales: BX. La B significa que el rango es el mismo solo que hay pequeñas diferencias especiales así B1 primer grado especial, B2 segundo grado especial y por ultimo B3 tercer grado especial

Aircraft Thrust (nameplate)	-600	-700	BBJ	-800	-900
19,500	7B18				
20,600	7B20 7B20/2 7B20/2	7B20			
22,400	7B22 7B22/2 7B22/2 7B22/B1 7B22/2B1	7B22			
24,200		7B24 7B24/2 7B24/B1 7B24/2B1 (7B26 TBD) (7B26/2 TBD)	7B24/2	7B24 7B24/2	7B24
26,300			7B26/B1	7B26 7B26/2 7B26/2	7B26
27,300 rate tem			7B27/B3  7B27/B2	7B27 7B27/2 7B27/2  7B27/B1 7B27/2B1	7B27  7B27/B1 7B27/2B1

Tabla 0.1 Configuración de los motores CFM



## **ALCANCE**

**El Programa de remoción y envío programado a taller de la flota de motores CFM56 que se desarrollara, será únicamente considerando las remociones programados de los motores CFM 56 que se operan en una flota de Aviones Boeing 737-700/800 asumiendo los tiempos de avión en tierra por la aplicación de Mantenimiento Programado bajo las premisas de operación descritas en los capítulos que comprenden este trabajo, en un periodo que va del 2008 al 2014. La determinación del tipo de reparación y el contenido completo de este trabajo tendrán que ser considerados solo como Recomendaciones que en ningún momento intentan reemplazar políticas o prácticas propias de una empresa.**



## METODOLOGÍA.

En esta tesina utilizaremos el método empírico-analítico ya que en la industria aérea no existe una fórmula que nos diga como poder reducir costos, ni tampoco existen métodos que satisfagan a todos los que utilizan aviones. Los procesos, técnicas, planes, y demás herramientas para poder dirigir organizar y eficientar las operaciones que conlleva una línea aérea, dependerán del tamaño de flota, tipo de aeronaves, y muchos otros factores que solo se visualizan a través del tiempo y la experiencia de cada usuario.

Por eso mismo utilizamos el método empírico-analítico.

**Método empírico-analítico:** El método empírico-analítico o método empírico es un modelo de investigación científica, que se basa en la lógica empírica y que junto al método fenomenológico es el más usado en el campo de las ciencias sociales y en las ciencias descriptivas. El término empírico deriva del griego antiguo (Aristóteles utilizaba la reflexión analítica y el método empírico como métodos para construir el conocimiento) de experiencia, ἐμπειρία, que a su vez deriva de ἐν (en) y πειρα (prueba): en pruebas, es decir, llevando a cabo el experimento. Por lo tanto los datos empíricos son sacados de las pruebas acertadas y los errores, es decir, de experiencia. Su aporte al proceso de investigación es resultado fundamentalmente de la experiencia. Estos métodos posibilitan revelar las relaciones esenciales y las características fundamentales del objeto de estudio, accesibles a la detección senso-perceptual, a través de procedimientos prácticos con el objeto y diversos medios de estudio. Su utilidad destaca en la entrada en campos inexplorados o en aquellos en los que destaca el estudio descriptivo.

### Características

Es un método fáctico: se ocupa de los hechos que realmente acontecen.

Se vale de la verificación empírica: no pone a prueba las hipótesis mediante el mero sentido común o el dogmatismo filosófico o religioso, sino mediante una cuidadosa contrastación por medio de la percepción.

Es auto correctivo y progresivo (a diferencia del fenomenológico). La ciencia se construye a partir de la superación gradual de sus errores. No considera sus conclusiones infalibles o finales. El método está abierto a la incorporación de nuevos conocimientos y procedimientos con el fin de asegurar un mejor acercamiento a la verdad

### Pasos generales del método empírico-analítico

- 1) Identificación de un problema de investigación.
  - El problema en nuestro caso radica en que los costos de mantenimiento de los motores resultan muy grandes ya que es una de las partes mas criticas dentro del toda la aeronave, no es lo mismo que falle el aire acondicionado del avión a que falle uno o ambos motores en vuelo. Por estas razones se lleva un estricto control en las partes que conforman al motor, existen partes que aun que estén funcionando correctamente, se tienen que cambiar debido a que por estadística se ha deducido que después de cierto tiempo de uso tienden a fallar, Existen otras mas que su control es un poco menos estricto pero no menos importantes. Esto sumado a todos los procesos de control del motor resulta en una suma bastante grande de dinero que se debe de invertir para tener el motor aeronavegable y seguro.



2) Formulación de hipótesis.

- Nosotros proponemos que si podemos controlar el ritmo de envío a taller de la flota de motores CFM56 podremos reducir el costo de mantenimiento de los mismos, ya que al prolongar solo un poco el tiempo de envío. Podremos ahorrar una buena cantidad de recursos económicos.

3) Prueba de hipótesis.

- A lo largo de este estudio podremos observar los resultados obtenidos la realizar una serie de ajustes con respecto a la manera de llevar el control de los componentes del motor, nos damos cuenta de que esto conlleva a generar ahorros al propietario.

Nota: Sin hacer un sacrificio significativo de la confiabilidad del motor.

4) Resultados.

- Podemos observar que los ahorros son aproximadamente de \$36 dólares por hora de vuelo de cada motor, aparentemente no es mucho, pero si tenemos una flota de 66 aviones que vuelan un promedio de 10 horas diarias obtenemos un ahorro anual de toda la flota de:

**\$17, 344,800. Dólares.**

Creemos que vale la pena hacer un estudio como este.

- También podemos observar que de realizar este programa obtendremos un aumento de cada motor de \$400,000. Dólares lo que se traduce con la misma flota en:

**\$58, 800,000. Dólares.**



## CAPITULO 1 “DETERMINACIÓN DEL TIPO DE REPARACIÓN”



## 1.1 INTRODUCCIÓN

Las recomendaciones contenidas dentro de este capítulo no se crearon para alterar el concepto de mantenimiento “On-Condition” del motor CFM56-7B, pero si para optimizar el mantenimiento realizado durante cada visita al taller. Estas recomendaciones se dirigen hacia la mejora de los márgenes de las salidas de EGT, mejorando la durabilidad de los componentes del motor, así como la mejora de la confiabilidad del motor. Éstas son RECOMENDACIONES SOLAMENTE, y no se deben interpretar como requisitos adicionales a los actualmente aplicables por el plan de mantenimiento aprobado del operador.

El plan de mantenimiento y la determinación del tipo de reparación de aquí en adelante denominado “Workscope” del motor durante visita a taller se debe determinar por la condición real de los componentes en el motor, el nivel de funcionamiento antes de retiro del ala, y los ciclos acumulados en las piezas limitadas por vida. Para realizar el mantenimiento “On-condition”, se debe monitorear la tendencia del funcionamiento del motor instalado, y examinar sobre una base periódica para determinar cuando el motor debe ser quitado y ser reacondicionado.

Las recomendaciones de los umbrales de los controles y accesorios estas diseccionadas para ser usadas para planear las acciones de mantenimiento, y son determinadas utilizando la combinación de los conocimientos de la experiencia de la flota CFM-56 y la experiencia y necesidades específicas de la flota del operador.

El concepto de mantenimiento On-condition requiere que el motor instalado este siendo monitoreado con cierta tendencia e inspeccionarlos sobre una base regular para determinar el tiempo óptimo de retiro y reacondicionamiento. Los procedimientos y los límites para inspeccionar el motor instalado están en el manual del mantenimiento de aviones (AMM). Además, los procedimientos para inspeccionar los motores instalados para condiciones específicas se pueden proporcionar en los boletines de servicio (SB).

La meta de un mantenimiento “On condition” es maximizar el tiempo y ciclos que un motor pudiera realizar entre cada visita a taller. Varios factores determinan el tiempo entre el reacondicionamiento incluyendo: el tipo y el grado del Workscope en el reacondicionamiento anterior, los procedimientos de funcionamiento del motor, el ambiente en los cuales funciona el motor, tipo de motor y del empuje del motor. Controlando el tipo y el grado del Workscope en el reacondicionamiento es el área donde tiene mayor capacidad el operador de influenciar y de optimizar el tiempo / ciclos entre reacondicionamiento. El tiempo / ciclos entre el reacondicionamiento, así como el consumo combustible, es optimizado mediante el aseguramiento de que todos los componentes cumplan íntegramente los estándares dados en el manual del fabricante, los boletines de servicio, y haciendo hincapié en procedimientos de la restauración durante el reacondicionamiento de un motor.



## 1.2 NIVELES Y TIPOS DE REPARACIÓN

El nivel de Workscope que se realizará en un motor instalado en el taller depende de la causa del retiro, tiempo acumulado en los módulos del motor, observaciones en las condiciones del equipo, datos de tendencia en el retiro, y metas de las aerolíneas.

Existen tres niveles principales de Workscope cuando un motor es enviado a taller, mismos que se describen a continuación:

### NIVEL MÍNIMO DE WORKSCOPE.

Los motores enviados al taller de reparación que tienen un tiempo corto desde el último reacondicionamiento, suficiente margen de funcionamiento, y han sido removidos por una causa conocida. Puede tener este nivel de trabajo y de inspección realizados. Este nivel destaca un mantenimiento preventivo y ayuda a identificar si niveles de trabajo adicionales son necesarios.

### NIVEL PARA RESTAURAR EL FUNCIONAMIENTO WORKSCOPE

Para determinar si se requieren la realización del Workscope, se emplean las siguientes directrices:

- · Motores con bajo desempeño antes de la remoción
- · Motores con 10°C por debajo de los márgenes de EGT en prueba entrante
- · Causa para retiro

Para obtener el máximo tiempo entre los envíos a taller dando como resultado un decremento en el costo de hora de vuelo por motor. Se tiene que restaurar el núcleo completo del motor tanto el HPC como la HPT. La experiencia muestra que la realización de restauración sobre el fan y el compresor de baja ha limitado el impacto sobre resultados de restauración de funcionamiento de motor, revisión y reparación.

### EL NIVEL DE WORKSCOPE RESTAURACIÓN TOTAL

Este nivel de Workscope aplica cuando el modulo necesita ser desensamblado por las siguientes razones:

- Causa LLP
- Causa de remoción.

En este tiempo, todos los Boletines de Servicio prioritarios deberían ser cumplidos y Boletines de Servicio de opción de cliente evaluados. También, puede analizar la rentabilidad para sustituir al LLP, aunque en número de ciclos de vida no haya terminado.

## DECISIONES DE WORKSCOPE DEL MOTOR.

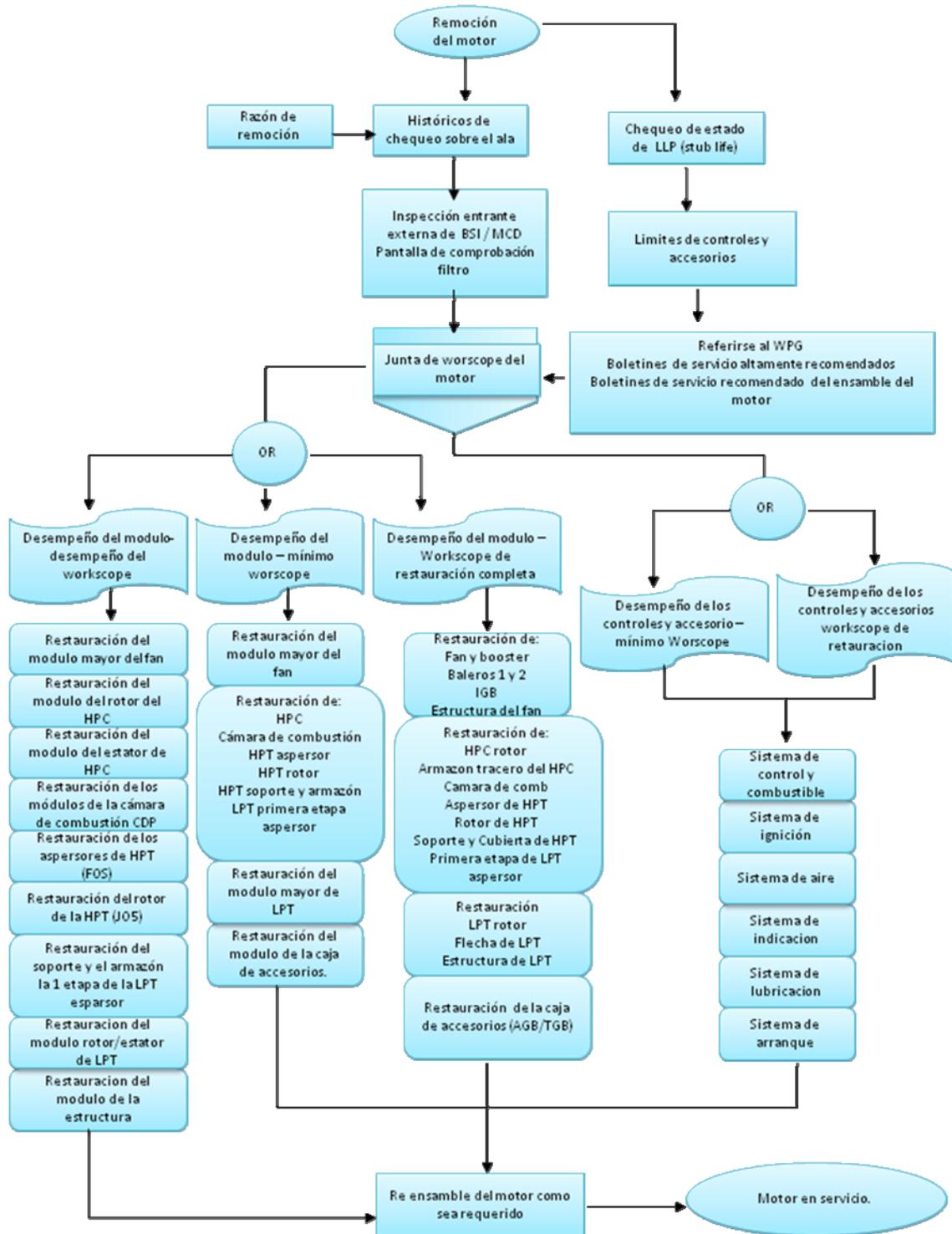


Diagrama de decisiones de workscope del motor.

### 1.3 LIMITES DE VIDA DE PARTES CRÍTICAS

Las partes limitadas por vida serán siempre uno de los parámetros que se debe de tener bajo estricto control ya que el vencimiento no previsto de alguna de estas, generara incumplimientos con las autoridades al poner el motor en condición aeronavegable, costos de mantenimiento no previstos, des abasto de motores de reserva y lo mas importante es que se pierde el grado de seguridad por lo que se pondría en riesgo la integridad física de los pasajeros, de lo anterior y entre otras razones a continuación se describen las partes limitadas por vida del Motor CFM56.

#### MODULO DEL FAN

	DESCRIPCION	NUMERO DE PARTE	LIMITE DE VIDA	ZONA
1	SPOOL BOOSTER	340-000-816-0	22900	
2	DISCO DE LA 1 ETAPA	340-000-410-0	17900	FAN
3	SHAFT- FAN	335-006-414-0	30000	

Tabla 1.1 Modulo Del Fan

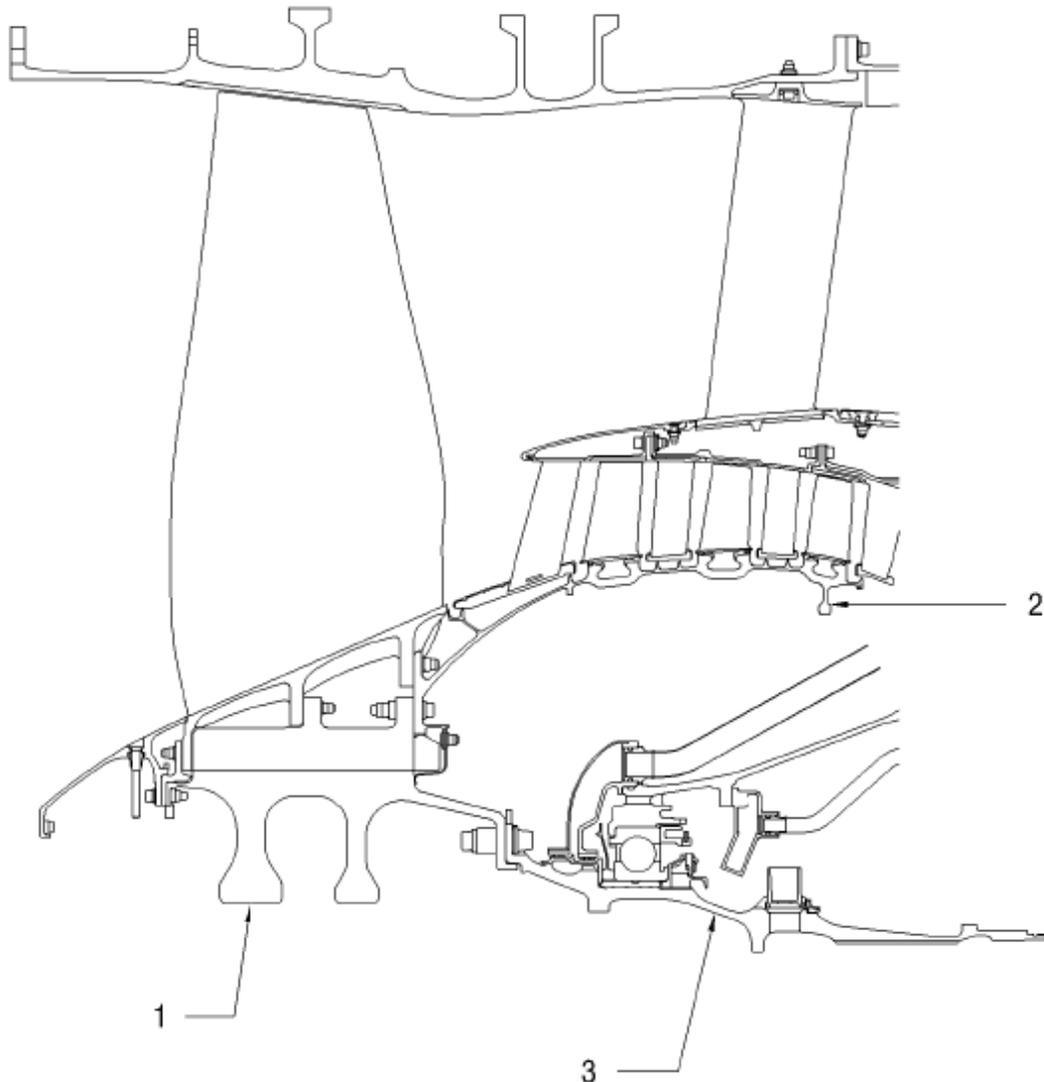


Figura 7. Modulo Del Fan

### MODULO DEL COMPRESOR DE ALTA PRESIÓN

	DESCRIPCION	NUMERO DE PARTE	LIMITE DE VIDA	ZONA
1	SHAFT- HPC	1386M56P03	20000	
2	SPOOL 1-2 ETAPA	1558M31G04	20000	
3	DISCO DE LA 3 ETAPA	1590M59P01	20000	HPC
4	SPOOL 4-9 ETAPA	1588M89G03	20000	
5	SELLO DE AIRE	1523M35P01	20000	

Tabla 1.2 Modulo del Compresor de Alta Presión

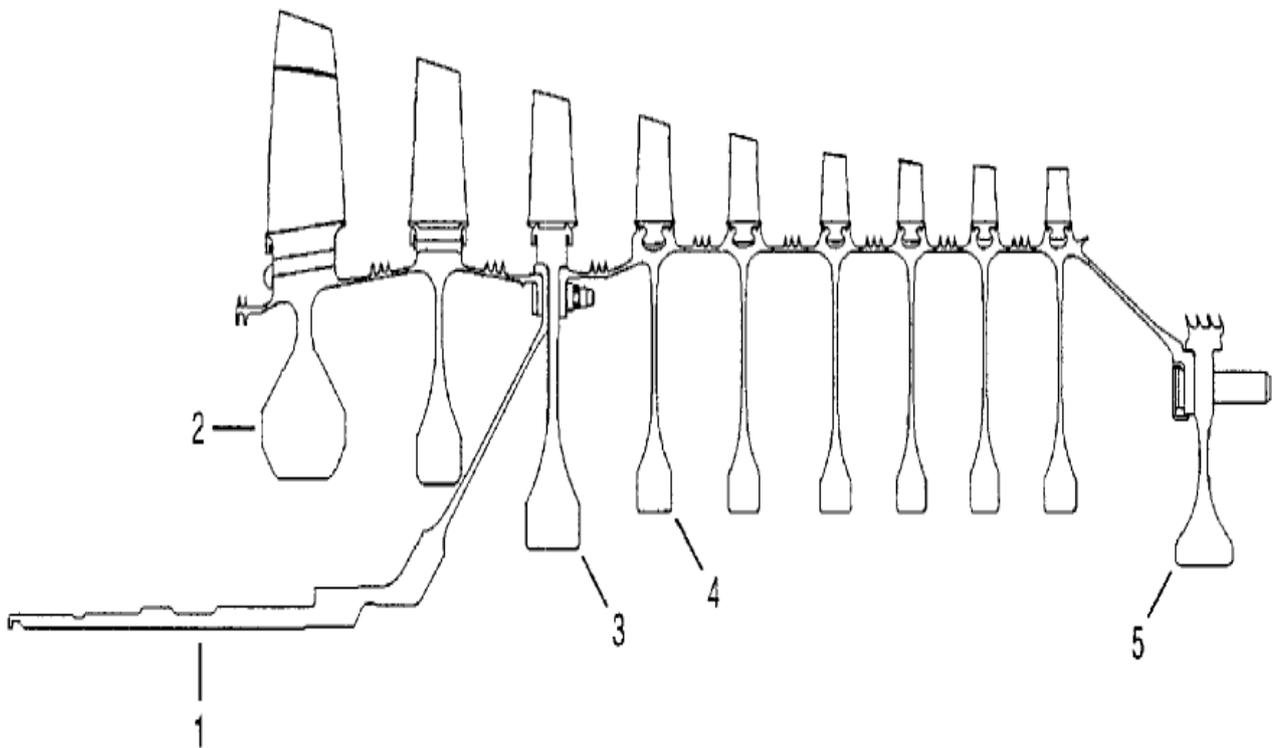


Figura 8 Modulo del Compresor de Alta Presión

## MODULO DE LA TURBINA DE ALTA PRESIÓN

	DESCRIPCION	NUMERO DE PARTE	LIMITE DE VIDA	ZONA
1	FLECHA DELANTERA	1873M73P01	20000	
2	SELLO DE AIRE DELANTERO	1795M36P02	19300	HPT
3	DISCO DE LA - HPT	1498M43P06	20000	
4	FLECHA TRASERA	1864M90P04	20000	

Tabla 1.3 Modulo de la Turbina de Alta Presión

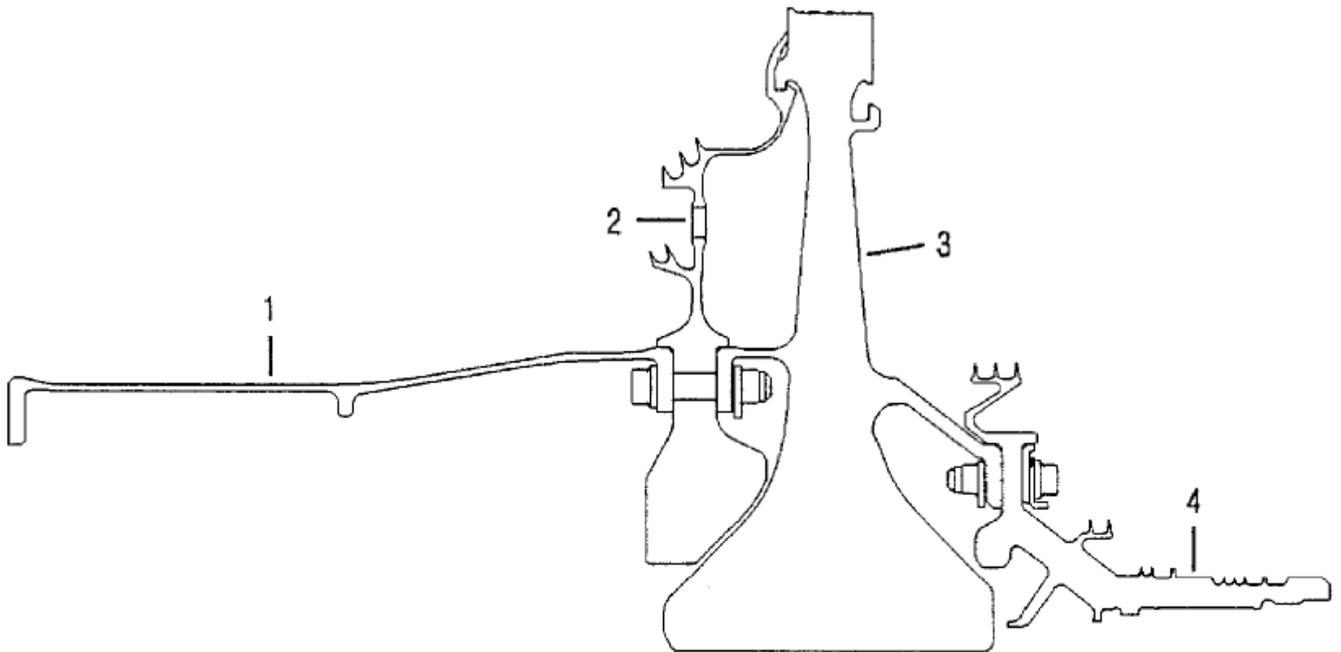


Figura 9. Modulo de la Turbina de Alta Presión

## MODULO DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN

	DESCRIPCION	NUMERO DE PARTE	LIMITE DE VIDA	ZONA
1	DISCO DE LA 1 ETAPA	336-001-804-0	25000	LPT
2	DISCO DE LA 2 ETAPA	336-001-909-0	25000	
3	DISCO DE LA 3 ETAPA	336-002-006-0	25000	
4	DISCO DE LA 4 ETAPA	336-002-105-0	25000	
5	SOPORTE CONICO	338-077-502-0	25000	
6	FLECHA-LPT	340-074-723-0	25000	

Tabla 1.4 Modulo De La Turbina De Baja Presión

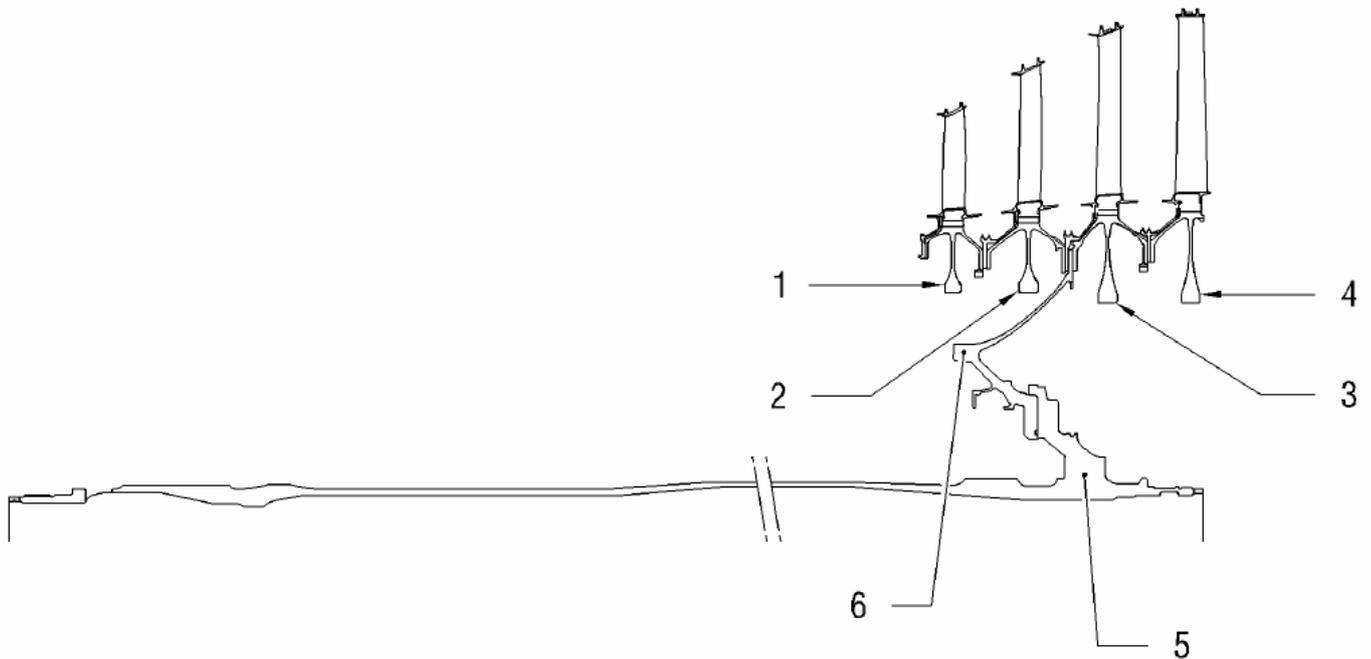


Figura 10. Modulo De La Turbina De Baja Presión

## MODULO DEL MARCO DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN

	DESCRIPCION	NUMERO DE PARTE	LIMITE DE VIDA	ZONA
1	MARCO-LPT	340-166-208-0	25000	LPT MARCO TRASERO

Tabla 1.5 Modulo Del Marco de La Turbina De Baja Presión

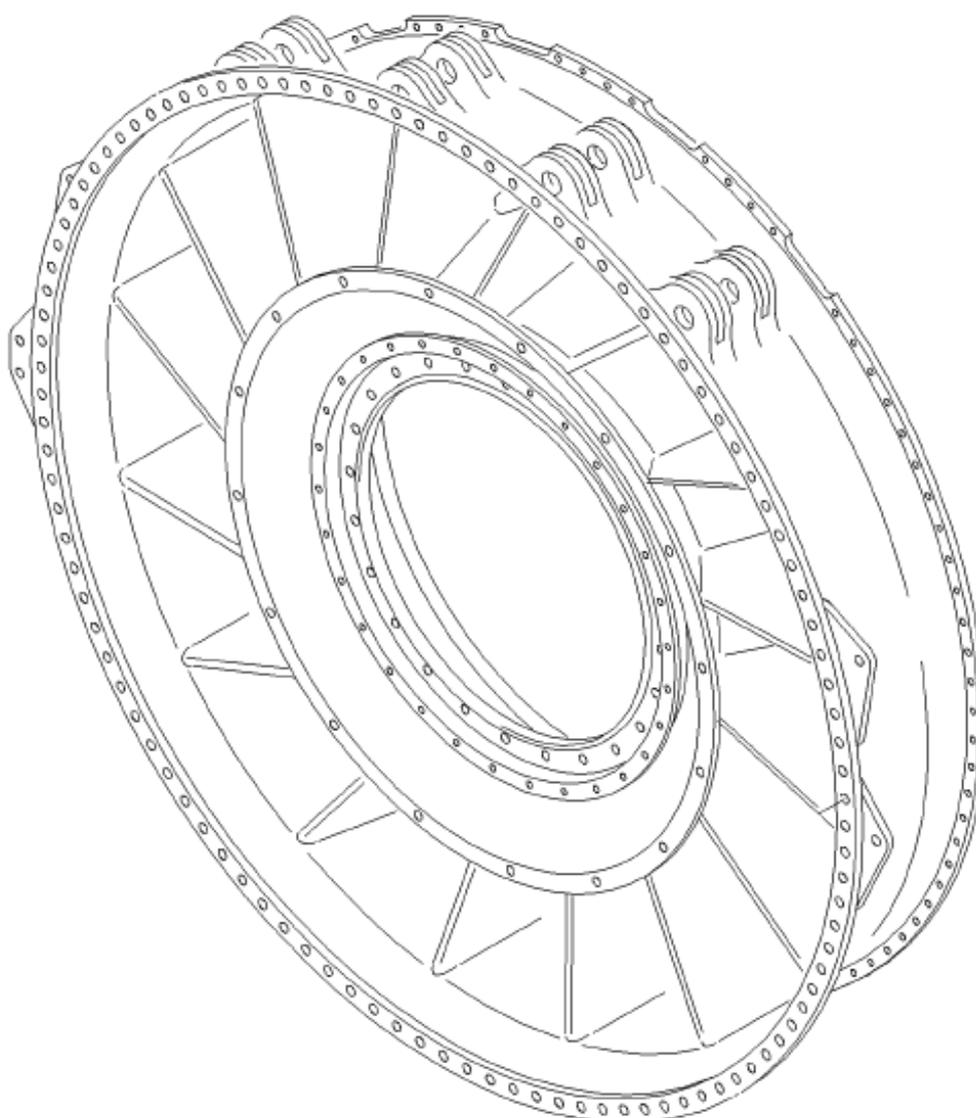


Figura 11. Modulo Del Marco de La Turbina De Baja Presión



## 1.4 DIRECTIVAS DE AERONAVEGABILIDAD Y BOLETINES DE SERVICIO

### DEFINICIONES

**Directiva de Aeronavegabilidad:** Documento de cumplimiento obligatorio expedido por la Autoridad Aeronáutica, agencia de gobierno u organismo acreditado, responsable de la certificación de aeronaves, motores, hélices y componentes que han presentado condiciones inseguras, mismas que pueden existir o desarrollarse en otros productos del mismo tipo y diseño. En dicho documento se prescriben inspecciones, condiciones y limitaciones bajo las cuales las aeronaves, motores, hélices y componentes referidos, pueden continuar operándose.

**Boletín de Servicio:** Documento emitido por la entidad responsable del diseño de tipo de cierta aeronave, componente o accesorio, mediante el cual se informan al concesionario, permisionario, operador aéreo o propietario de la aeronave, las acciones operacionales y/o de mantenimiento adicionales al programa de mantenimiento, las cuales pueden ser modificaciones, desde opcionales para mejorar las condiciones óptimas de operación de una aeronave hasta mandatorias para mantener la aeronavegabilidad de la misma.

**Estado responsable del diseño de tipo:** Autoridad del país donde el producto ha sido certificado y donde se encuentra registrado el titular del certificado de tipo, y que, como tal, es la responsable primaria de emitir información referente al mantenimiento de la aeronavegabilidad del producto en cuestión.

### CUMPLIMIENTO DE DIRECTIVAS DE AERONAVEGABILIDAD Y BOLETINES DE SERVICIO

Todos los concesionarios, permisionarios u operadores aéreos nacionales, deberán aplicar las Directivas de Aeronavegabilidad que afecten a las aeronaves que operen y/o a los componentes de éstas.

### CUMPLIMIENTO DE LOS BOLETINES DE SERVICIO.

Todos los concesionarios, permisionarios u operadores aéreos nacionales, deberán aplicar los Boletines de Servicio que afecten a las aeronaves que operen y/o a los componentes de éstas, conforme a lo señalado en los incisos contenidos en el presente numeral.

- a) Se deberán aplicar todos los Boletines de Servicio considerados como mandatorios por las entidades responsables del diseño de tipo correspondientes, que afecten a cualquier producto, dentro de los límites y plazos de cumplimiento especificados en el propio documento.
- b) Para aquellos Boletines de Servicio en los que el cumplimiento se dé por categorías, ya sea numérica o alfabética, se deberán aplicar todos aquellos Boletines de Servicio que marquen la primera o más alta categoría de cumplimiento, dentro de los límites y plazos de cumplimiento especificados en el propio documento.
- c) Para todos aquellos Boletines de Servicio que estén afectados por el cumplimiento de una Directiva de Aeronavegabilidad, indistintamente del cumplimiento que se marque en dicho Boletín, será obligatorio el cumplimiento de la Directiva de Aeronavegabilidad correspondiente, dentro de los límites y plazos especificados en la misma.



- d) Para aquellos Boletines de Servicio relativos al establecimiento de tiempos, ciclos o tiempo calendario entre revisiones generales de productos, así como límites e intervalos de tiempo, ciclos, tiempo calendario para retiro o revisión general de componentes, el cumplimiento de los mismos será de carácter mandatorio, indistintamente de la clase de cumplimiento que en esto se aplique y dentro de los límites e intervalos de tiempo que se especifiquen.

## DIRECTIVAS DE AERONAVEGABILIDAD APLICABLES AL MOTOR CFM56

Numero de AD	Descripción	Intervalo
2000-12-01	Inspección por pruebas no destructivas al disco y al sello de aire de la sección de la turbina de Alta (HPT)	En Primera oportunidad que se tenga acceso a la zona
2002-13-03	Inspección por Pruebas no destructivas a el disco del fan	Después de 100 ciclos cuando la parte este al nivel pieza
2002-13-03	Inspección por Pruebas no destructivas a la flecha del Fan	Después de 100 ciclos cuando la parte este al nivel pieza
2002-13-03	Inspección por Pruebas no destructivas a la flecha de la zona del compresor de alta (HPC)	Después de 100 ciclos cuando la parte este al nivel pieza
2002-13-03	Inspección por Pruebas no destructivas al spool de la interfase de la 1ra y 2da etapa de la zona del compresor de alta (HPC)	Después de 100 ciclos cuando la parte este al nivel pieza
2002-13-03	Inspección por Pruebas no destructivas al disco de la 3ra etapa de la zona del compresor de alta (HPC)	Después de 100 ciclos cuando la parte este al nivel pieza
2002-13-03	Inspección por Pruebas no destructivas al spool de la interfase de la 4ta y 9 etapa a la flecha de la zona del compresor de alta (HPC)	Después de 100 ciclos cuando la parte este al nivel pieza
2002-13-03	Inspección por Pruebas no destructivas del sello de aire de la zona del compresor de alta (HPC)	Después de 100 ciclos cuando la parte este al nivel pieza
2002-13-03	Inspección por Pruebas no destructivas del sello	Después de 100 ciclos cuando la parte este al nivel pieza



Numero de AD	Descripción	Intervalo
	de aire rotatorio de la zona de la turbina de Alta (HPT)	
2002-13-03	Inspección por Pruebas no destructivas al disco de la zona de la turbina de alta (HPT)	Después de 100 ciclos cuando la parte este al nivel pieza
2002-13-03	Inspección por Pruebas no destructivas al disco de la 1ra etapa de la turbina de baja (LPT)	Después de 100 ciclos cuando la parte este al nivel pieza
2002-13-03	Inspección por Pruebas no destructivas al disco de la segunda etapa de la turbina de baja (LPT)	Después de 100 ciclos cuando la parte este al nivel pieza
2002-13-03	Inspección por Pruebas no destructivas del disco de la 3ra etapa de la zona de la turbina de baja(LPT)	Después de 100 ciclos cuando la parte este al nivel pieza
2002-13-03	Inspección por Pruebas no destructivas del soporte cónico de la zona de la turbina de baja (LPT)	Después de 100 ciclos cuando la parte este al nivel pieza
2002-13-03	Inspección por Pruebas no destructivas a la flecha de la zona de la turbina de baja (LPT)	Después de 100 ciclos cuando la parte este al nivel pieza
2002-16-18	Introducción de una nueva y mejorada boquilla entre los segmentos de la 2da y 3ra etapa de la zona de la turbina de baja (LPT)	Antes de los 25,000 ciclos desde nuevo cuando se tenga acceso a la zona
2003-03-01	Verificación de la instalación de la unión del montante trasero	Cada que se tenga acceso a la zona

Tabla 1.6 Directivas de Aeronavegabilidad.



## BOLETINES DE SERVICIO RECOMENDADOS PARA SU INCORPORACIÓN EN EL MOTOR CFM56

### DEFINICIONES Y CLAVES UTILIZADAS EN LOS BOLETINES DE SERVICIO.

- 1 Dentro de XX horas o ciclos YY o por fecha final específica.
- 2 Conveniencia más temprana de no interferir con servicio de ingreso.
- 3 Desarrollada en siguiente S.V., independientemente de la acción de mantenimiento prevista ó la razón de retiro de motor.
- 4 Aplica cuando aquella área del motor es accesible.
- 5 Aplica cuando la parte afectada es expuesta al nivel de parte.
- 6 Aplica sólo si la parte afectada es planificada para ser removida para la reparación.
- 7 Aplica por el desgaste a conveniencia del cliente.
- 8 Liberación de piezas.
- 9 Solo Información.

### TIPO

P. – Desempeño (Performance) – Boletines de Servicio para extender el tiempo del motor el ala.

R. – Confiabilidad (Reliability) – Boletines de Servicio que previenen remociones prematuras.

D. – Durabilidad (Durability) – Boletines de Servicio que reducen el costo de Operación.

M – Mantenimiento (Maintainability/Maintenance) – Boletines Servicio que mejora la capacidad del mantenimiento

I. – Inspección (Inspection) – Boletines de Servicio que requieren un procedimiento de inspección

O. – Otros (Others): Mejoras Adicionales o de Información



Capitulo ATA	Boletín de Servicio	Titulo	Categoría	Tipo	Descripción
72-21	72-0324	Introducción de un Disco de Fan reacondicionado y nuevos espaciadores	7	D	Puede incrementar el límite de vida del Disco del Fan.
	72-0586	Introducción de Nuevas Plataformas con un nuevo sello para los alabes del Fan	7	D	Incrementa la durabilidad de las plataformas
	72-0632	Inspección a la zona delantera del Booster	2	R	Puede incrementar la vida del disco del fan
72-22	72-0188	Inspección a la zona del marco del Fan	3	R	Puede incrementar la vida del modulo
	72-0569	Introducción de Nuevos espaciadores en la parte frontal de la brida y de marco del Fan	7	R	Estos espaciadores con incremento del diámetro mejoran la unión entre la Brida y el Marco del Fan
72-31	72-0021	Reemplazo de los alabes de la novena etapa del Compresor de Alta	7	P	Incrementa el desempeño del Compresor de Alta en ala
	72-0447	Instalación de alabes estatores y rotores del Compresor de Alta	7	D	Incrementa la durabilidad de los alabes
72-32	72-0342	Eliminación de las terminales de los alabes estatores del sector de la 6-8 etapa	7	M	Facilita el mantenimiento de la zona
	72-0466	Nuevos sellos retenedores en el Compresor de Alta	8	O	Deben de colocarse dentro de la lista de almacén
	72-0581	Nuevos bujes interiores de las etapas 2 & 3 del Compresor de Alta.	7	O	Reduce los costos de la reparación



Capitulo ATA	Boletín de Servicio	Titulo	Categoría	Tipo	Descripción
72-41	72-0092	Instalación de un nuevo sello exterior estacionario de la Turbina de Alta Presión	7	R	Incrementa la confiabilidad de la zona
	72-0209	Nuevo ensamble del Combustor y el ensamble de las boquillas de la Turbina de Alta	7	M	Facilita el mantenimiento de la Zona
	72-0572	Nuevo sello exterior con escudo integrado en los pernos	7	O	Mejora el desensamblado de la zona
72-42	72-0103	Instalación de nueva cámara de combustión mejorada	6	D	Reduce los daños que pueden darse durante el ensamble
72-51	72-0099	Instalación de nuevos segmentos de boquilla con sellos interiores	7	R	Incrementa la confiabilidad de la zona
	72-0125	Reemplazo del sello interior de las boquillas	7	D	Mejora la durabilidad
	72-0379	Reemplazo del escudo de la tuerca del soporte trasero de las boquilla	7	O	Mejora el desensamblado de la zona
72-52	72-0116	Reemplazo de loa alabes estatores de la turbina de alta	4	D	Incrementa el tiempo de vida de la zona de la Turbina de Alta
	72-0157	Mejora del sello retenedor de material de los alabes rotores de la turbina de alta	7	D	Mejora la durabilidad
	72-0461	Instalación de un nuevo disco con un diseño mejorado	7	D	Mejora durabilidad
72-53	72-0089	Instalación de nuevos segmentos de la zona de la boquilla No 1 y la turbina de baja presión	7	D	Mejora durabilidad



Capitulo ATA	Boletín de Servicio	Titulo	Categoría	Tipo	Descripción
72-54	72-0567	Introducción de un nuevo y re trabajado sello del segmento de la primera etapa	7	R	Para prevenir daños en la zona
	72-0608	Inspección de la Cubierta de la Turbina de Baja Presión	3	R	Esta inspección se hace con el modulo ensamblado
	72-0379	Reemplazo del escudo de la tuerca del soporte trasero de las boquilla	7	O	Mejora el desensamblado de la zona
72-52	72-0116	Reemplazo de loa alabes estatores de la turbina de alta	4	D	Incrementa el tiempo de vida de la zona de la Turbina de Alta
	72-0157	Mejora del sello retenedor de material de los alabes rotores de la turbina de alta	7	D	Mejora la durabilidad
	72-0461	Instalación de un nuevo disco con un diseño mejorado	7	D	Mejora durabilidad
72-53	72-0089	Instalación de nuevos segmentos de la zona de la boquilla No 1 y la turbina de baja presión	7	D	Mejora durabilidad

Tabla 1.7 Boletines de Servicio.



## 1.5 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE REPARACIÓN

Después de realizar un análisis de todos los factores mencionados en los puntos anteriores como son la aplicación de Directivas de Aeronavegabilidad, Boletines de Servicio, consideración de las partes limitadas por vida así como dejando un margen que considera el desempeño del motor en ala, se llego a la determinar los trabajos para el tipo de reparación programada que se efectuara a los motores de la flota tomando como base los trabajos a realizarse en los esquemas de Workscope para restaurar el funcionamiento y restauración total, trabajos que se describen a continuación y que nos permitirá tener un tiempo de envío a taller (Soft-time) de 16,000 que podrá extenderse a 18,000 dependiendo el comportamiento del Motor en ala.

## MODULO MAYOR DEL FAN

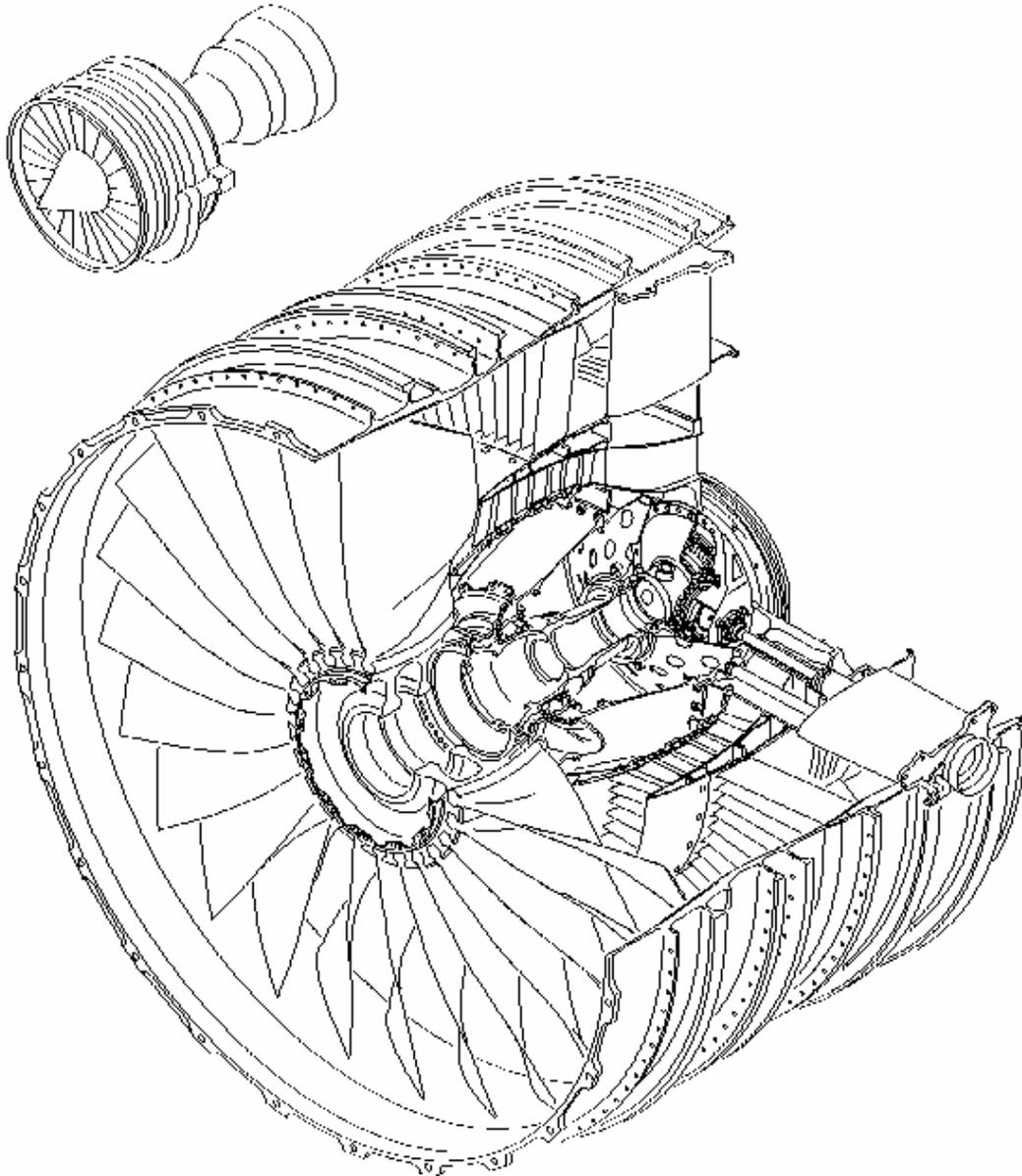


Figura 12 Modulo Del Fan.

## MODULO DEL FAN & BOOSTER

ATA 72-21-00

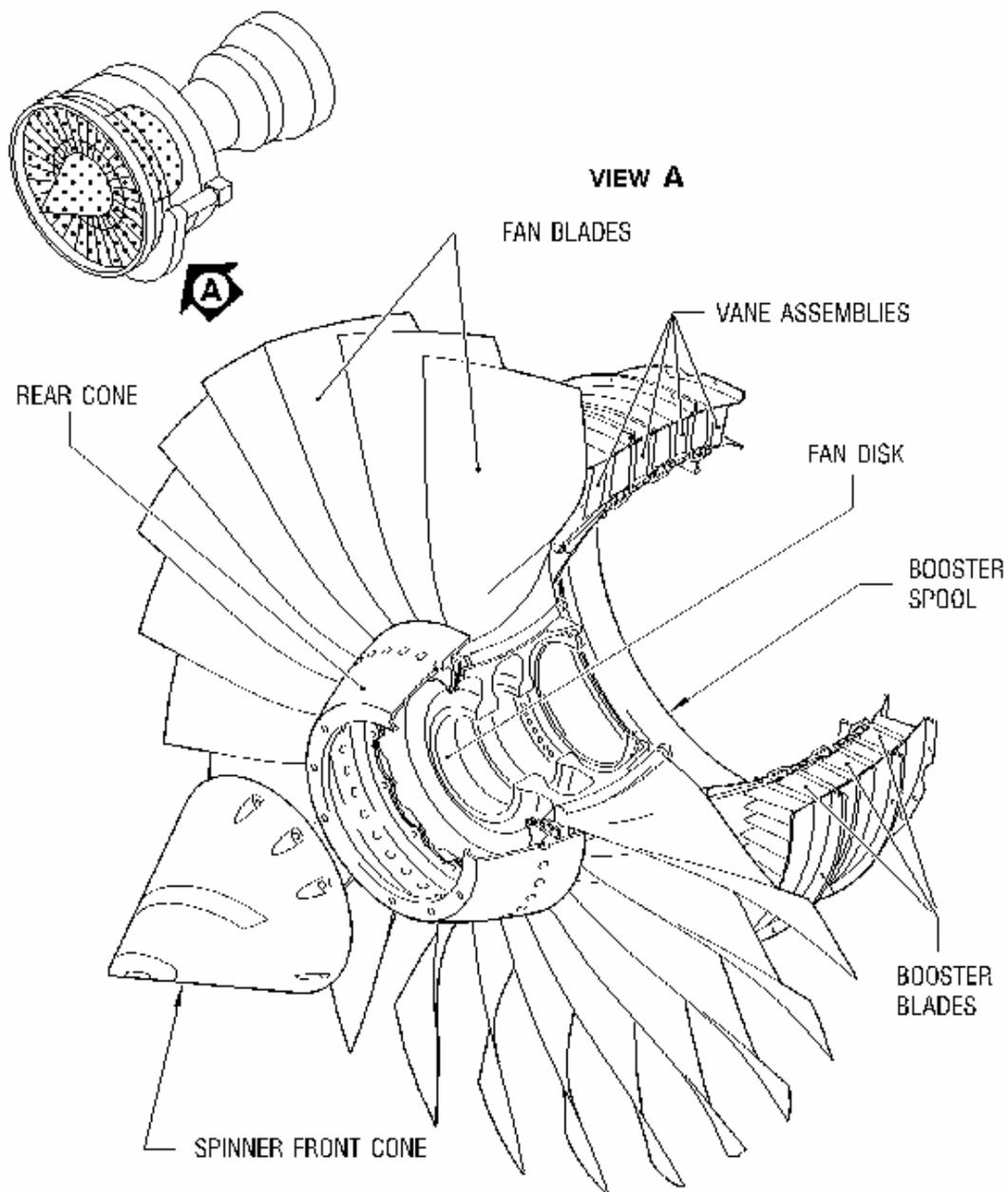


Figura 13. Modulo del Fan & Booster

## MODULO DEL SOPORTE DE LOS BALEROS No1 & No2

ATA 72-22-00

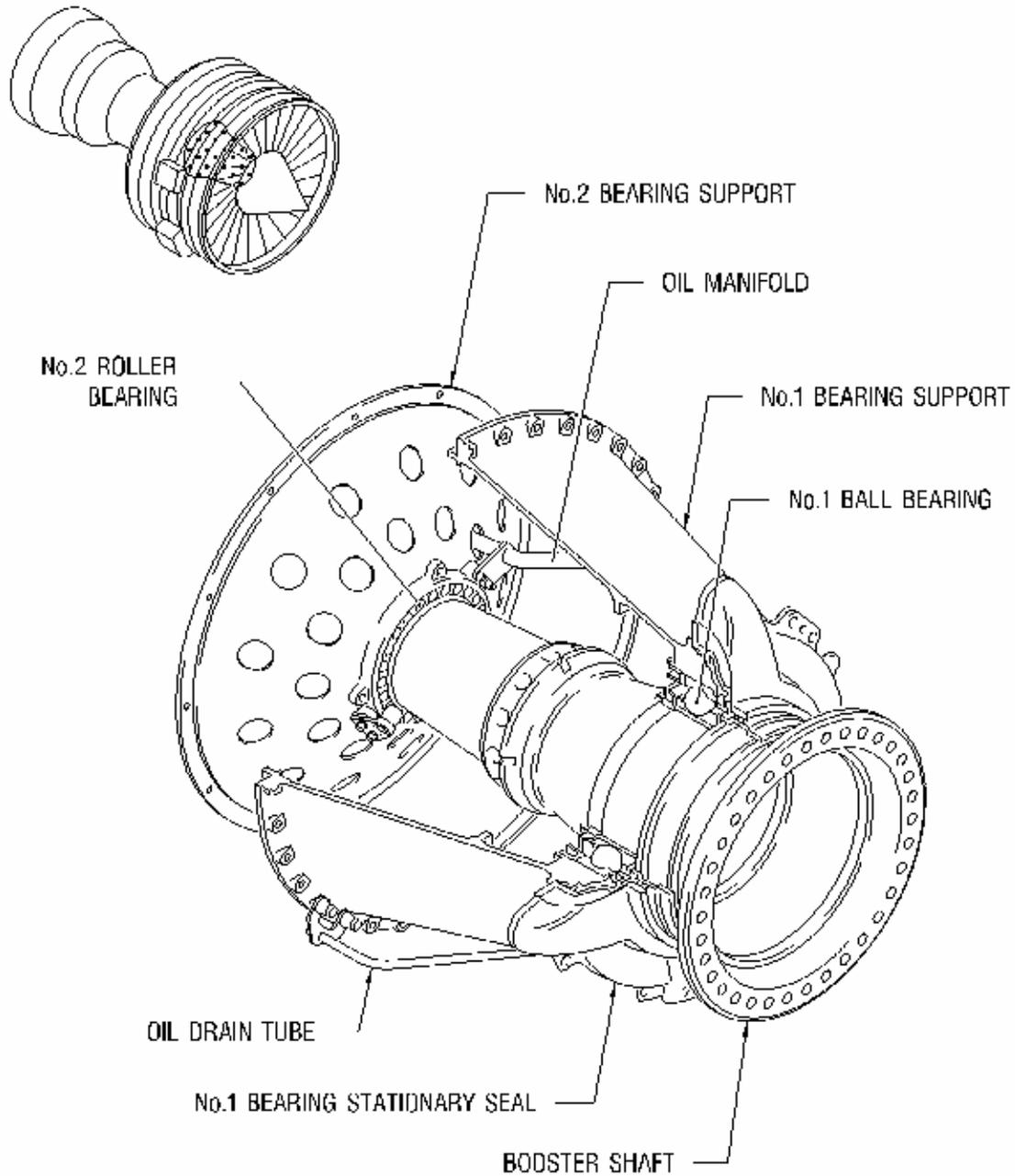


Figura 14. Modulo del Soporte de los Baleros No1 & No2

## MODULO DE LA CUBIERTA Y MARCO DEL FAN ATA 72-23-00

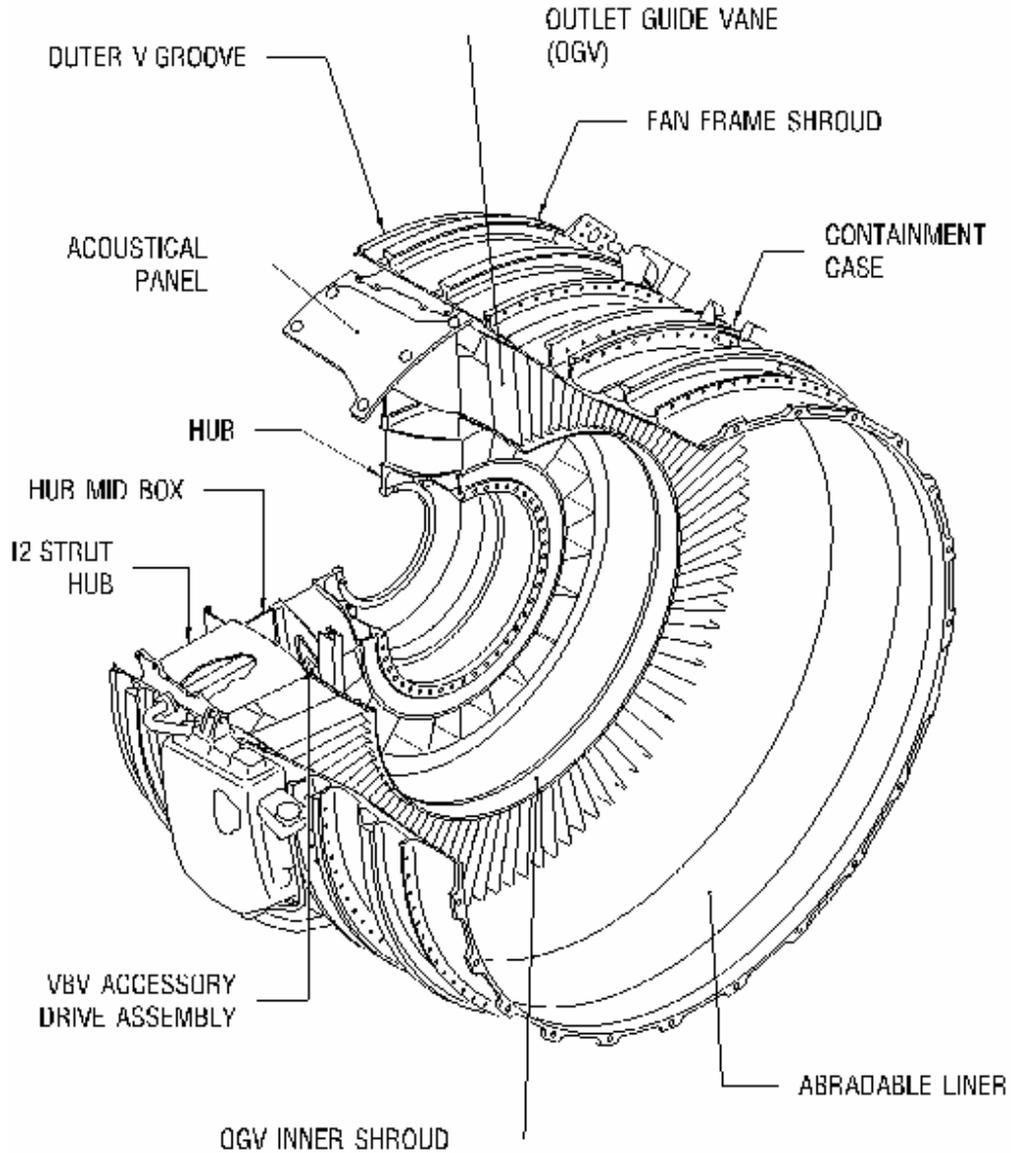


Figura 15. Modulo de la Cubierta y Marco del Fan

## MODULO DE ENTRADA DE LA CAJA DE ENGRANES

ATA 72-61-00

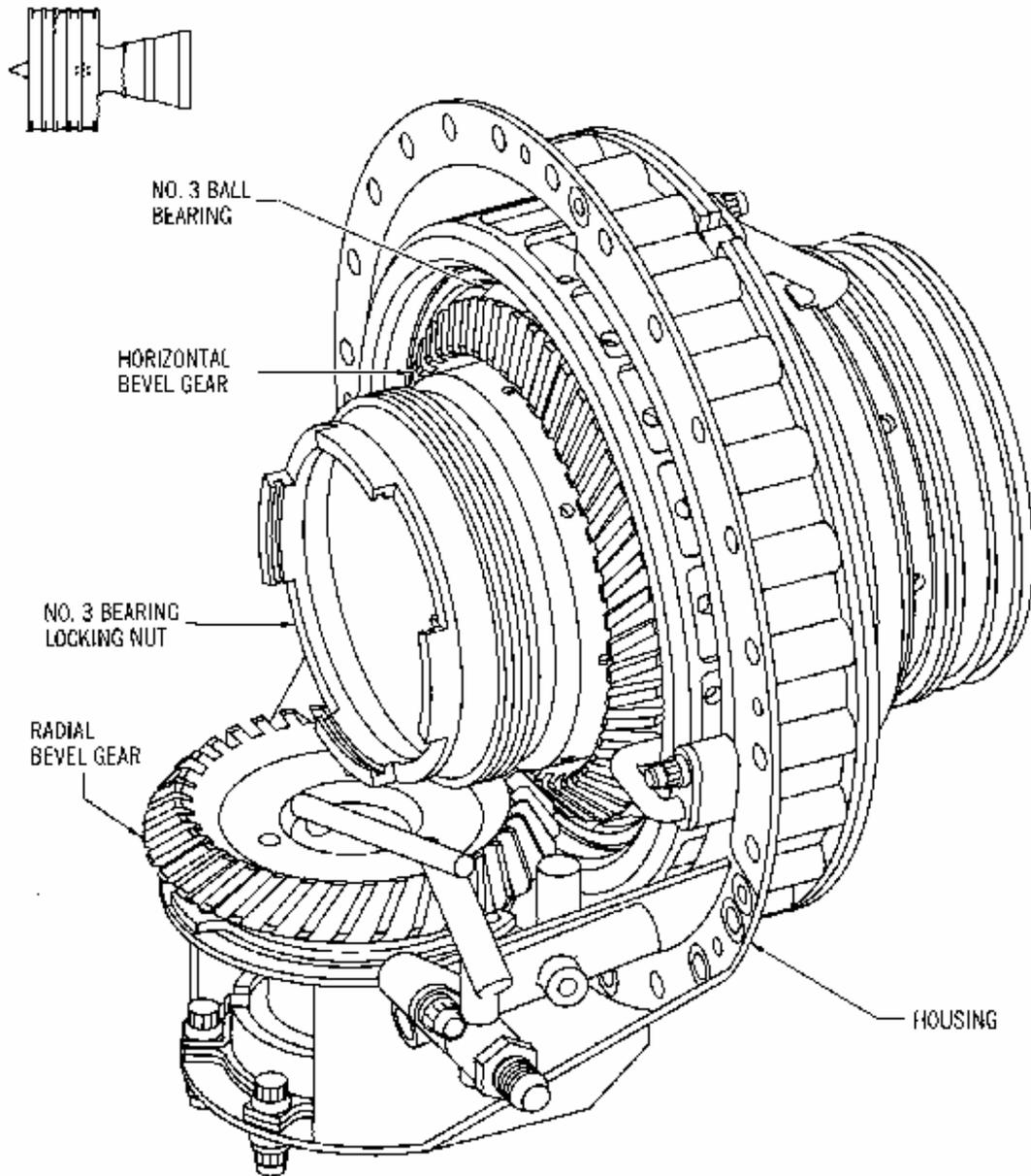
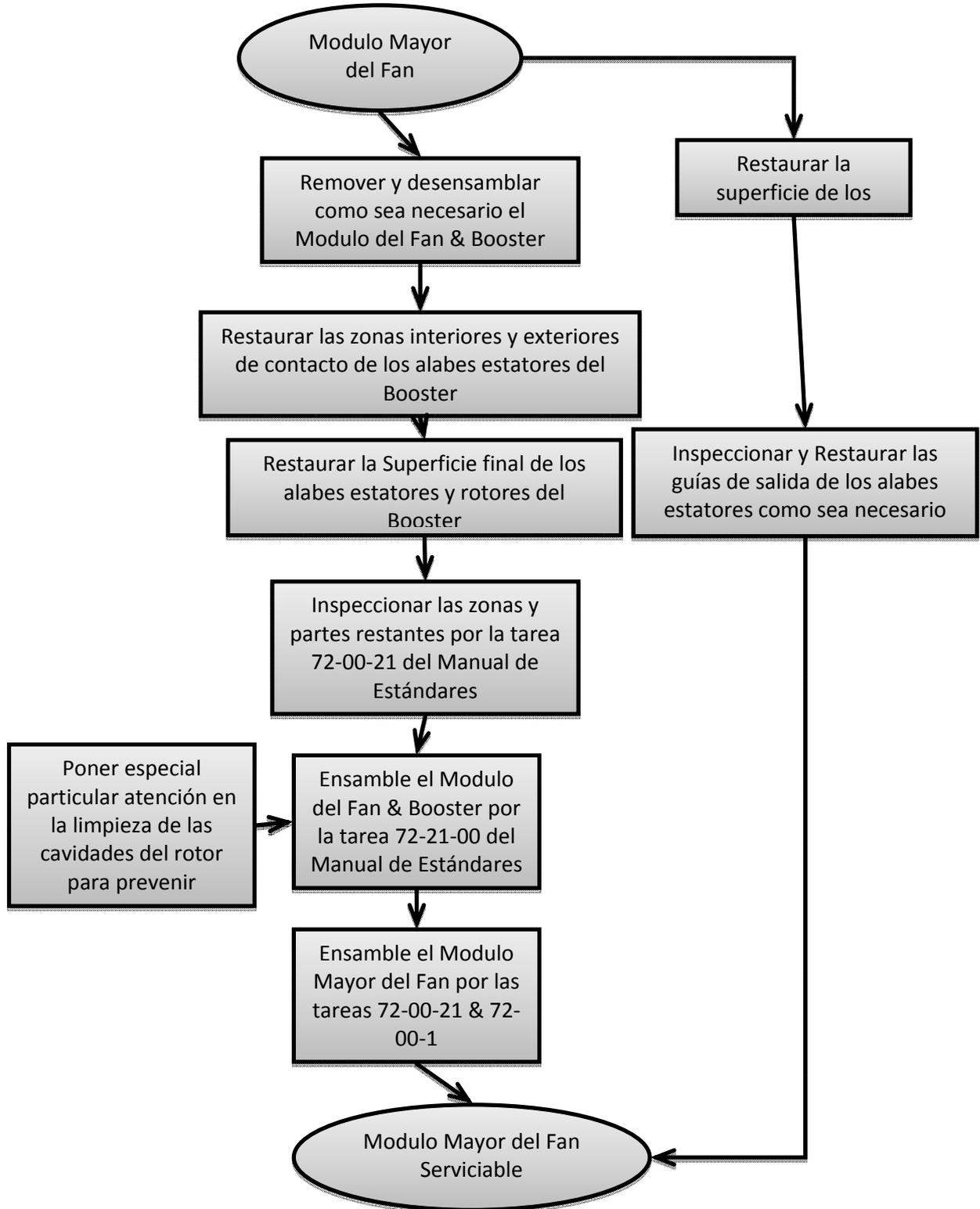


Figura 16. Modulo de Entrada de la Caja de Engranés

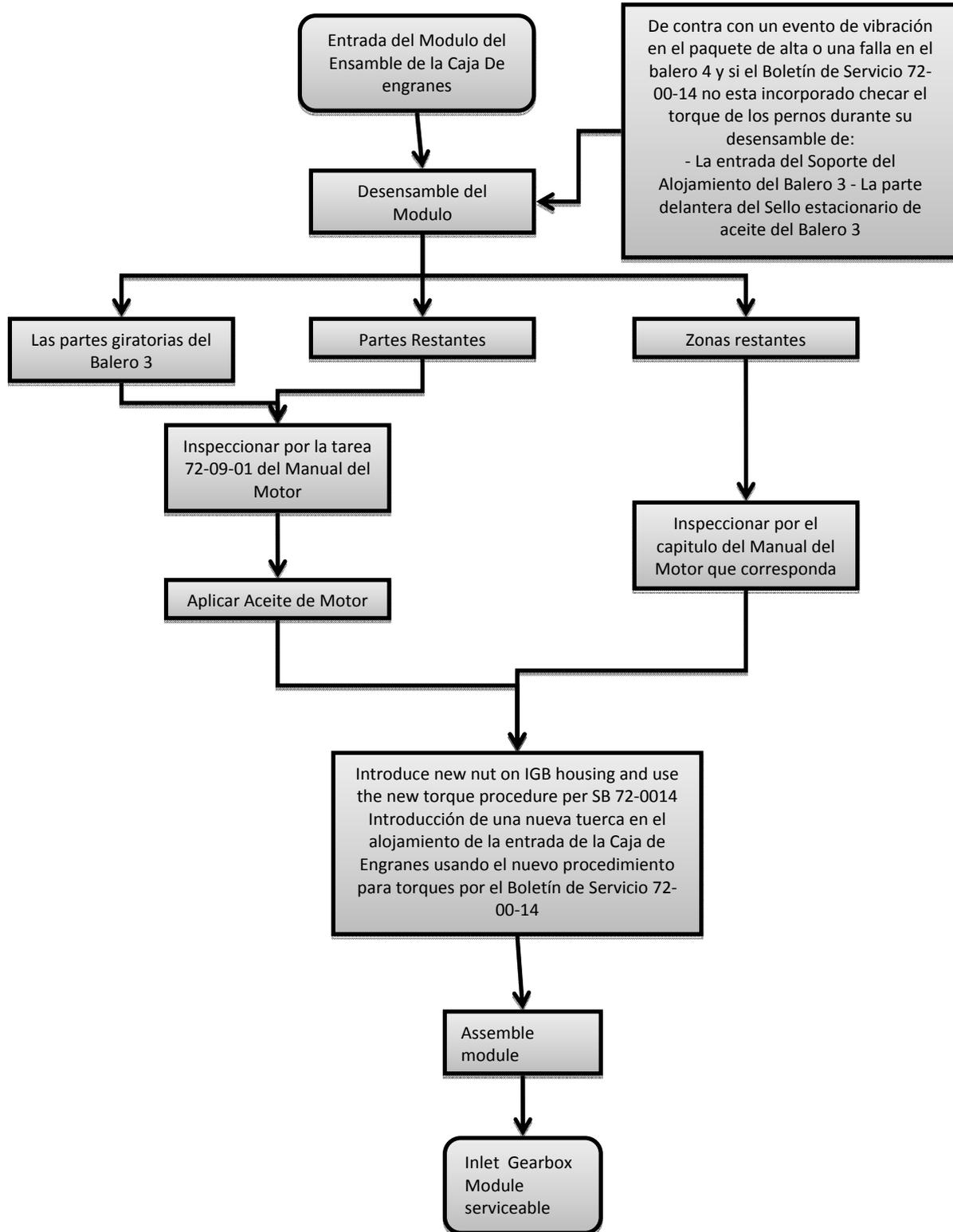


## MODULO MAYOR DEL FAN TRABAJOS A EFECTUARSE



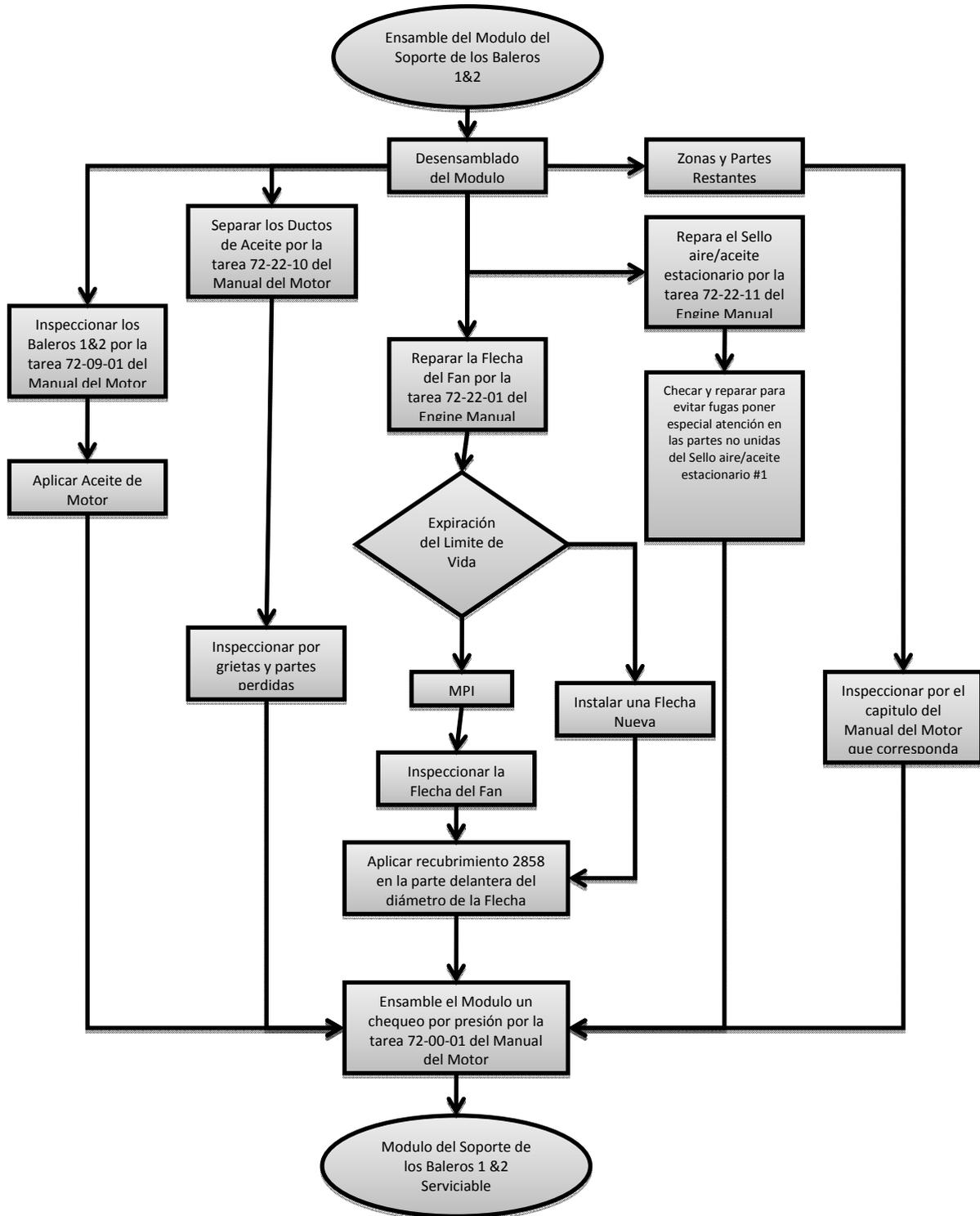


### Trabajos Al Ensamble Del Modulo De Engranes

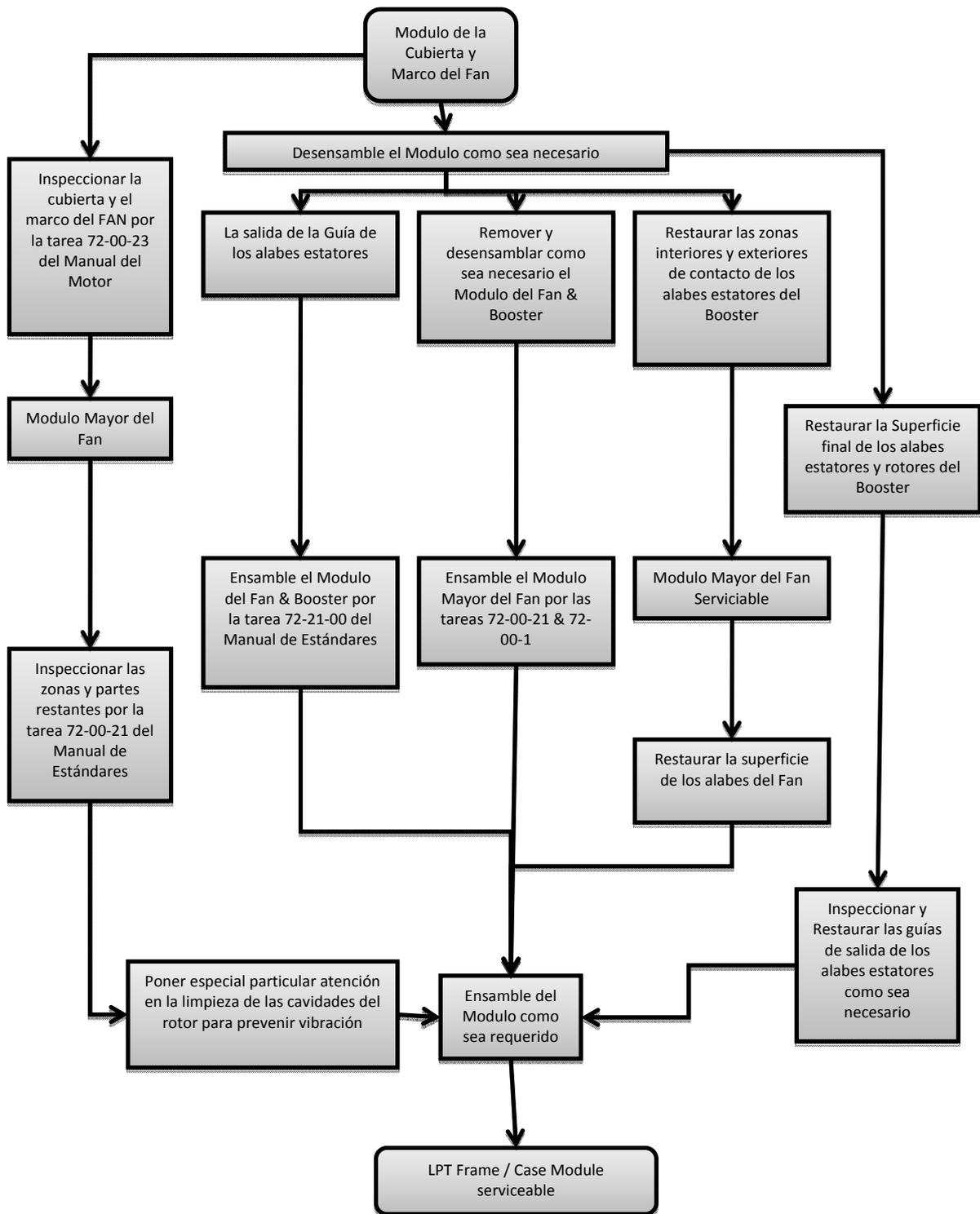




Ensamble del Modulo del Soporte de los Baleros 1&2



Modulo de la Cubierta y Marco del Fan



Diagramas. Trabajos a Efectuarse en los Módulos Mayores.

## MODULO MAYOR DEL COMPRESOR DE ALTA (HPC)

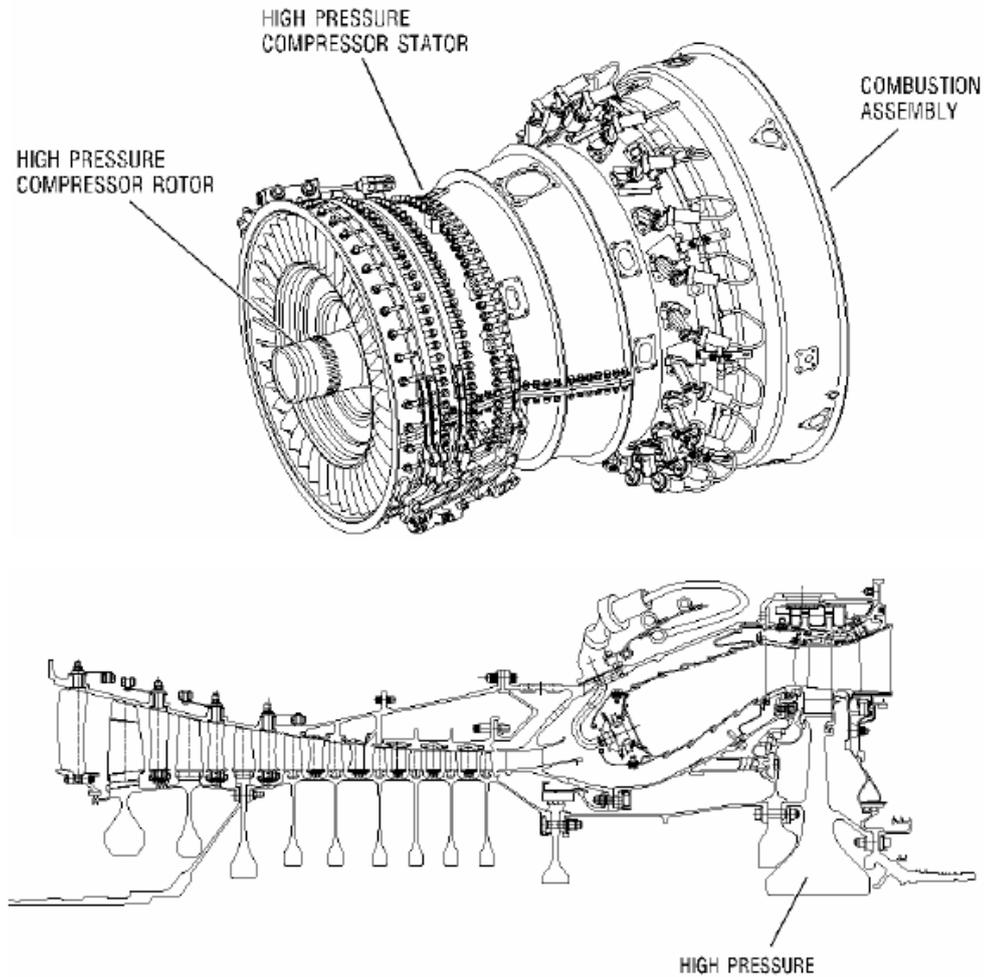


Figura 17- Modulo Mayor Del Compresor De Alta (HPC)

## MODULO ROTOR DEL COMPRESOR DE ALTA ATA 72-32-00

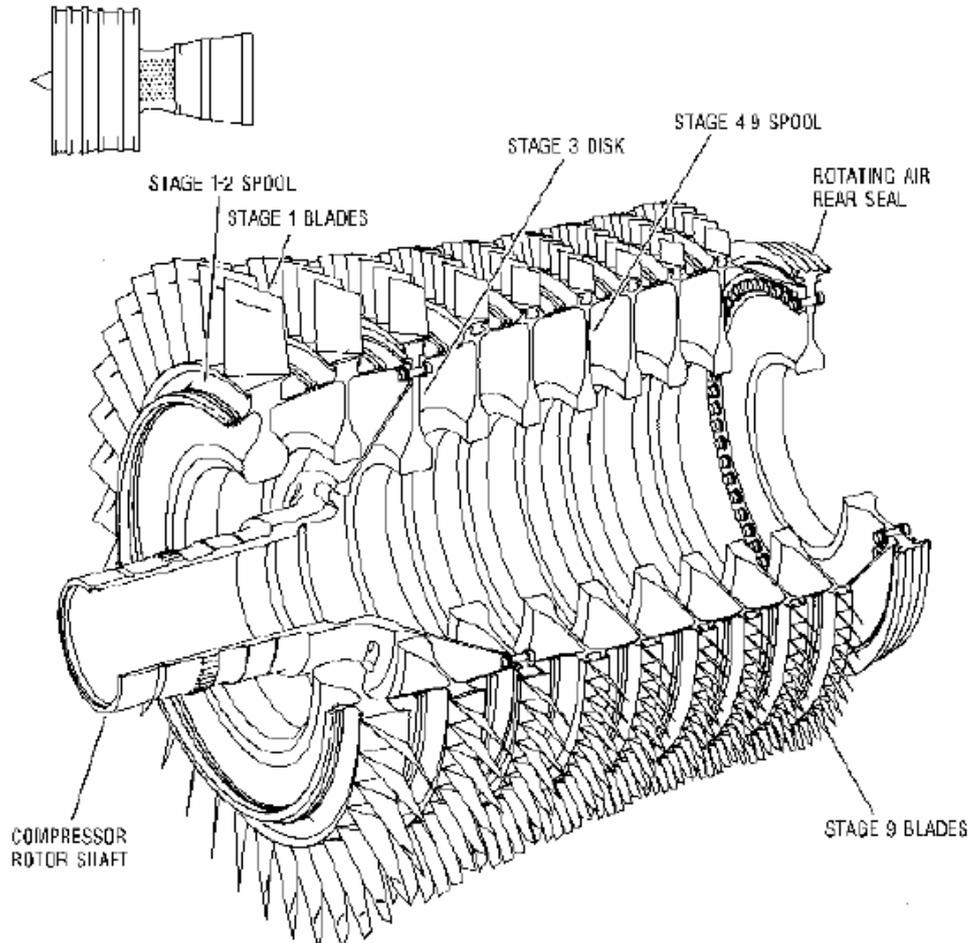


Figura 18. Modulo Rotor del Compresor de Alta

## MODULO DELANTERO DE LA CUBIERTA DEL COMPRESOR DE ALTA ATA 72-32-00

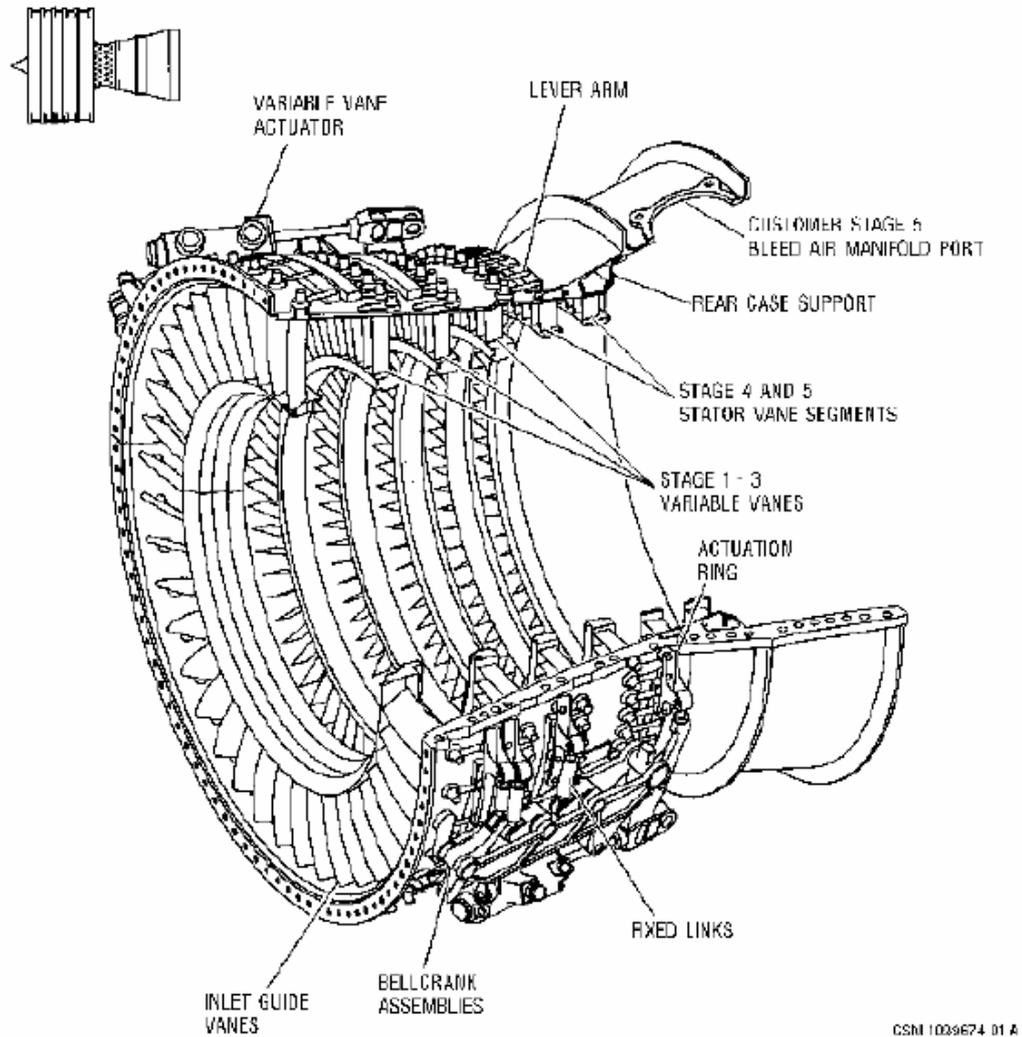


Figura 19 Modulo Delantero De La Cubierta Del Compresor De Alta

## MODULO DE LA CUBIERTA TRASERA DEL COMPRESOR DE ALTA ATA 72-33-00

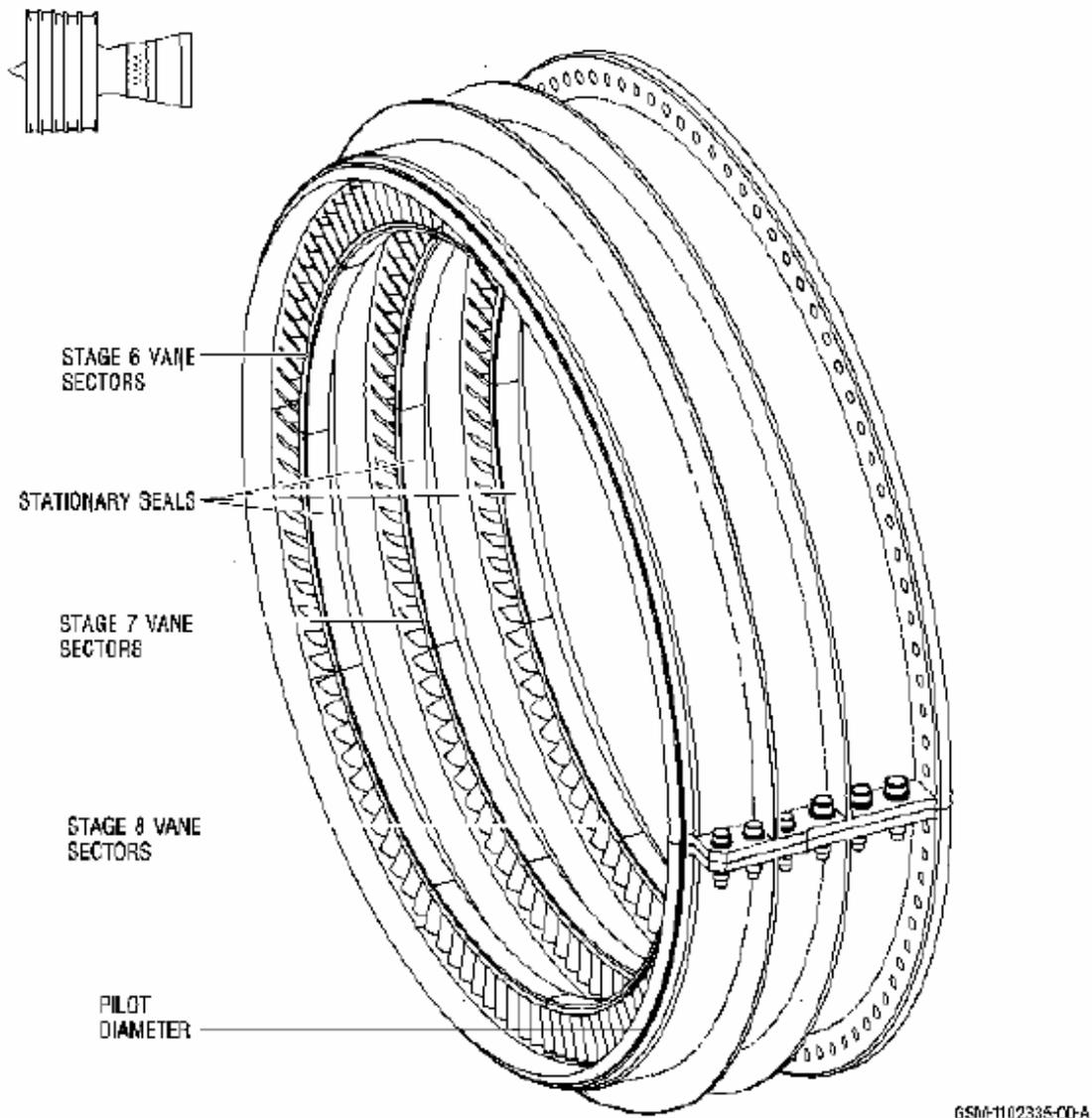


Figura 20. Modulo de la Cubierta Trasera del Compresor de Alta

**MODULO MAYOR DEL COMPRESOR DE ALTA (HPC)****TRABAJOS A EFECTUARSE**

<b>Modulo Mayor del Compresor de Alta</b>	<b>REFERENCIA</b>
NOTA: El modulo del Compresor de Alta es parcialmente desensamblado en este nivel de Worksopce y será inspeccionado por modulo por la sección del 72-00-31 del Manual de Mantenimiento del Motor	<b>72-00-31</b>
- Remover los alabes del HPC - Inspeccionar los alabes del HPC - Reemplazar los alabes de todas las etapas con nuevos o reacondicionados <b>O</b>	<b>72-31-00</b> <b>72-31-01/02/03</b>
- Inspeccionar y Dimensionar por espesor y dureza los bordes de ataque y salida - Reemplazar los alabes no serviciales con alabes nuevos o reacondicionados	856A1275 856A1276
Reemplazo de los Sellos de los alabes de la 4-9 etapa - Aplicar lubricante en las caras articulares de presión en los alabes de las 1-3 etapas	CPM 2229
-Instalar alabes y efectuar una medición de las puntas	CPM 2267
Antes de efectuar el ensamble del Modulo poner atención en la limpieza de las cavidades del Rotor por posibles rastros de aceite/ acumulación de polvo a fin de prevenir futuros problemas de vibración	
- Efectuar inspección en la posición vertical del Compresor de Alta Efectuar un balance del sistema del Modulo del Rotor del Compresor de Alta	72-00-02
NOTA: Los módulos estatores del Compresor de Alta incluyendo las cubiertas delantera y trasera son parcialmente desensamblados para este nivel de Worksopce y deberán de ser inspeccionados por modulo por la sección 72-00-32/33 del Manual de Mantenimiento del Motor	72-00-32/33
<b>Modulo Delantero de la Cubierta del Compresor de Alta</b>	
Remover los sellos de los paneles de tipo Abeja de la interfase de todas las etapas del HPC	<b>72-32-00</b>
Reemplazar todos los sellos de los paneles de tipo abeja de la interfase de las etapas del HPC por nuevos o reacondicionados	72-32-05
El incremento del desempeño puede ser obtenido después de una limpieza de las superficies sustentadoras	72-32-00
Inspeccionar el diámetro de la parte delantera de la cubierta del HPC por desgaste y repare como se requiera	72-32-01
Inspeccionar las cubiertas cubre polvo por material extraño y remueva de ser necesario En el caso de ser removidas se deberá de reemplazar los alabes estatores de la parte delantera des HPC por nuevos o reacondicionados	72-32-01/72-32-00



<b>Modulo Delantero de la Cubierta del Compresor de Alta</b>	REFERENCIA
Remover los segmentos de los sellos de los paneles de tipo Abeja de la interfase de t las etapas 6-8 del HPC	72-33-03
Reemplazar todos los sellos de los paneles de tipo abeja de la interfase de las etapas del HPC por nuevos o reacondicionados	72-33-03
El incremento del desempeño puede ser obtenido después de una limpieza de los segmentos de los alabes estatores de las etapas 6-8	72-32-03
<b>Ensamble</b>	
Alineación del HPC para un adecuado alineamiento del HPC	
Ensamble la parte delantera y trasera al mismo tiempo y realizar una inspección dimensional, los pernos de las bridas horizontales deberán de ser toqueados antes que los pernos de las bridas circunferenciales.	<b>72-32-00/33-00</b>

Tabla 1.8 Trabajos a efectuarse en el modulo mayor del compresor de alta (HPC)

## MODULO DE COMBUSTION

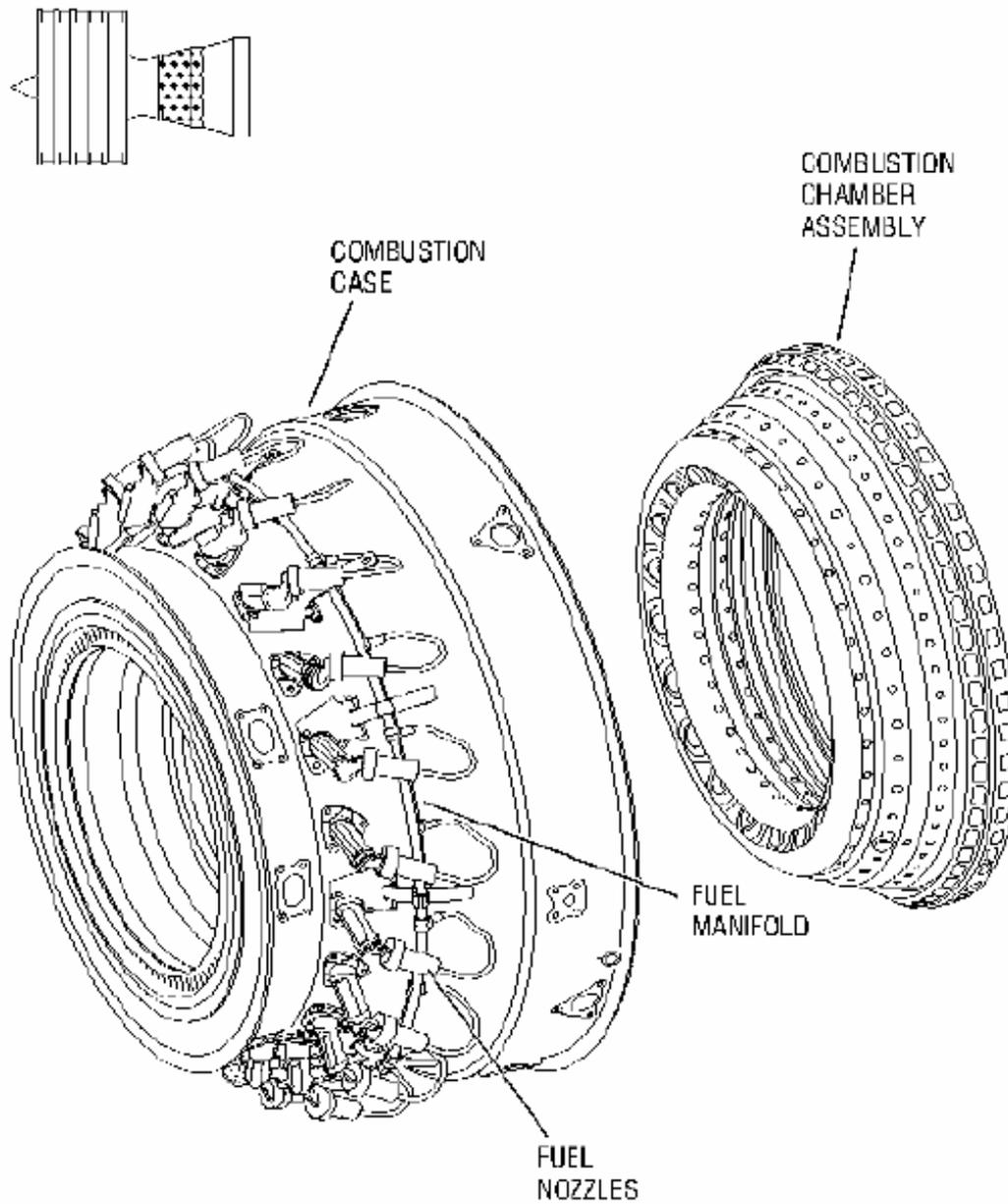


Figura 21. Modulo de Combustión

## MODULO DE LA CUBIERTA DE COMBUSTION

ATA 72-41-00

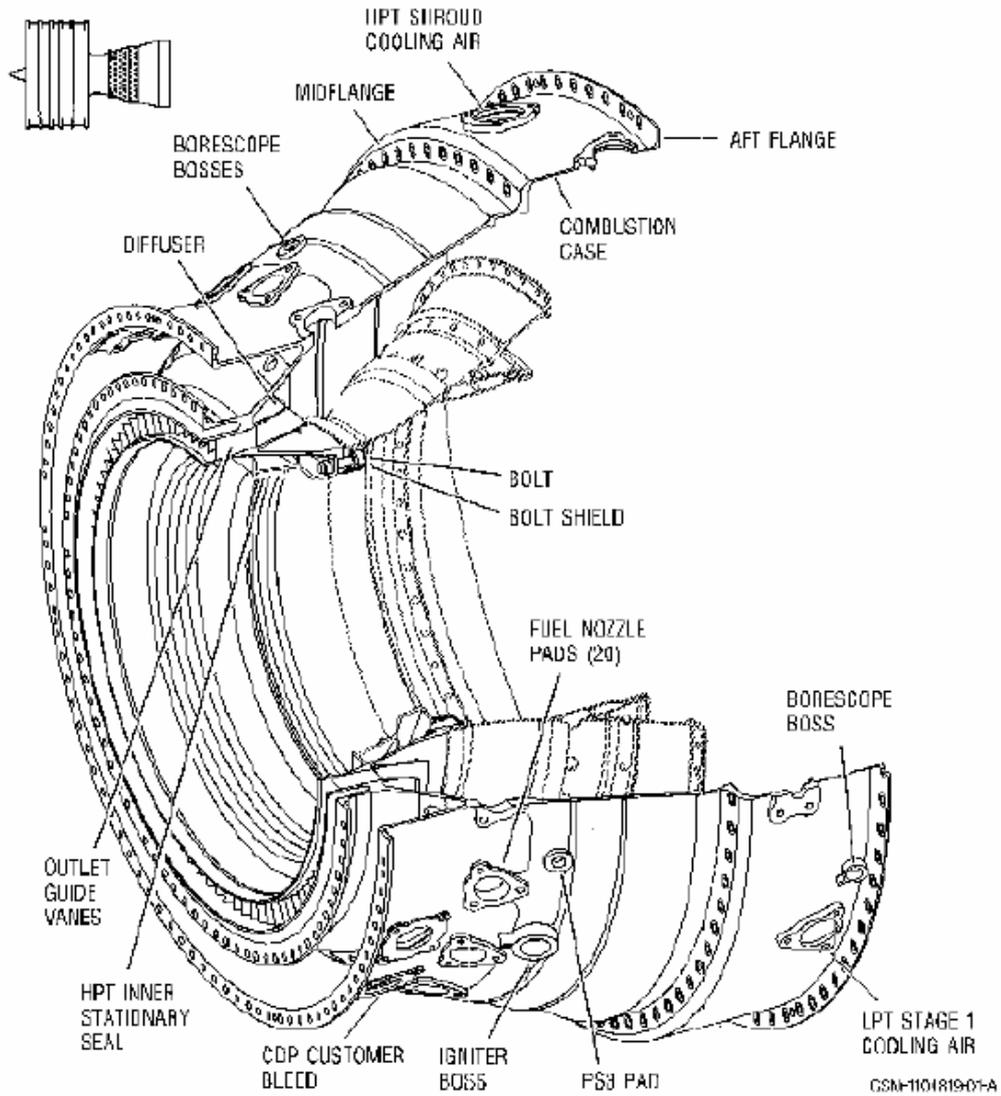


Figura 22 Modulo De La Cubierta De Combustión

## COMBUSTOR ANULAR INDIVIDUAL

ATA 72-42-00

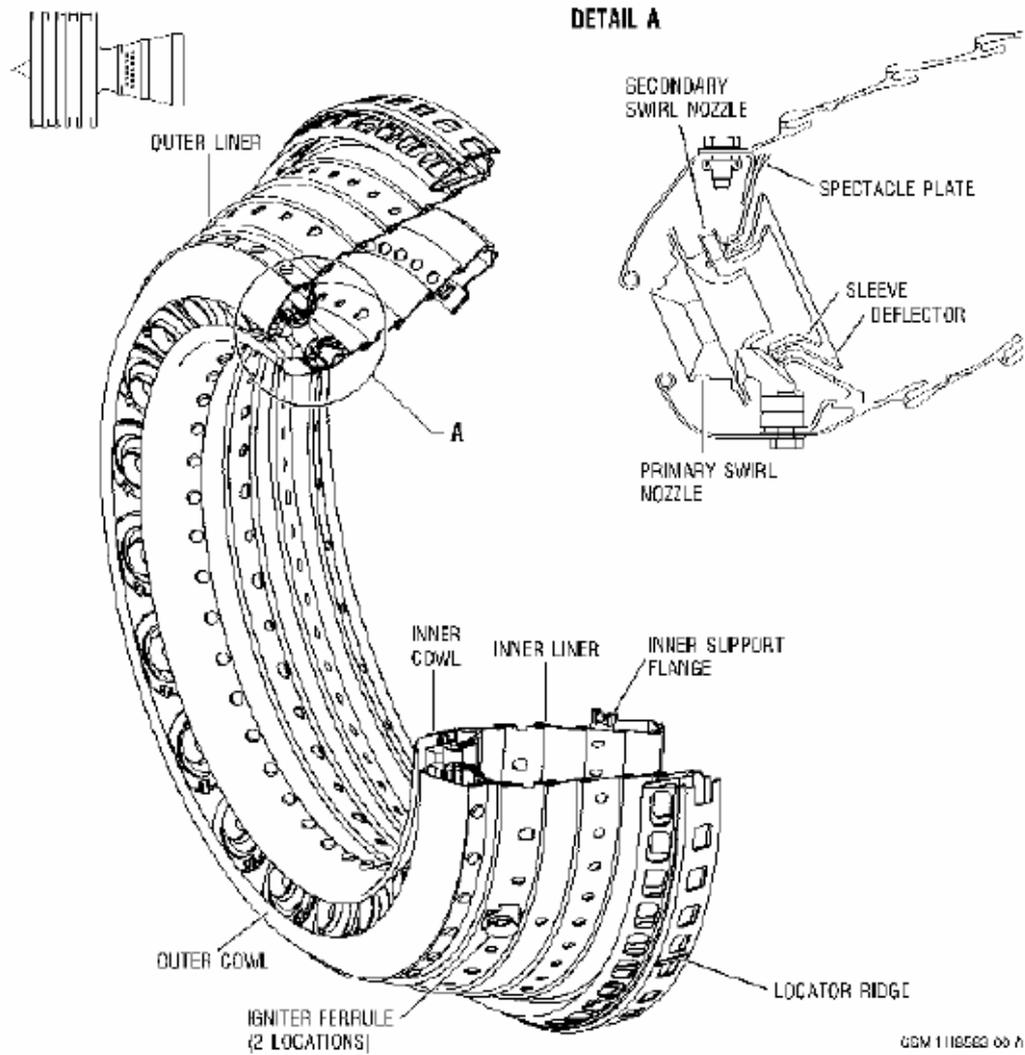


Figura 23. Combustor Anular Individual

## COMBUSTOR ANULAR DUAL

ATA 72-42-00

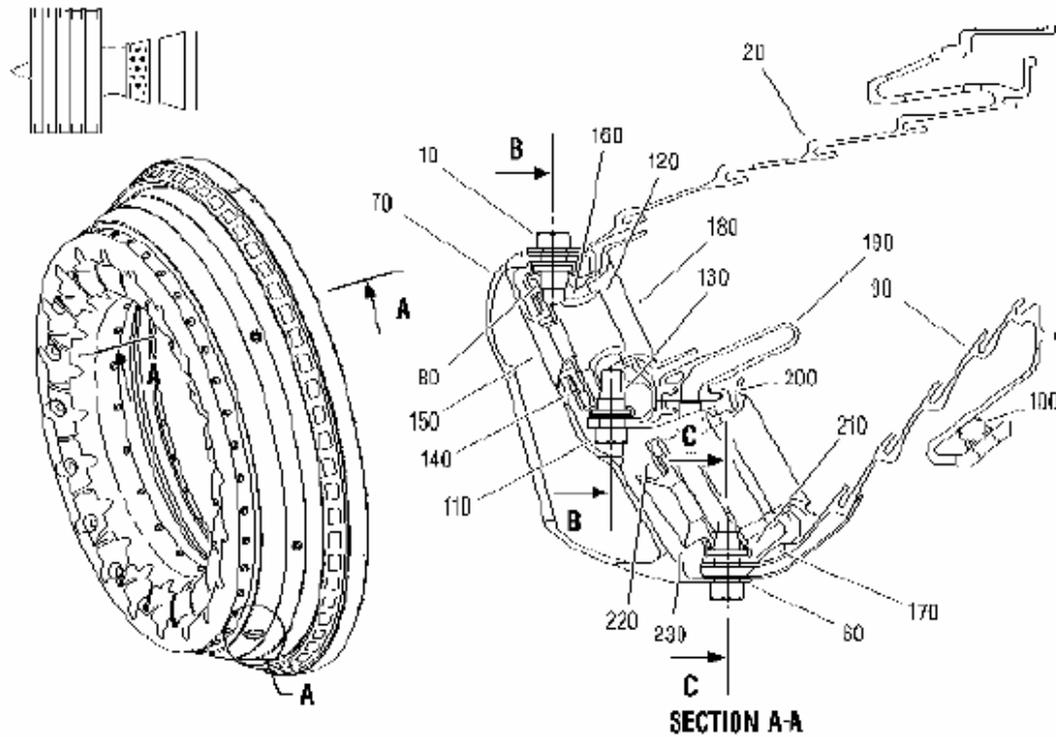


Figura 24. Combustor Anular Dual



## MODULO DE COMBUSTION

### Trabajos a efectuarse

	REFERENCIA
Efectuar una inspección visual de la Cubierta de Combustión poniendo especial atención en las bridas trasera y delantera así como en las zonas de la boquillas	72-00-02
Visualmente realice un chequeo de las líneas de combustible, múltiples y boquillas por seguridad y evidencia de fugas	72-42-00
Después de un daño por un impacto de un objeto extraño al motor es altamente recomendado realizar una Inspección Boroscopica a la zona del Compresor	BS 72-0227
NOTA: El modulo de la Cubierta de Combustión es parcialmente desensamblado para este nivel de Worksopce y deberá de ser inspeccionado por modulo por la sección 72-00-41 del Manual de Mantenimiento del Motor.	
- Instalar alabes y efectuar una medición de las puntas	CPM 2267
Una Cámara de Combustión con una reparación mayor puede mejorar el tiempo en ala del motor, la confiabilidad de la zona así como el desempeño general del motor	
Reemplace el recubrimiento térmico interior y exterior	72-42-03
Reclasifique según el tamaño el domo del combustor para corregir el ángulo de este	72-42-02
Aplicar recubrimiento de alta resistencia para prevenir desgaste	72-42-02
NOTA: En caso de que exista sospecha de que las boquillas han contribuido a una caída del sistema de ajuste es recomendable realizar una limpieza antes de instalarlas nuevamente	CMM 73-11-42
Reemplace la parte interna del sello estacionario de la Turbina de Alta Presión con un nuevo reacondicionado sello.	

Tabla 1.9. Trabajos a efectuarse en el modulo de Combustión.

## MODULO DE LA TURBINA DE ALTA PRESIÓN

### MODULO DE LAS BOQUILLAS DE LA TURBINA DE ALTA PRESIÓN

ATA 72-51-00

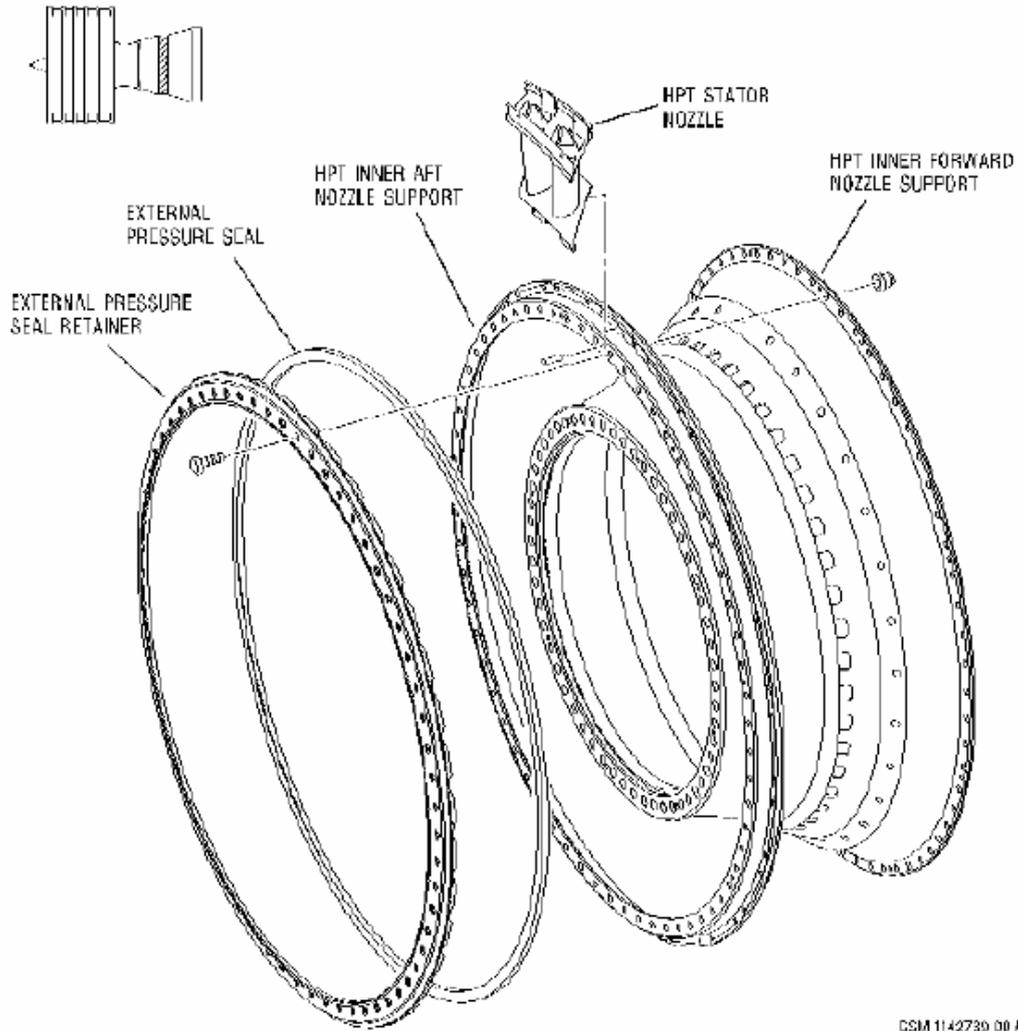
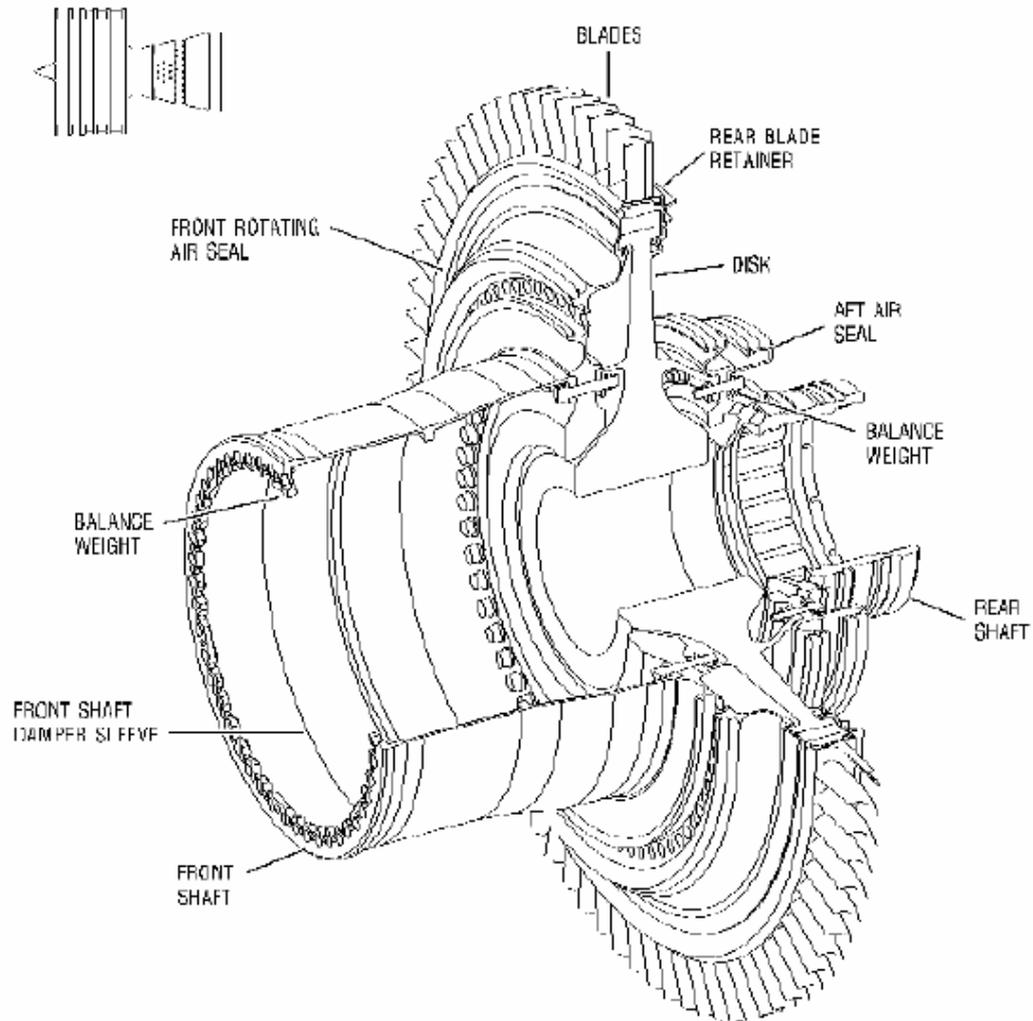


Figura 25 Modulo De Las Boquillas De La Turbina De Alta Presión

## MODULO DEL ROTOR DE LA TURBINA DE ALTA PRESIÓN ATA 72-52-00



GSNH1003440-01-A

Figura 26 Modulo Del Rotor De La Turbina De Alta Presión

# MODULO DEL SOPORTE Y DE LA BQUILLA No1 DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN

ATA 72-53-00

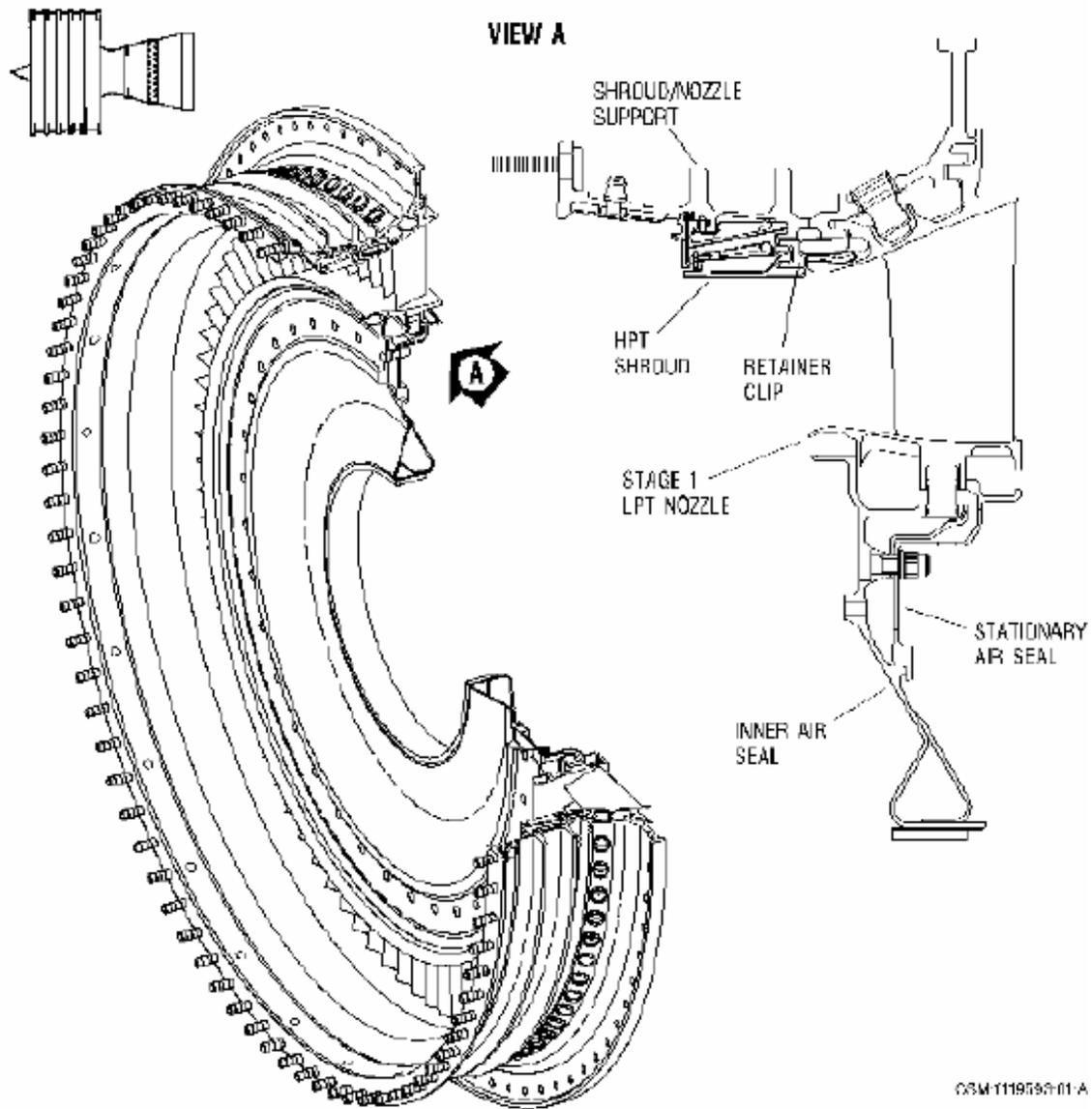


Figura 27. Modulo del soporte y de la Barquilla No1 de la Turbina de Baja Presión



## MODULO DE LA TURBINA DE ALTA PRESIÓN

### Trabajos a Efectuarse

<b>Modulo de la boquilla de la Turbina de Alta Presión</b>	<b>REFERENCIA</b>
NOTA: El modulo de la boquilla de la Turbina de Alta Presión es parcialmente desensamblado en este nivel de Workscope y deberá de inspeccionado por modulo por la sección 72-00-51 del Manual de Mantenimiento del Motor	
Checar la condición de las guías de las boquillas de los alabes estatores	SB 72-0125
Reemplazo del sello de panel de abeja estacionario de la parte exterior de la turbina de Alta Presión	72-00-51
<b>Modulo Rotor de la Turbina de Alta Presión</b>	
- Instalar alabes y efectuar una medición de las puntas	CPM 2267
NOTA: El modulo Rotor de la Turbina de Alta Presión es parcialmente desensamblado para este nivel de Workscope y deberá de ser inspeccionado por modulo por la sección 72-00-52 del Manual de Mantenimiento del Motor	
Inspeccionar los alabes de la Turbina de Alta Presión por grietas en la zona cóncava y convexa de la superficie sustentadora	72-00-52
Realizar Pruebas no destructivas al sello de la parte trasera de la flecha	72-00-52
Checar por daños en los sellos de la plataformas	72-52-00
Inspeccionar las puntas de los alabes y reemplace en caso de ser necesario	72-52-01
Reemplazo del sello del rotor	72-52-03
Efectuar inspecciones en la zona de la Turbina de Alta en posición vertical y horizontal	72-00-02
<b>Modulo del Soporte y de la boquilla No1 de la Turbina de Baja Presión</b>	
NOTA: El modulo del Soporte de la Boquillas No1 de la Turbina de Baja Presión es parcialmente desensamblado para este nivel de Workscope y deberá ser inspeccionado por modulo por la sección 72-00-53 del Manual de Mantenimiento del Motor	
Inspeccionar modulo por instrucciones de Manual del Motor	72-00-53
Desensamblar el modulo y repara como sea necesarios por las tareas del Manual del Motor	BS 72-0079 BS 72-0047

Tabla 1.10 Trabajos a efectuarse en el modulo de la turbina de lata presión.

## MODULO MAYOR DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN

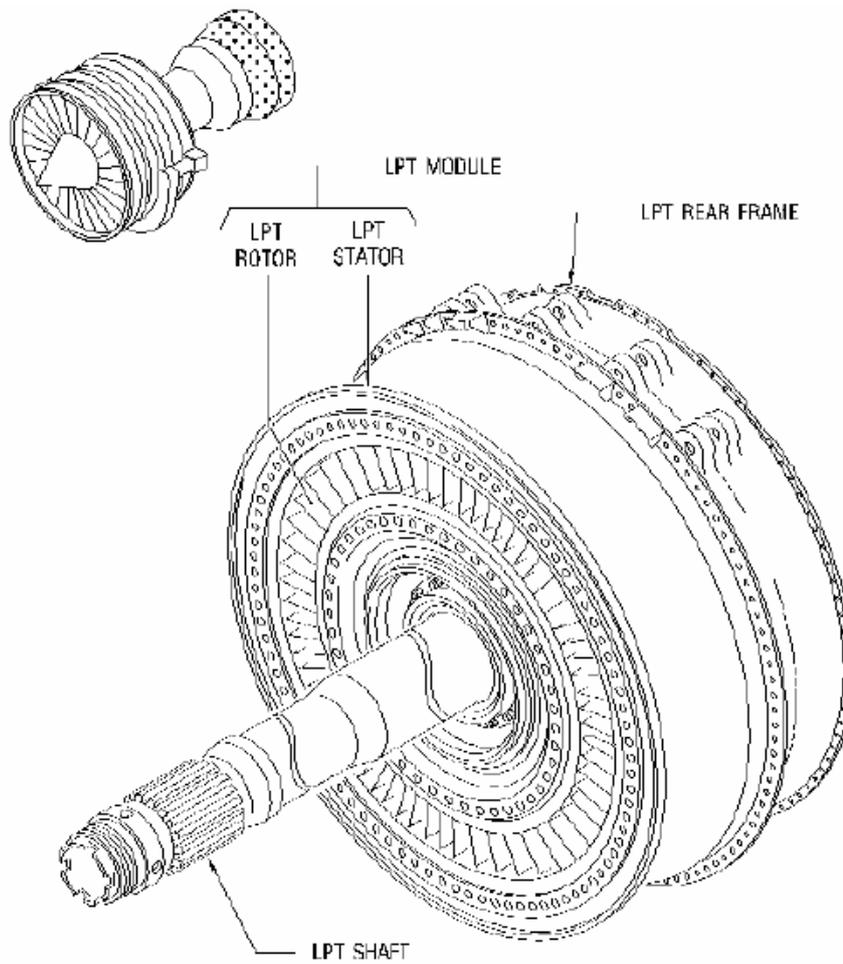


Figura 28. Modulo Mayor de la Turbina de Baja Presión

## MODULO DEL ROTOR Y DEL ESTATOR DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN ATA 72-54-00

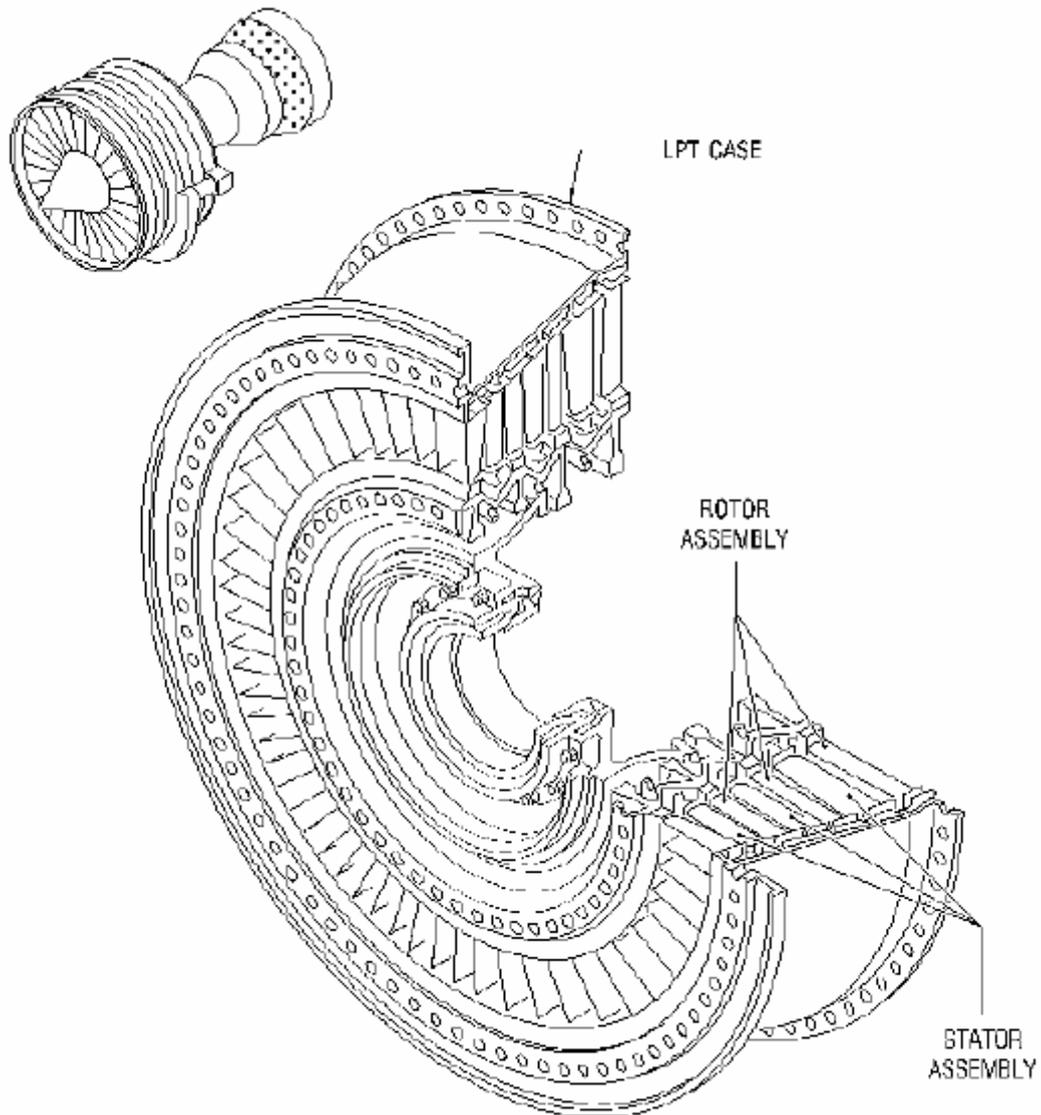


Figura 28. Modulo del Rotor y del Estator de la Turbina de Baja Presión

## MODULO DE LA FLECHA DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN ATA 72-55-00

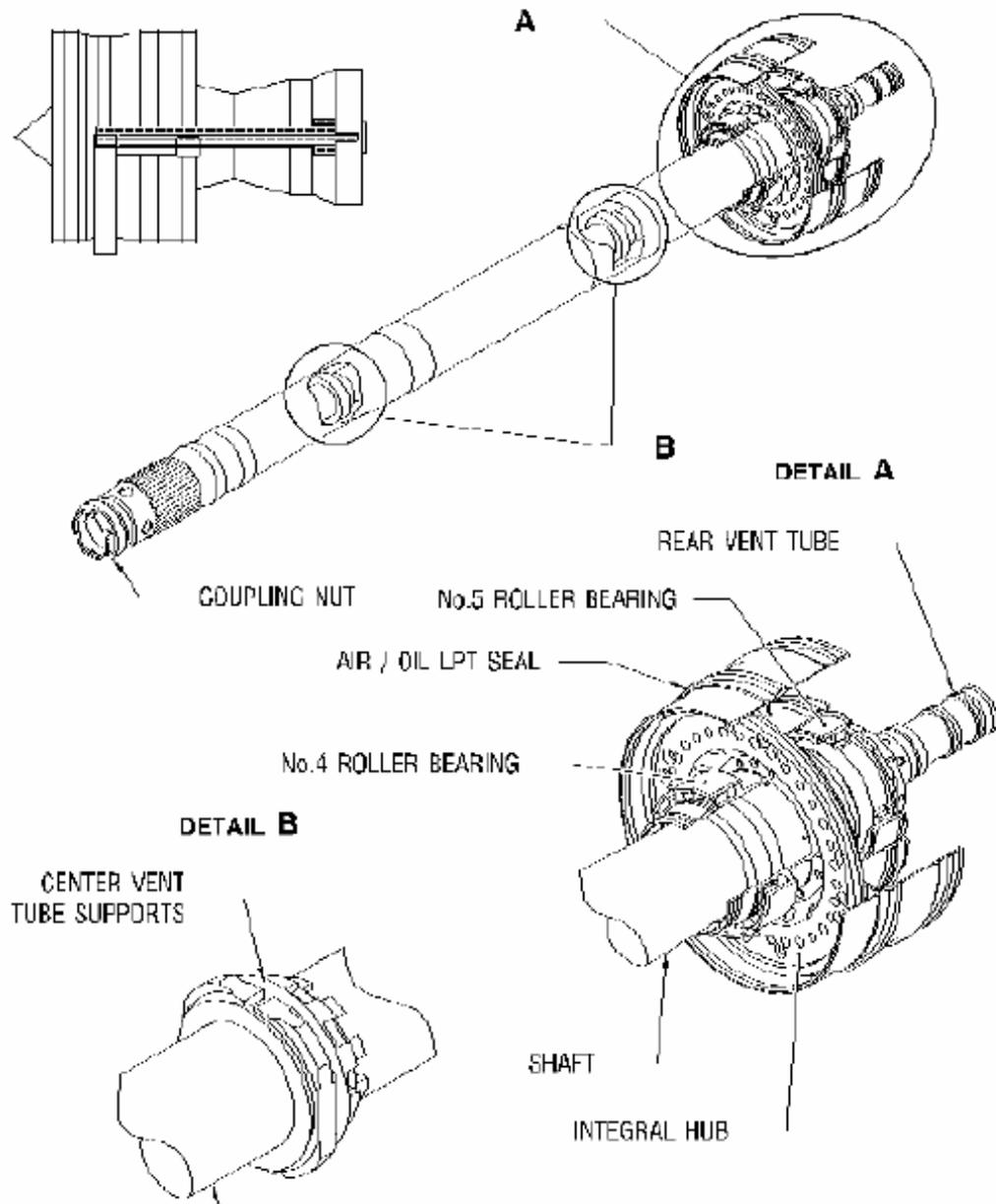


Figura 29. Modulo de la Flecha de la Turbina de Baja Presión

## MODULO DEL MARCO DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN ATA 72-56-00

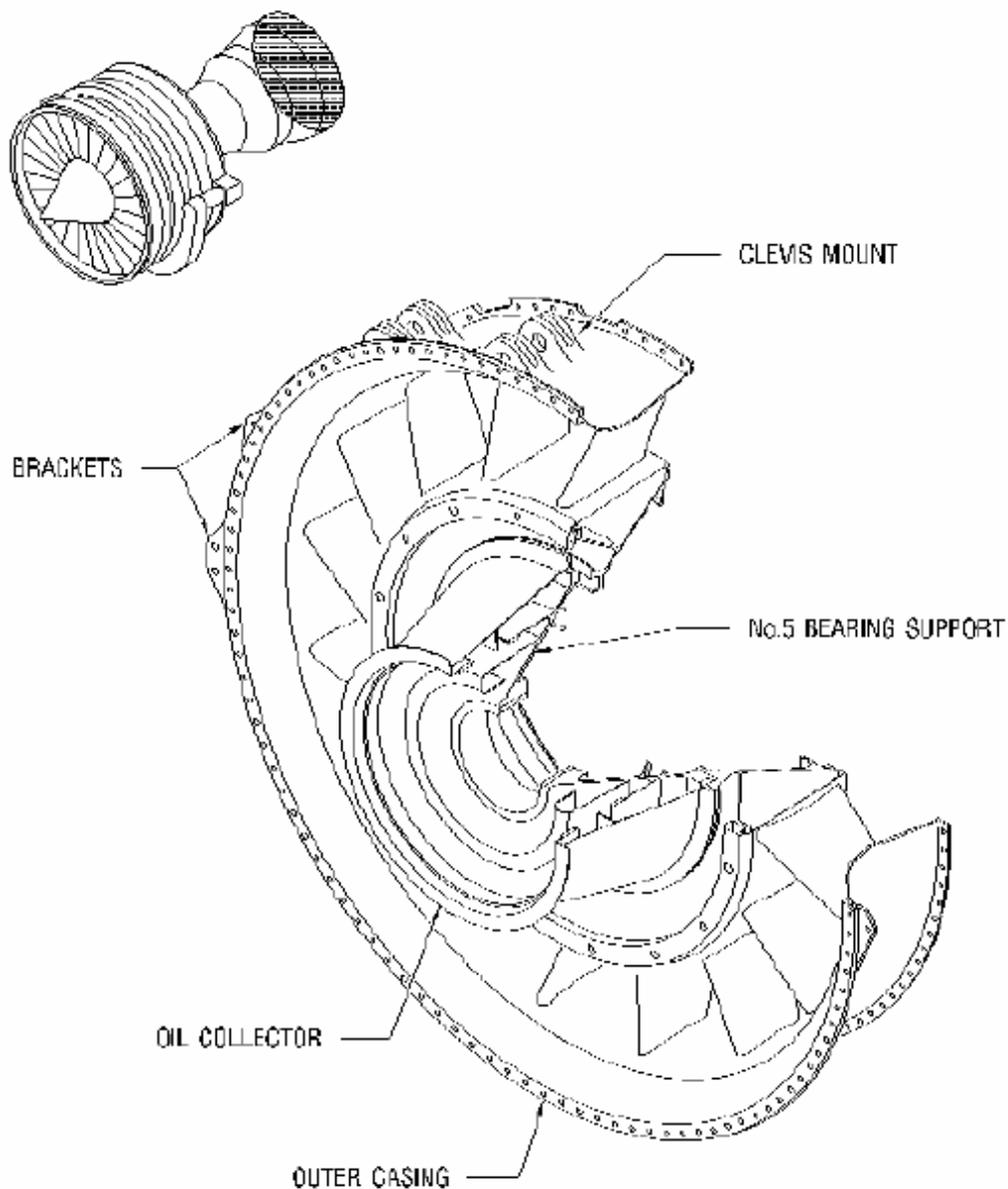


Figura 30. Modulo del Marco de la Turbina de Baja Presión



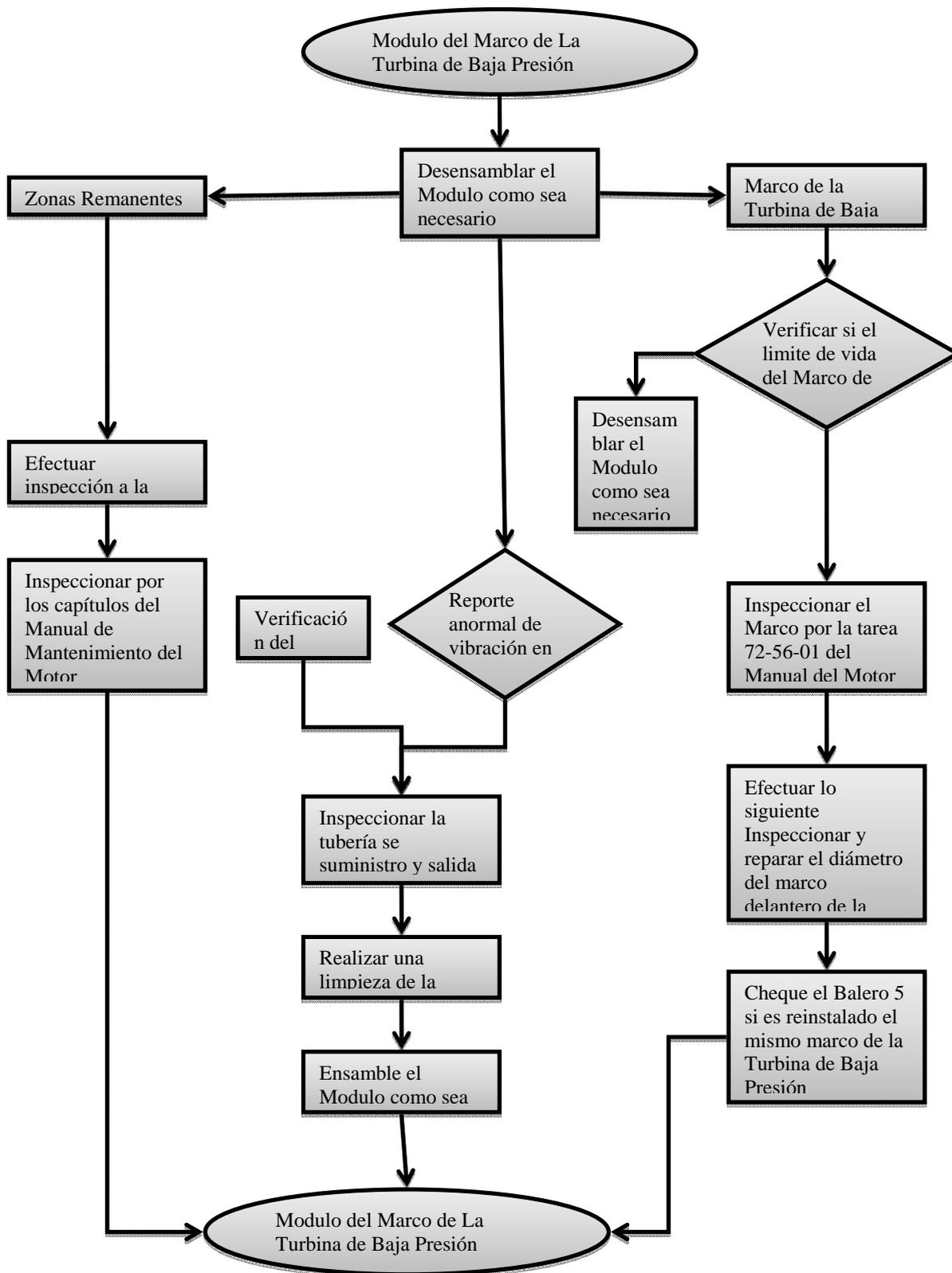
**MODULO DEL ROTOR Y DEL ESTATOR DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN**

Figura 32. Modulo del Rotor y del Estator de la Turbina de Baja Presión

## MODULO DE LA FLECHA DE LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN

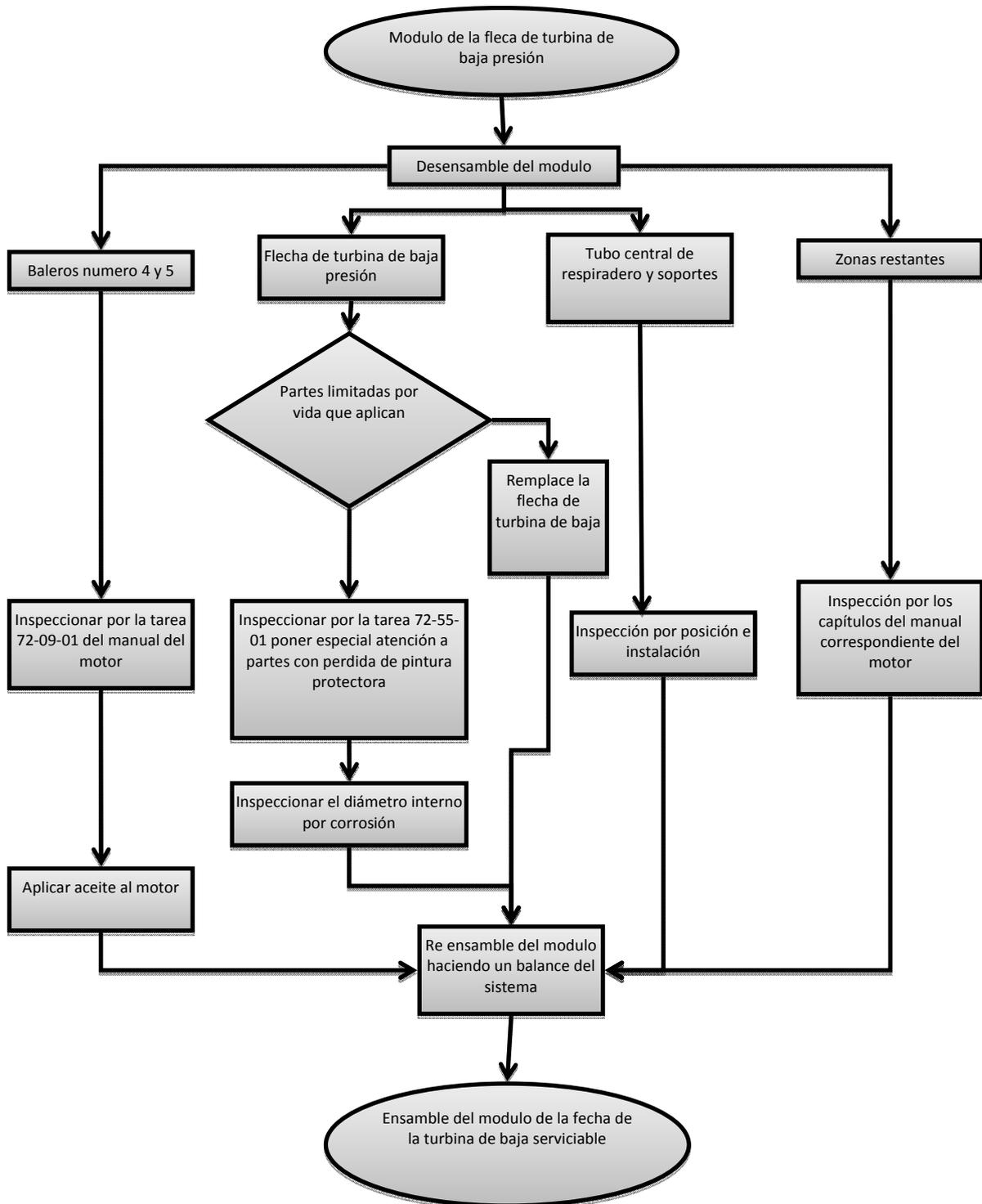


Figura 33. Modulo de la Flecha de la Turbina de Baja Presión



## CAPITULO 2. “ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE REPARACIÓN.”



## 2.1 MONITORES DEL RITMO DE VISITA A TALLER REPARADOR.

En términos simples el costo de mantenimiento del motor puede ser aproximadamente el producto de multiplicar el promedio de la velocidad con que se manda el motor al taller reparador por el promedio del costo de una visita a taller. Sin embargo en la figura resultante, no es contado como un costo del mantenimiento básico ni del desarrollado en línea. El costo L&B puede ser considerado relativamente arreglado. Por lo tanto, el controlar el ritmo ó velocidad de envío a taller de los motores, tendrá un impacto significativo sobre el control de los costos de mantenimiento de los motores.

La siguiente figura muestra dos diferentes tendencias de visita a taller:

- Una tendencia corresponde a un promedio de ritmo de envío para todos los operadores del motor CFM 56.
- La siguiente tendencia corresponde a un operador (CFM) con el mismo tipo de motores, el mismo rango de horas / ciclos para la flota de motores.

El significado de monitorear el ritmo con que se envían los motores a taller realmente no es para producir un menor costo de mantenimiento, Sin embargo Reduciendo el ritmo de envío a taller definitivamente resultara en una disminución del costo de mantenimiento del motor.

Una forma para reducir el ritmo de visita a taller es por medio de una mejora en la plantación del Workscope, en cada uno de los motores. El plan Workscope deberá poder controlar el ritmo de visita y costo; sin sacrificar la confiabilidad del motor sobre el ala.

Antes de introducirnos a la primera técnica para controlar los ritmos de visita a taller, hay que considera los beneficios de reducir el ritmo de envío a taller.

De la siguiente figura, podemos observar que el operador CFM esta experimentando un ritmo de envío a taller alto. Aproximadamente 20% mas alto que el ritmo de envío promedio de todos los demás operadores.

Un ritmo de envío 20% mas alto representa un costo adicional aproximado de \$12 dólares por hora de vuelo del motor. Haciendo los cálculos, se estima que este costo adicional se traduce como un costo promedio adicional de \$100,000 dólares para este tipo de motor en particular.

Dependiendo del tamaño de la flota, una pequeña reducción en el costo de mantenemos por hora de vuelo por motor pudiera representar ahorros significativos cuando se comparan con los costos de mantenemos Overhaul por año.

Ahora bien los operadores deberán considerar los diferentes rangos de hora / ciclo cuando comparen su ritmo de visita a taller con el ritmo de visita de algún otro operador.



## Impacto del ritmo de visita sobre el costo de manteniendo.

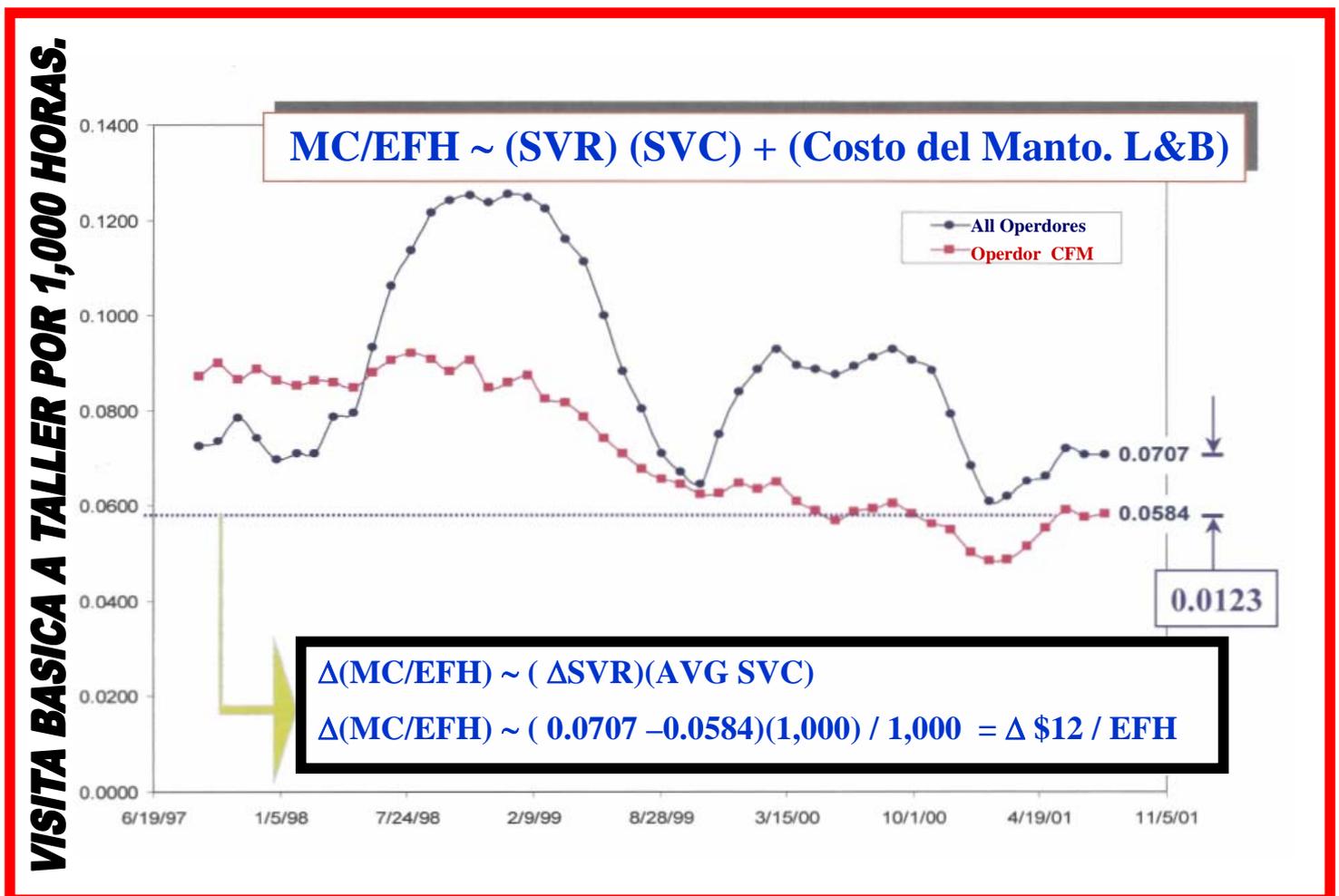


Figura 2.1 Impacto del ritmo de visita sobre el costo de manteniendo.



## IMPACTO DEL RITMO DE VISITA A TALLER REPARADOR SOBRE EL COSTO DE MANTENIMIENTO DE LOS MOTORES.

La siguiente ilustración muestra que el ritmo de envió a taller para un operador PW y el promedio de tiempo de envió para cualquier otro operador con el mismo tipo de motores y con la misma proporción de horas de uso por ciclos de uso.

En este ejemplo, el operador PW esta experimentando una tiempo de envió a taller aproximadamente 54% mayor que el resto de los otros operadores con la misma flota de operación.

Usando el producto de multiplicar el promedio de tiempo de envió por el costo por envió a taller obtenemos un incremento relativo en el costo de aproximadamente \$36 dólares por hora de vuelo del motor para el promedio de la flota (el promedio de todos los operadores juntos)

Con este valor podemos asumir que por cada 36 dólares que se incrementan por hora de vuelo del motor; una visita a taller nos puede incrementar un promedio de \$400,000 por visita a taller.

Utilizando el valor de \$36 dólares por horas de vuelo, iremos calculando a través de estimaciones de costo de mantenimiento anuales de la flota, sin dejar de tomar en cuenta que dependerá del tamaño de la flota y la utilización anual de las aeronaves.

El principal objetivo de este calculo es el llegar a estar consientes de los ahorros potenciales que pueden resultar al incrementar el tiempo de envió al taller.

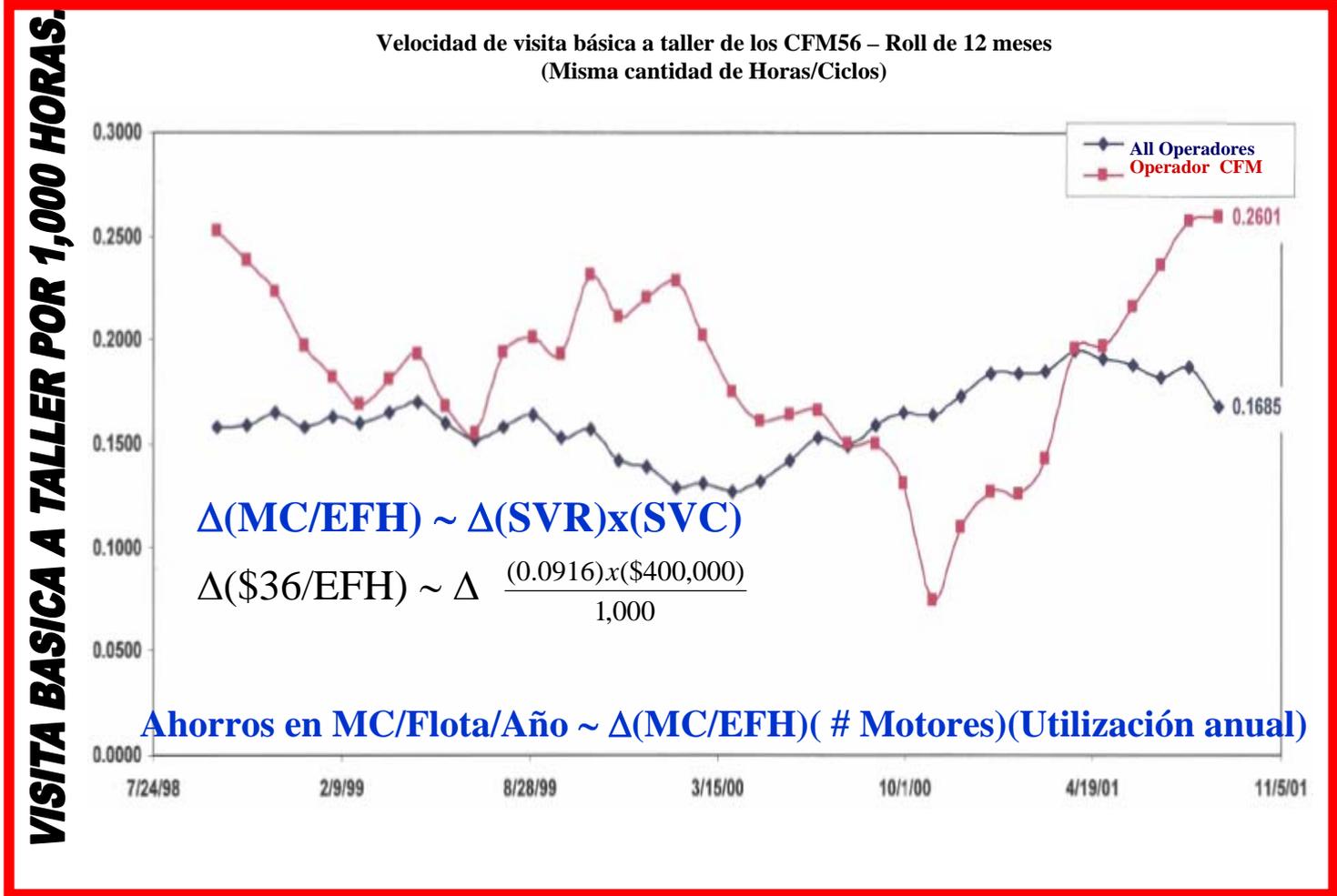


Figura 2.2 Velocidad de visita básica a taller de los CFM56 – Roll de 12 meses (Misma cantidad de Horas/Ciclos)



## 2.2 DEFINICIÓN CAPACIDAD DE SOFT-TIME DE LOS MÓDULOS

### COSTO DEL MANTENIMIENTO DEL MOTOR- SECCIÓN FRÍA.

Cuando el porcentaje de las partes de desecho esta tabulada con respecto al tiempo On-Wing, una curva de costo de materiales por horas de vuelo del motor será en función de los intervalos de visitas a taller puede ser derivada de la misma base de datos.

Un perfil típico de la sección fría del motor MMC/EFH vs. Los intervalos de visita a taller están mostrados mas adelante. De esta curva podemos observar que a mayor tiempo en que el motor permanezca sobre el ala, menor será el MMC/EFH.

Un punto básico para mantener una flota de motores es mantener el motor sobre el ala el mayor tiempo posible, la curva que se muestra mas adelante, muestra que este requerimiento puede llevarse acabo a través de mantener la sección fría el sobre el ala por un mayor tiempo. Sin embargo para la mayoría de los diferentes tipos de motores, cada modulo alcanza un umbral. El umbral para la sección fría, en la mayoría de los casos esta muy cerca o en ocasiones dentro de la capacidad del modulo (estabilidad de umbral). Es este umbral el que previene al operador de mantener el motor sobre el ala por un tiempo prolongado. Luego cada operador tendrá que determinar el valor del umbral (en ciclos/horas) para cada modulo basado en su experiencia.

Nosotros propondremos una guía para establecer los limites para cada modulo. Mucha información puede ser encontrada en los Engine Management Plan y/o en los Maintenance Advisory Notice (MAN).

Comúnmente, los Soft-Time recomendados por los fabricantes para cada modulo representan aproximadamente la capacidad del modulo, (o limite). Continuar operaciones por encima de los Soft-Time establecidos puede resultar en un incremento del riesgo de experimentar alguna eventualidad en el motor.

Por esta razón los fabricantes recomiendan en su totalidad de las veces, que si un motor se encuentra en taller (por cualquier tipo de razón) y el motor tiene módulos que han acumulado una cantidad de ciclos/hora más grandes que sus Soft-Times. Renovar estos módulos. Aclarando que el Soft -Time representa, un Hard - Limit.

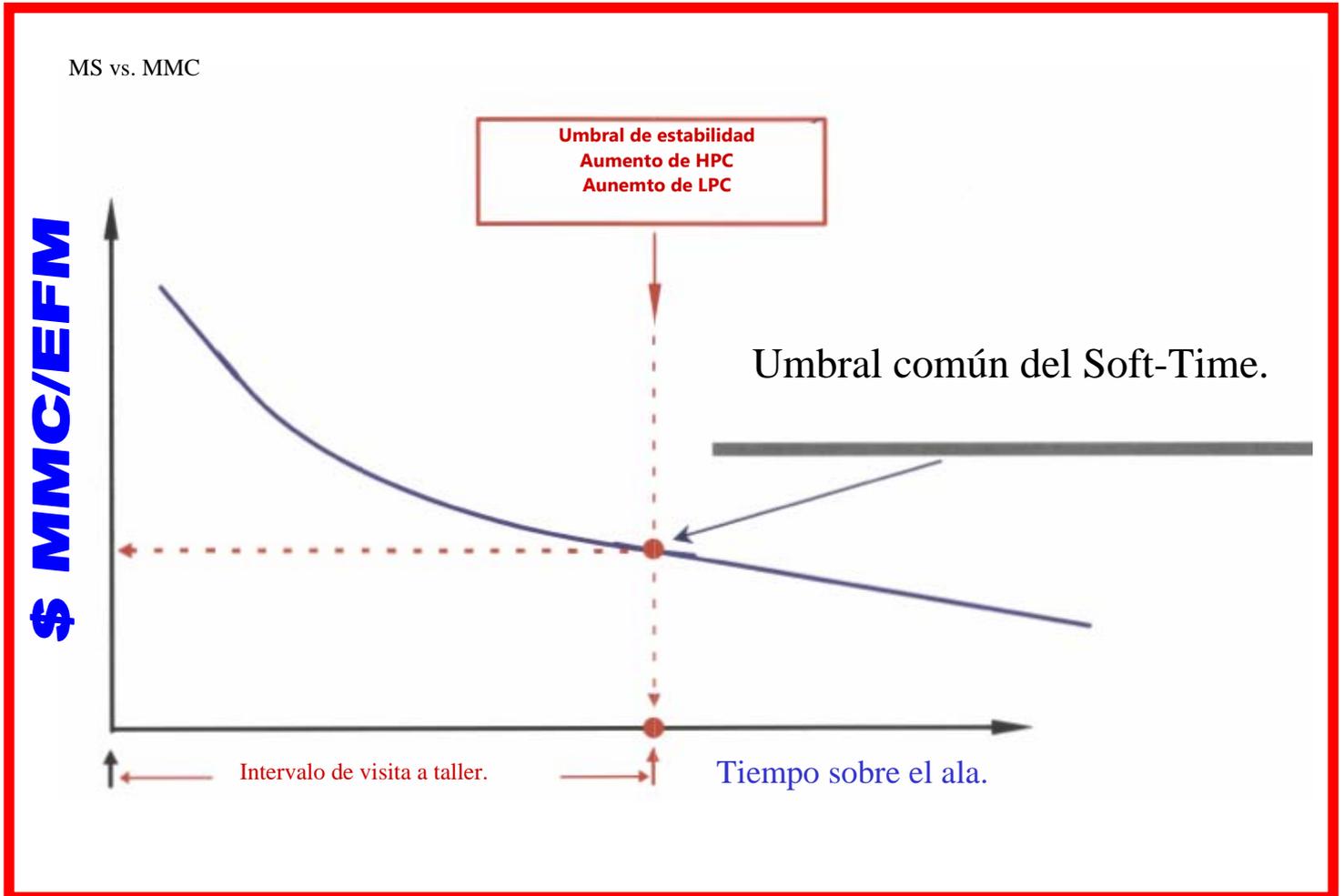


Figura 2.3 MS vs. MMC Sección fría



## **COSTO DE MANTENIMIENTO DEL MOTOR- SECCIÓN CALIENTE:**

El perfil común de la sección caliente MMC/EFH vs. los intervalos de taller se muestra en la siguiente figura. De esta figura podemos apreciar que mientras más largo es el tiempo en que el motor se encuentra sobre el ala más alto será el MMC/EFH.

Esta correlación sin embargo, podría no ser aparente para todos los tipos de motores. Nosotros desarrollaremos una correlación similar para determinar las características de la sección caliente de los motores.

Partiendo de que la sección caliente es la parte más costosa de la trayectoria de los gases del motor, y su vida es muy susceptible del tiempo que permanezca sobre el ala, el MMC/EFH incrementa cuando el motor acumula tiempo sobre el ala. Sin embargo en la mayoría de los casos, aun si el 100 por ciento de los desechos son deseados, la vida de las partes alcanza su límite antes de que las piezas consuman toda su vida. Estos límites incluyen: Fallas detectadas en inspecciones por Boroscopio, y rebases en los límites de los EGT.

Los fabricantes de los motores proveen guías para establecer los grados de límites para cada módulo. Mucha información se puede encontrar dentro de los (EMP) y/o en los (MAN).

En general los fabricantes recomiendan, Soft-Time, para cada módulo, representando, aproximadamente la capacidad del módulo (o su límite). Continuar operando después de rebasar estos límites Soft-Time, puede resultar en un alto riesgo de experimentar una eventualidad en el motor, y un posible costo de material de mantenimiento muy elevado (primordialmente el de la sección caliente).

Por esta razón, todos los fabricantes de motores, recomiendan renovar los módulos que tengan acumulado una cantidad de ciclos/hora mayor o igual que el Soft-time. Recalcando que un Soft-Time no representa un Hard-Time.

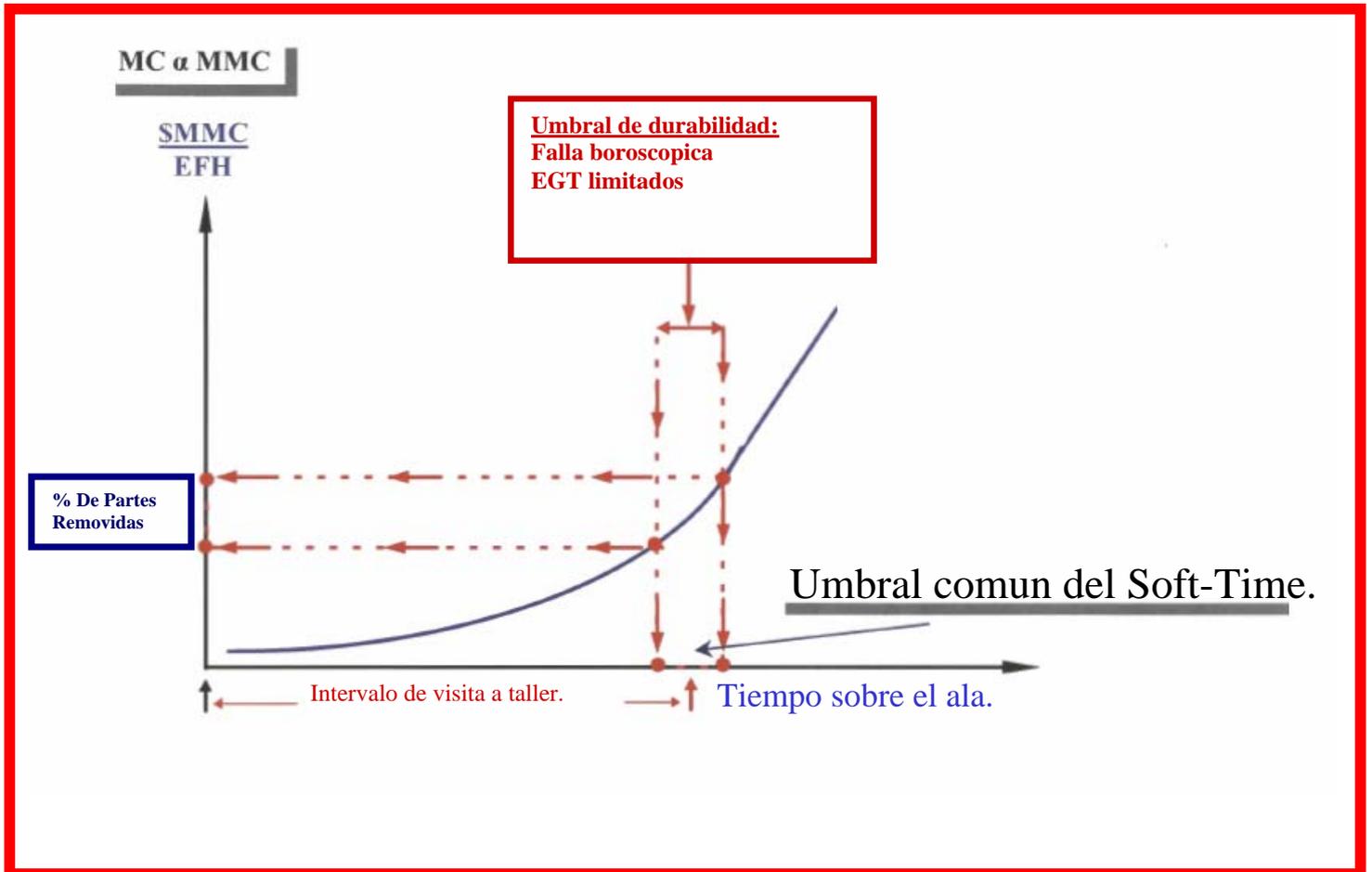


Figura 2.4 MS vs. MMC Sección caliente



## RECOENDACIONES DEL FABRICANTE “GENERAL ELECTRIC”

En adicción a la propia experiencia de los operadores, revisando los records de inspecciones de rutina, datos de pruebas en tierra, y recomendaciones específicas de los fabricantes para ayudar en el cálculo del workscope.

El siguiente escrito, representa las recomendaciones para un modulo específico comunes publicado por el fabricante. Estas recomendaciones varían dependiendo de:

- La combinación de la estructura y el motor
- Tipo de motor
- Políticas de mantenimiento del operador.
- Experiencia del operador

Nota: para poder obtener detalles completos acerca de un modulo completo se tendrá que referirse a el EMP Engine Management Plan para obtener mejores recomendaciones.

Acciones recomendadas para el mantenimiento de los motores CFM 56		
	Promedio recomendado de Horas / ciclos	Mejorías en funcionamiento, Operabilidad, y/o Incremento de la durabilidad.
Primera etapa LPC Fan / lubricación de Blade shroud	A – Check / 500 Hrs.	Incrementado el margen de vibración. Previendo vibración debido a los alabes des balanceados.
Fan blade / Modulo LPC	5,000 / 20,000	Margen de EGT +3°C; Cruce de TSFC -0.8% a -1.3%; Margen de N1 +1.2% a
Fan case / Case intermedia	5,000 / 20,000	Mantiene la durabilidad de la cubierta y proporciona un margen suficiente.
Modulo HPC	4,000 / 16,000	Margen de EGT +10°C; Cruce de TSFC +1.0%; LPC aumento del margen del 2%; HPC aumento de margen del 4.0% .
Difusor y cama de combustión / Turbine Nozzles group	4,000 / 16,000	Asegura la integridad de la cubierta del difusor, restaura la superficie del ducto, y aumenta el TSFC.
Modulo HPT	2,000 / 16,000 * 4,000 / 16,000 *	Protege a la primera etapa del HPT contra fracturas Aumenta el margen de HPC, el margen de EGT +20°C; Cruza el TSFC -1.5% a -2.0%
Modulo LPT	4,000 / 16,000	EGT margen de +3°C; Cruza el TSFC -0.2% a -0.8%
Cubierta de escape de la Turbina	4,000 / 16,000	Asegura el flujo adecuado del aceite a través del compartimiento del balero numero 4 y también del barrido de ese compartimiento
*Ciclos / horas varían con el tipo de motor. Referirse a los manuales CFM		

Tabla 2.1 Acciones A recomendadas para el mantenimiento de los motores CFM 56



Acciones recomendadas para el mantenimiento de los motores CFM 56		
	Promedio recomendado de Horas / ciclos	Mejorías en funcionamiento, Operabilidad, y/o Incremento de la durabilidad.
Fan blades	A – Check	Inspección visual a los alabes por estriado.
Modulo del fan	2,000 / 3,000 ciclos	Aumento del rendimiento y la estabilidad.
Modulo LPC	2,500 / 7,000	Restauración de Margen de EGT +2°C; Cruce de TSFC -0.9%; Restauración de los últimos alabes de LPC aproximadamente 2 y HPC.
Modulo HPC	4,000 / 10,000	Restauración de Margen de EGT +8°C; Cruce de TSFC -0.9%; Aumento significativo del margen de LPC y HPC.
Cámara de combustión	On - Condition 4,000 / 10,000	Localización de señale de fatiga y cubiertas quemadas en las mamparas
Primeros alabes de l fan	On - Condition 5,000 / 30,000	Localización de fracturas encontradas en los bordes de ataque y salida y el lado cóncavo.
Modulo HPT	On - Condition 2,000 / 15,000 6,000 / 21,000	Localización de problemas comunes como: Oxidación y fracturas en la primera hilera de alabes. Corrosión y oxidación de la segunda etapa de de la turbina.
Modulo LPT	15,000 / 18,000	Aumentando rendimiento y estabilidad del compresor
Cubierta de escape de la Turbina	8,000 / 10,000	Dependiendo del operador
(Referirse al plan de dirección de mantenimiento)		

Tabla 2.2 Acciones B recomendadas para el mantenimiento de los motores CFM 56

Acciones recomendadas para el mantenimiento de los motores CFM 56		
Modulo	Promedio de ciclos de restauración recomendado	Puntos a enfocar
Modulo Fan / LPC	On- condition Promedio 10,000	Etapas 1 Fan borde de ataque de los alabes
Modulo HPC	Promedio 10,000 – 12,000 Mínimo 5,000 - 6,000	Restauración del desempeño, Dirección de la Fracturas de los alabes, Manejo de las fracturas de los estatores.
Cámara de combustión	On- Condition	Fracturas en el liner y el outer case de la cámara de combustión
Primera etapa de alabes / modulo HPT	On – Condition Promedio 6,000 - 10,000	Fracturas en la pestaña de balance, Roturas en la el airfoil, erosión en los alabes y estatores.
Modulo LPT	On – Condition Promedio 3,000 - 10,000	Fricción entre los alabes y los estatores de la segunda etapa, desgaste de la estructura estática del LPT
Área de escape de la turbina	On – Condition	Liberación del cono de cola, segmentos de retención del forro de la cubierta del escape, roturas en el lóbulo mezclador.
(Referirse al plan de dirección de mantenimiento)		

Tabla 2.3 Acciones C recomendadas para el mantenimiento de los motores CFM 56



## REGLAS DE APROBACIÓN PARA UN WORKSCOPE ESTÁNDAR.

Para ayudar mantener una consistencia en la definición de Workscope a través de la flota. El operador deberá establecer normas, para poder decidir entre un mínimo, ligero o alto trabajo de mantenimiento.

Estableciendo estándares sobre la cantidad de trabajo a realizar a cada motor, siendo esto esencial para lograr buenos resultados.

Uno de los métodos para establecer parámetros de mantenimiento es a través de simples reglas de aprobación y aplicándolas al los parámetros de plan de trabajo.

Una regla típica de aprobación recomendada para los turborreactores sobre el HPC es la 70X30. Esta regla implica lo siguiente:

- Si el Soft-Time del HPC ha excedido el 70 % del valor limite y este pudiera excederse mas de un 30% si se esperara hasta el próximo envío a taller es altamente recomendable el trabajar ese modulo en base a el diagrama descrito mas adelante.
- Una regla similar puede ser asignada a cualquier modulo o tipo de motor. El operador deberá utilizar su experiencia con la flota para decidir sobre la mejor regla de aprobación para adaptarla a su propia flota y manera de trabajo.

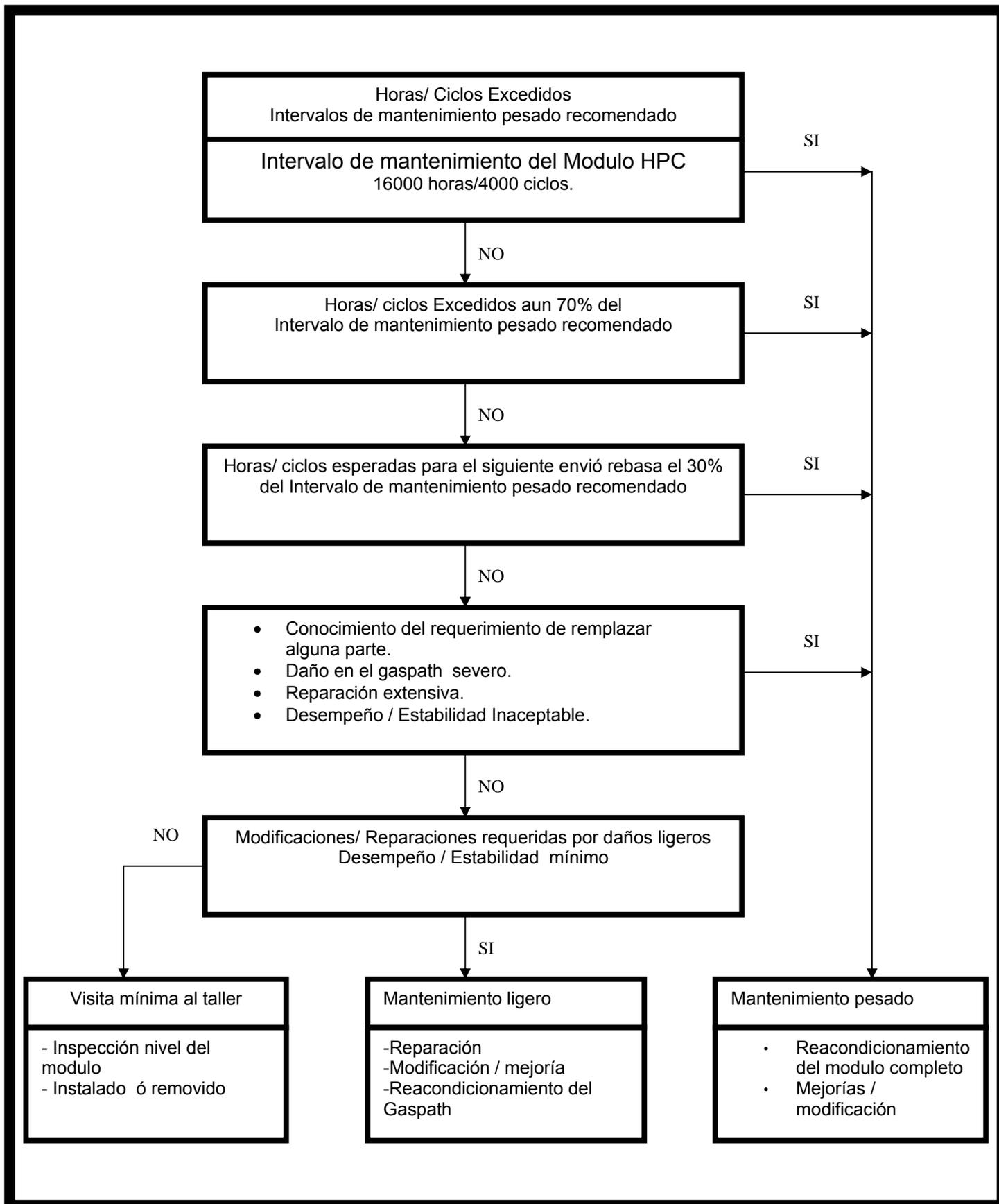


Diagrama 2.1 regla de aprobación.



## 2.3 AMORTIZACIÓN DE PARTES LIMITADAS POR VIDA (LLPs).

La siguiente tabla representa un ejemplo de los términos y ecuaciones usados para amortizar los LLPs. Cada operador deberá establecer libros de ejercicio de amortización para todas las LLPs por flota. Esta información es esencial durante el cálculo de costos de mantenimiento.

- Factor de cantidad de resguardo que se utilizara en un futuro.
- Vida útil del motor = (Vida de la parte) (longitud del avión) (factor de resguardo)
- Utilización del motor = Utilización del avión / (1+% de Reservas)
- Años para remoción = Vida útil del motor / Utilización del motor
- Numero de series = ( vida del motor)/(años para remoción ) -1
- Numero de periodos = Vida del motor / Años para remoción.
- Horas totales del motor = (Numero de periodos) (Vida útil del motor)
- Costo total = (Numero de series) / (costo por serie)
- Costo por EFH = Costo por set / Horas totales del motor

Tiempo de vida de la parte	20000 ciclos
Costo	300000 Dólares
Utilización del avión	3180 Hrs/Año
Longitud de vuelo	2 Hrs
Repuesto	25 %
Factor de resguardo	85 %
Vida del motor	20 Años

Calculando.

Tiempo de resguardo	= 20,000 x 2.0 x 0.85	= 34,000 Vida útil de motor Hrs.
Utilización del motor	$\frac{3180}{(1 + 0.25)}$	2,544 Hrs/Año Motor.
Años para remoción	$\frac{24,000EH}{(2544EH / Año)}$	13.36 años.
Numero de set	$\left(\frac{20años}{13.36años}\right) - 1$	0.49 o 1
Numero de periodos	$\left(\frac{20años}{13.36años}\right)$	1.49 o 2
Horas totales del motor	2 x 34,000	= 68,000 Vida útil del motor (Hrs)
Costo total	1 x 300,000	= 300,000
Costo \$ / EFH	$\frac{300,000}{(68,000)}$	\$4.41 / EFH

Tabla 2.4 Amortización por LLPs



La siguiente tabla representa un ejemplo de la amortización de las LLPs para un motor JT8 Similares tipos de amortización son comúnmente publicados por los planes de mantenimiento de los motores EMP.

Las páginas siguientes muestran un ejemplo de cómo amortizar las LLPs El mismo proceso utilizado en el ejemplo, fue utilizado para desarrollar la siguiente tabla

Nosotros utilizaremos esta tabla en las siguientes partes de esta sección para poder desarrollar el workscope para un motor específico.

Condiciones		Resultados	
1.40	Horas x vuelo	\$10.68	Costo de reemplazo \$/EFH
240	Horas mensuales	20	# De partes reemplazadas
20	% Repuesto	\$577,011	Costo total por las partes reemplazadas
5	% Factor Stub	\$577,011	Costo total por set del motor
20	Años de vida del motor		

Parte	Precio	P/N	Ciclos	Vida útil Hrs	Años para remoción	Sets	Periodos	Horas de motor	Costo total	Costo de amortización \$/EFH
HUB	\$87,000	5000501-01	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$87,000	1.64
DISK 1.5	\$65,080	800115	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$65,080	1.22
DISK 2	\$25,030	772402	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$25,030	0.47
DISK 3	\$45,930	772803	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$45,930	0.86
HUB	\$14,670	777704	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$14,670	0.28
DISK 5	\$35,200	802105	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$35,200	0.66
DISK 6	\$16,670	772806	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$16,670	0.31
DISK 7	\$14,680	5006007-01	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$14,680	0.28
HUB	\$21,260	797938	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$21,260	0.40
DISK 9	\$6,595	798509	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$6,595	0.12
DISK 10	\$7,068	772510	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$7,068	0.13
DISK 11	\$7,064	772511	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$7,064	0.13
DISK 12	\$6,814	798512	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$6,814	0.13
DISK 13	\$31,010	5005613-01	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$31,010	0.58
DISK 1	\$73,010	832201	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$73,010	1.37
HPT SHAFT	\$15,340	5000947-01	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$15,340	0.29
DISK 2	\$18,910	777622	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$18,910	0.36
DISK 3	\$20,050	777603	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$20,050	0.38
DISK 4	\$20,180	800804	20,000	26,600	11.08	1	2	53,200	\$20,180	0.38
LPT SHAFT	\$45,450	5000923-01	25,000	33,250	13.85	1	2	66,500	\$45,450	0.68
	\$577,011					20		\$577,011		\$10.68

Tabla 2.5 Amortización de las LLPs para un motor CFM

	0.50	0.75	1.00	1.40	2.00	2.40	3.00	4.00
Largo del vuelo	167	192	214	240	265	276	295	313
Utilización de A/C								
Costo de amortización	\$44.52	\$26.57	\$19.61	\$10.68	\$7.47	\$5.83	\$4.66	\$0.00

Tabla 2.6 Amortización estándar



## 2.4 IMPACTO DE LAS PARTES LIMITADAS POR TIEMPO DE VIDA SOBRE EL COSTO DE MANTENIMIENTO DEL MOTOR.

- La siguiente tabla muestra partes limitadas por límite de vida específicas y los ciclos para un motor CFM.
- El dueño del motor que se ha adquirido después de haber sido restaurado en su totalidad (todos los módulos completamente restaurados). Sin embargo el plan del Workscope para este motor obviamente no ha sido tomado en cuenta dentro del impacto de las partes limitadas por tiempo al costo del mantenimiento del motor.
  - El motor ha acumulado 2291 ciclos es decir 4281 horas desde su último Overhaul. (Desde que se adquirió).
  - El motor fue removido a esta cantidad de ciclos (2291) debido a que la vida útil del disco C4 ha expirado.
  - El propietario del motor se enfrenta a tener que determinar el Workscope del motor.
- Las siguientes páginas prepararan al propietario para poder decidir sobre cuales de los LLPs deberán de ser cambiadas en la siguiente visita al taller reparador. Así como las preguntas que se debe de hacer el propio operador para poder decidir esto.
- En este estudio se darán las bases para calcular el costo de mantenimiento por hora de vuelo por motor para tres diferentes Workscope.
- La capacidad de la sección caliente es de aproximadamente 6,000 ó 8,000 ciclos desde el Overhaul
  - El costo de la restauración total de la sección caliente es de aproximadamente \$300,000 dólares el costo incluye el costo de todas las LLPs que ya hallan expirado.
  - El costo de una visita a taller solo para el cambio de las LLPs es de aproximadamente \$200,000 dólares.
- Calculando el promedio de costo de mantenimiento del motor por hora de vuelo (MC/EFH) basándonos en el producto de la velocidad de la visita a taller (SVR) y el promedio de costo de la visita a taller (SVC).
- $MC/EFH - SVR * SVC$



TTSO                      4,281                      TCSO                      2,291

Actual (proyectado) HRS/CICLOS Rango 2                      Dueño anterior                      HR/CICLOS 1.87

	Horas restantes	Ciclos restantes @ 2 Hrs/Ciclo		Disk	Ciclos restantes	Ciclos usado en el disco	Disk
C4	27	14		C4	2,577	14	2,557
C3	3,362	1,618		C3	6,118	1,681	C3
C6	6,181	3,091		C6	3,039	3,039	C6
C13	10,588	5,294		C13	4,811	4,811	C13
T2	9,972	4,986		T2	8,983	4,986	T2
T3	10,629	5,315		T3	5,210	5,210	T3
T4	11,586	5,793		T4	9,916	5,793	T4
C2	11,718	5,859		C2	16,709	5,859	C2
C10	16,016	8,008		C10	10,614	8,008	C10
T1	16,638	8,319		T1	11,214	8,319	T1
C7	17,077	8,533		C7	12,828	8,533	C7
C12	17,264	8,632		C12	13,248	8,632	C12
C1	N/A	99,999		C1	9,402	9,402	C1
C9	19,028	9,514		C9	12,534	9,514	C9
C8	19,709	9,855		C8	13,289	9,855	C8
C11	25,718	12,859		C11	17,709	12,859	C11
C5	25,718	12,859		C5	17,709	12,859	C5

Tabla 2.7 partes limitadas por límite de vida específica y los ciclos para un motor CFM

## 2.5 ESCENARIOS

- Ahora calcularemos el costo aproximado del reemplazo de las LLPs para cada uno de los tres escenarios. (a, b, c).
  - Utilizaremos el promedio de los costos de los materiales por hora de vuelo del motor para las correspondientes LLPs, como se muestra en la siguiente tabla.
  - Referiremos para los escenarios a), b) y c) en las hojas previas para calcular el número de horas para el reemplazo de cada disco.
  - Compararemos los resultados obtenidos con el promedio del costo de hora vuelo del motor por cada visita al taller de los tres escenarios diferentes.

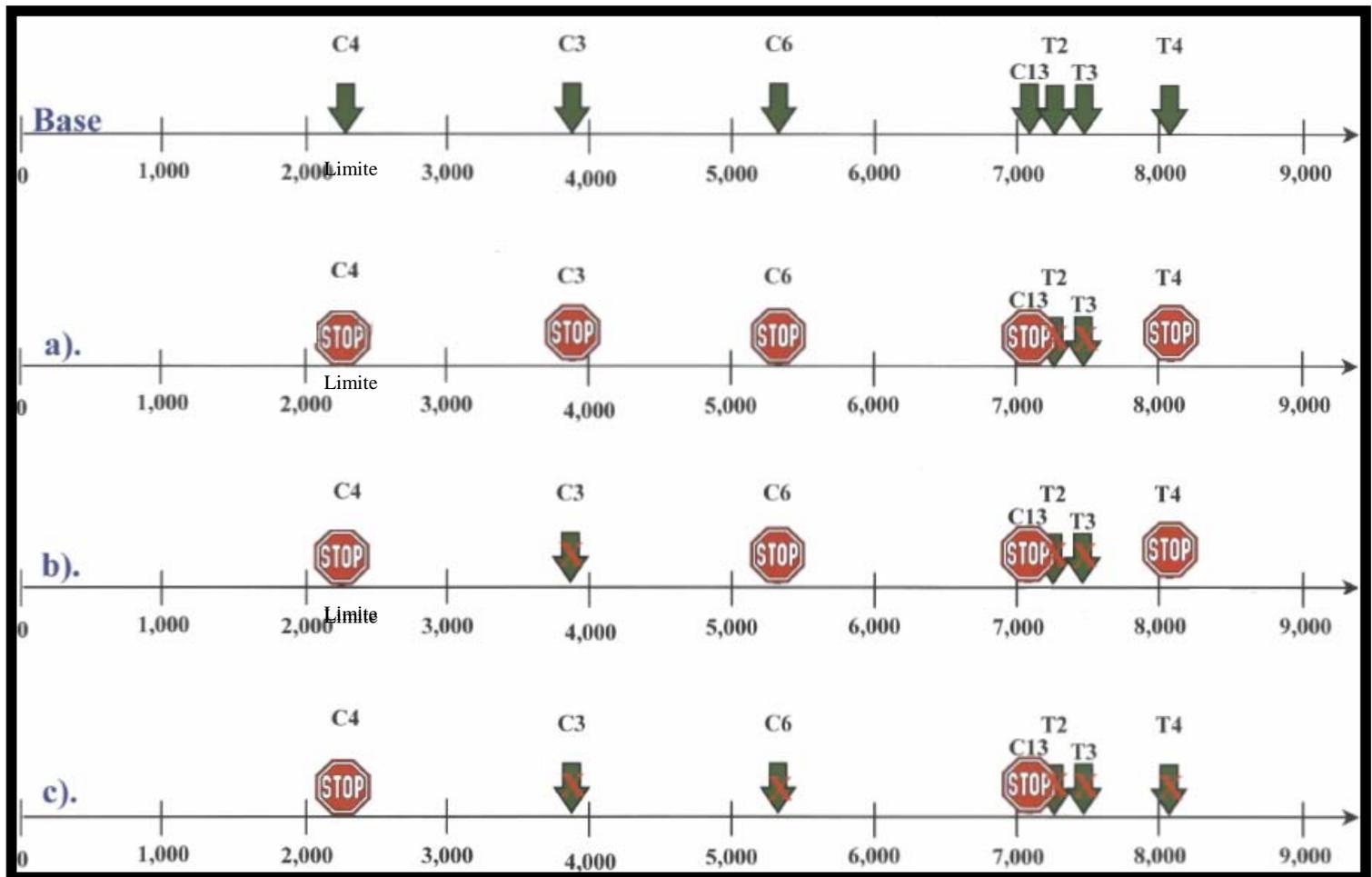


Figura 2.5 Escenarios



## 2.5 Impacto del Plan del Workscope sobre el costo de manteniendo de los motores.

- Escenario 1: Produce un Workscope basado sobre un pan específico. En las siguientes páginas mostraremos 5 posibles Workscope (escenarios). Los operadores que quieran reducir los costos de mantenimiento deberán de considerar los escenarios propuestos y decidir sobre el mejor de los Workscopes para el motor.
- el mejor plan de Workscope resultara del plan que producirá los más bajos (óptimos) costos de mantenimiento y la optima confiabilidad del motor sobre el ala (mínimo riesgo de experimentar una eventualidad).
- Utilizaremos la tabla abajo para los cálculos de los siguientes 5 escenarios presentados.
  - Calculando el promedio de velocidad de envío a taller, el promedio de costo de visita a taller, el promedio de costo por hora de vuelo del motor por cada uno de los escenarios.
  - Calcularemos la confiabilidad para cada uno de los Workscope basados en la confiabilidad y capacidades relativas de las LPC y HPC (Soft-time).

Escenario	MC Por EFH	SVR Por 1,000 Hrs	\$\$AVG SVC @ SVR	\$\$ Total En SVC @ TT	Desempeño Del motor Riesgo	\$\$ Total Para CSR @ SVR	\$\$ Total Para HSR @ SVR	\$\$ Total Perdidos LLPs SVR	Total LTP SBs	\$\$ Total On SV Deb LLPs
1	48	1.1363	350,000	2,100,000	Medio	1,000,000	900,000.0	0	0	200,000
2										
3										
4										
5										
6										
CSR=	Cold section refurbishment \$500,000									
	Restauración de la sección fría \$500,000									
HSR=	Hot section refurbishment \$300,000									
	Restauración de la sección caliente \$300,000									
LLPs =	Life limited parts									
	Partes limitadas por tiempo									
MC =	Maintenance cost									
	Costo de mantenimiento = SVR x SVC									
SBs =	Service Bulletins									
	Boletines de servicio									
SV =	Shop Visit									
	Visita a Taller									
SVC =	Shop Visit Cost									
	Costo de Visita a taller									
SVR =	Shop Visit Range = Shop Visit Per Engine TT									
	Velocidad de envío a taller = Envíos a taller por motor TT									
TT =	Total Time									
	Tiempo Total									
Perform Risk	Riesgo de desempeño basado en la capacidad relativa para soft- time de los módulos.									

Tabla 2.6 CFM WORKSHEET



## 2.6 IMPACTO DEL PLAN DEL WORKSCOPE SOBRE EL COSTO DE MANTENIENDO DE LOS MOTORES Y AC IOC.

- La tendencia mostrada más adelante corresponde a las de las remociones sufridas por HPT del motor CFM.
- El análisis muestra pequeños cambios relativos en EGT, Wf y N2 en los niveles de tendencia previos, estos pequeños cambios fueron suficientes para requerir una inspección a la sección caliente prioritaria en la siguiente rutina de inspección.
- La inspección boroscópica nos revela que en la sección HPT existe un daño excesivo en el alavés debido a una surfuración interna.
  - El motor por lo tanto fue removido basado en lo encontrado. El operador deberá llamar a esta remoción como una remoción no programada debido a que estaba esperada por lo menos unos 1000 ciclos sobre el ala de este motor.
- El Workscope para este motor fue la siguiente tarea para los planeadores de mantenimiento del motor.
- En este estudio, consideraremos este evento y planearemos 6 diferentes escenarios de Workscope. Los operadores deberán evaluar cada uno de los escenarios para poder determinar cual sería el más adecuado para la flota de motores.



Tabla 2.7 Tendencias de cambios relativos en EGT, Wf y N2



- Los siguientes datos deberán de ser reunidos y analizados para poder decidir sobre los Workscope.
  - Ciclos y horas de los módulos desde el ultimo Overhaul completo
  - Ciclos y horas desde la última reparación parcial.
  - Fecha más cercana de expiración de alguna de las partes limitas por tiempo.
  - Confiabilidad (Soft time) Hard-time de los módulos.
  - Situación de los boletines de servicio del motor
  - Condición de los módulos en la última visita a taller reparador.
  - Carga del taller
  - Disponibilidad de motores de repuesto
  - Presupuesto de mantenimiento
  
- Desafortunadamente, para este ejercicio los últimos puntos la lista anterior no están disponibles. Los operadores que quisieran implementar este programa deberán de considerar varios posibles Workscopes sin la debida explicación para estar 4 puntos.

	Datos	Comentarios
<b>TSO Motor</b>	18,358	Tiempo total desde el Overhaul
<b>CSO Motor</b>	8,881	Ciclos totales desde el Overhaul
<b>TSLSV Motor</b>	8,855	Tiempo desde la ultima visita a taller
<b>CSLSV Motor</b>	4,222	Ciclos desde la ultima visita a taller
<b>Restauración del modulo LSV</b>	FAN, LPT	Módulos restaurados desde al ultima visita a taller
<b>LLP (LP Shaft-Front CPR Drive)</b>	3,976 Ciclos	Partes con el menor número de ciclos restantes.
<b>LLP (LPT Disk)</b>	11,119 ciclos	Partes con el siguiente menor numero de ciclos restantes

Tabla 2.8 Tiempos CFM56



Soft- Time común de los módulos del motor CFM 56

	FAN	LPC	HPC	C.C.	HPT	LPT
<b>Promedio Soft-Time</b>	On-Condition	On-Condition	10,000 ciclos	On-Condition	On-Condition	On-Condition
<b>Experiencia Restauración int.</b>	10,000 ciclos Promedio	10,000 ciclos Promedio	5,000 a 6,000 ciclos Mínimo	Varia	Varia	3,000 a 8,000 ciclos Promedio

Tabla 2.9 Soft- Time común de los módulos del motor CFM 56

Nota: “Experiencia (Restauración Int) representa el mínimo o el promedio de de los intervalos a los cuales evidencia física ha causado la restauración del modulo.

Promedio de costo total de mantenimiento del motor CFM 56 por cada visita a taller.

Costo por visita a taller (sumando el trabajo propio)	Costo promedio (Dólares)
Miscellaneous Check y Reparaciones (Incluye cambio de LLPs)	\$200,000
Restauración de la sección caliente (HSR)	\$300,000
Manteniendo pesado (Overhaul completo CSR)	\$500,000

Tabla 2.10 Costo por visita a taller

Escenario numero 1

- Restauración de la zona caliente es de aproximadamente. 300000.
  - Restauración del combustor, 1NGVs, HPT, y LPT
  - Sin hacer cambios de LLPs
- Observaciones.
  - La siguiente visita a taller es a los 12857 ciclos (4000 ciclos desde HSR) debido a la expiración de vida de las LLPs.
  - Haciendo un overhaul completo, CSR, a los 12857 ciclos, realizando también los boletines de servicio no incorporados al LPT
- Velocidad se las visitas a taller.
  - 0.1363
  - 6 visitas en 220005 ciclos o 0.2726 visitas por 1000 ciclos = 0.1363 por 1000 horas.
- Promedio de costo de las visitas a taller.
  - 350000
  - Costo total de 2100000 por las 6 visitas.
- Desventajas: la sección caliente podría solo acumular 3976 ciclos desde el ultimo HSR ( perdiendo aproximadamente 3976 de los ciclos de CC, 1NGV y HPT)
- Alto riesgo debido al desconocimiento de las condiciones del LPC y HPC previas al siguiente boletín de servicio. El LPC y el HPC podrían acumular 12857 ciclos para su siguiente boletín de servicio.

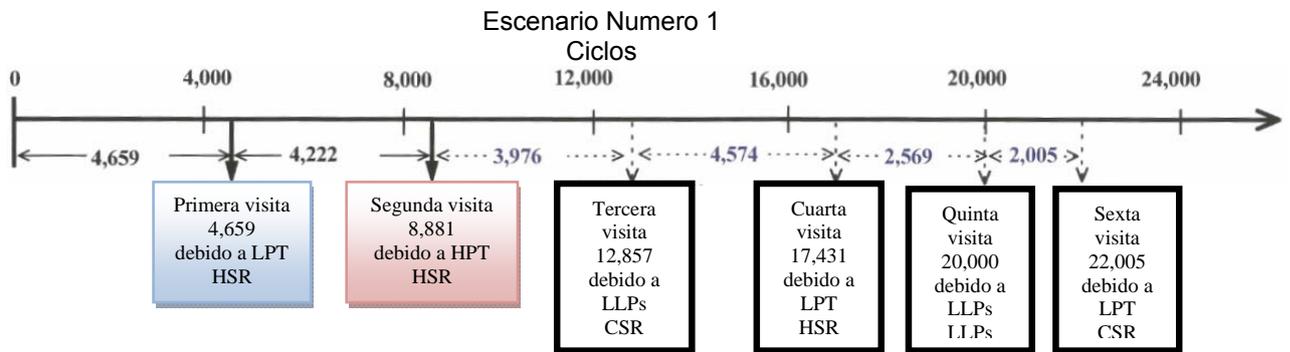


Figura 2.6 Escenario Numero 1

Ritmo de visita por 1000 horas de vuelo ~ # de visitas / La acumulación total de horas

$$SVR / 1,1000 Hrs = [ 6 \text{ Visitas} / (22,005 \text{ ciclos por } 2\text{Hrs} / \text{Rango de ciclos}) ] \text{ por Ritmo de } 1,000 = 0.1363$$

Promedio de costo de visita taller ~ Costo por visita / # de vistas

$$\text{Promedio SVC} = [ 300,000 + 300,000 + 500,000 + 300,000 + 200,000 + 500,000 ] / 6$$

$$\text{Promedio SVC} = \$350,000$$



- El principal propósito de este estudio es el de estar conscientes de algunas de las claves mostradas que deben de ser consideradas durante el desarrollo del plan de mantenimiento del motor.
- La siguiente tabla resume los 6 diferentes escenarios de Workscope. Y aun que los escenarios 4 y 5 parecieran ser los escenarios en lo que el costo de mantenimiento de los motores por hora de vuelo (MC/EFH) es el menor el operador no deberá de basarse solamente en el menor MC/EFH, sino que también en la confianza puesta en programa de mantenimiento proyectado.
- El los escenarios 4 y 5 el LPC y HPC están experimentando una acumulación mucho mayor de tiempo sobre el ala que sus capacidades excediendo significativamente su Soft-time. Estos dos escenarios podrían ser considerados como unos planes pobres debido al alto riesgo que tiene estos escenarios de que ocurra algún incidente involucrado. La probabilidad de que una remoción de motor no programada o una eventualidad del motor incrementa así como incrementa el tiempo transcurrido de un modulo sobre el ala sobre su Soft-Time recomendado. Por lo tanto el mejor plan de mantenimiento (Optimo MC/EFH) debería no solo producir el menor MC, sino que también una menor probabilidad de remoción del motor no programada. (Alta confianza en el plan de mantenimiento proyectado)
- Ahora bien los escenarios 6 y 2 aparentan el producir aproximadamente el mismo MC/EFH con un medio-bajo riesgo de una eventualidad del motor. Sin embargo para una evaluación apropiada de la confianza del programa de mantenimiento proyectado, el propietario deberá de considerar la capacidad de cada modulo basándose en su propia experiencia. Con el tipo de motor construidos tan bien como las condición del modulo por modulo del motor en la previa visita a taller. Una evaluación apropiada de la condición del motor después de cada visita a taller es esencial para la planeación del siguiente programa de mantenimiento Workscope del motor.

## PLANEACIÓN DEL WORKSCOPE DEL CFM-56



Escenario	MC por EFH	SVR por 1000 Hrs	\$ Promedio SVC, SVR	\$ Total SVC, TT	Riesgo Rend. Motor	\$ Total CSR SVR	\$ Total HSR SVR	\$ Total LLPs por SC	\$ Total LPT por SBs	\$ Total SV debido LLPs
1	48	0.1363	350,000	2,100,000	Medio	1,000,000	900,000	0	0	200,000
2	38	0.1106	341,964	1,709,822	Medio	500,000	1,200,000	9,822	0	0
3	41	0.1000	408,852	1,635,407	Medio	1,000,000	600,000	5,407	30,000	0
4	29	0.0804	360,599	1,442,394	Alto	500,000	900,000	12,394	30,000	0
5	33	0.0804	410,599	1,642,394	Alto	1,000,000	600,000	12,394	30,000	0
6	37	0.0804	460,599	1,842,394	Bajo	1,500,000	300,000	12,394	30,000	0

Tabla 2.11 Planeación del Workscope del CFM-56

En donde:

CSR=	Cold section refurbishment \$500,000 Restauración de la sección fría \$500,000
HSR=	Hot section refurbishment \$300,000 Restauración de la sección caliente \$300,000
LLPs =	Life limited parts Partes limitadas por tiempo
MC =	Maintenance cost Costo de mantenimiento = SVR x SVC
SBs =	Service Bulletins Boletines de servicio
SV =	Shop Visit Visita a Taller
SVC =	Shop Visit Cost Costo de Visita a taller
SVR =	Shop Visit Range = Shop Visit Per Engine TT Velocidad de envío a taller = Envíos a taller por motor TT
TT =	Total Time Tiempo Total
Perform= Risk	Riesgo de desempeño basado en la capacidad relativa para Soft- Time de los módulos.



- La siguiente tabla de velocidad de envío a taller (SVR) ilustra la compilación de variaciones que pueden existir sobre el SVR. La variación en los SVRs de las tablas de resumen representa el impacto de diferentes programas de mantenimiento.
- La variación de la tabla de SVR representa el impacto de todos los factores, incluyendo la capacidad de los módulos. Por lo tanto deberá de ser aparente para el planeador que el SVR depende no solo de la capacidad de los módulos sino también del propio programa de mantenimiento y del cálculo del Workscope.

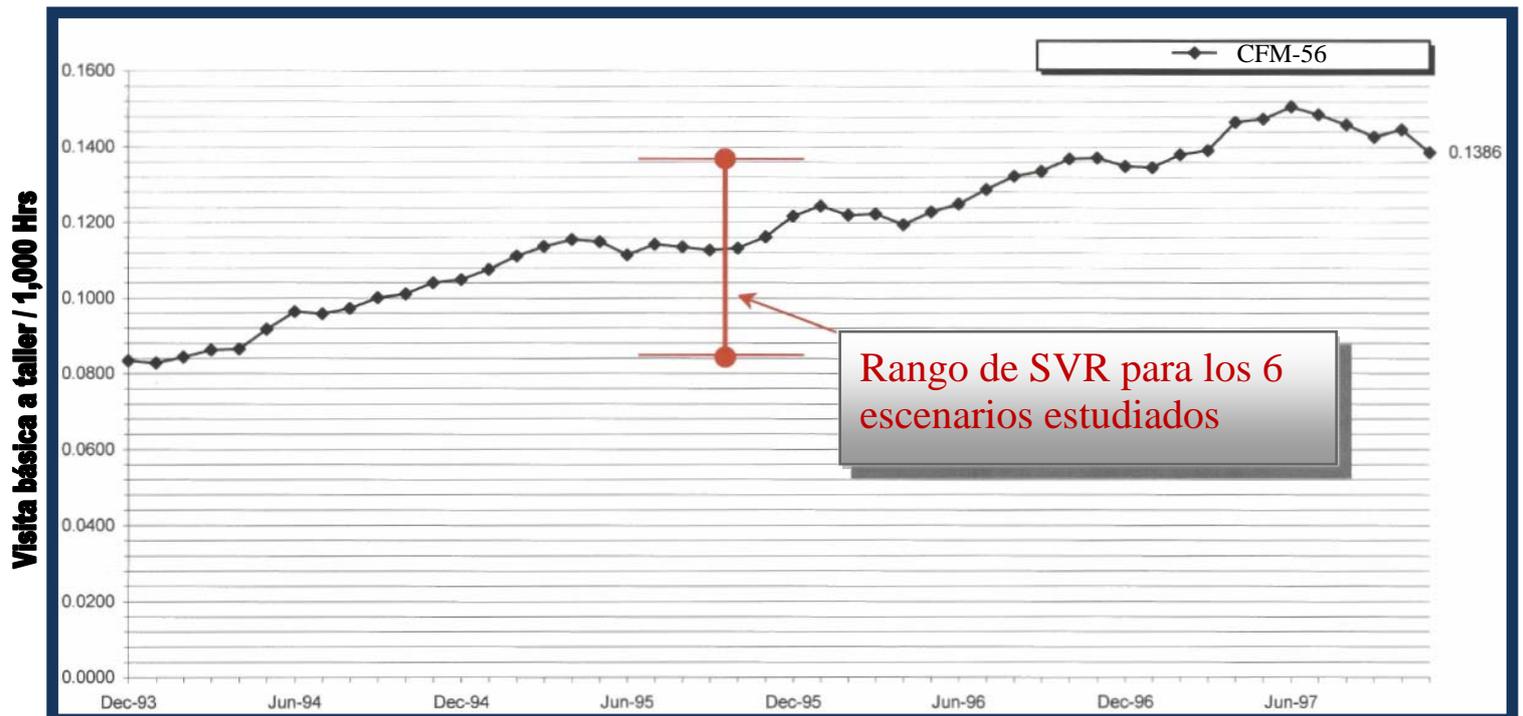


Tabla 2.12 Velocidad de envío a taller (SVR)



**ESTADO DE LOS MÓDULOS DEL MOTOR CFM-56 (CICLOS)**

Ciclos del motor	Horas por ciclo =4	FAN	LPC	HPC	1NGV, D/CC	HPT	LPT	AGB	Inter case	T. Ex h case
2851	Ciclos desde la ultima reparación	2851	2851	2851	2851	2851	4634	2851	4634	4634
2851	Ciclos desde el ultimo MRS	4634	2851	4634	4634	4634	4634	4634	4634	4634
2134	Ciclos relativos para el Umbral del MRS	-366	-2149	2134	634	634	634	-366	-366	-366
5732	Ciclos limites para LLPs	10098	10098	5732	99999	10098	10098	99999	9999	99999
	Modulo a restaurar en la siguiente visita a taller	X	X	X	X	X		X		
Tipo de motor	Capacidad del modulo	FAN	LPC	HPC	1NGV, D/CC	HPT	LPT	AGB	Inter case	T. Ex h case
CFM-56	Umbral de los módulos (ciclos)	5,000	5,000	2,500	4,000	4,000	4,000	5,000	5,000	5,000
CFM	Costo promedio del reacondicionamiento \$ ( Dólares)	FAN	LPC	HPC	1NGV, D/CC	HPT	LPT	AGB	Inter case	T. Ex h case
Min	Parcial (\$800,000)	20,000	125,000	175,000	120,000	220,000	75,000	25,000	20,000	20,000
Completo	Overhaul completo	50,000	200,000	300,000	200,000	400,000	200,000	50,000	50,000	50,000

Tabla 2.13 Estado, Umbrales y Costo promedio del reacondicionamiento de la flota CFM-56

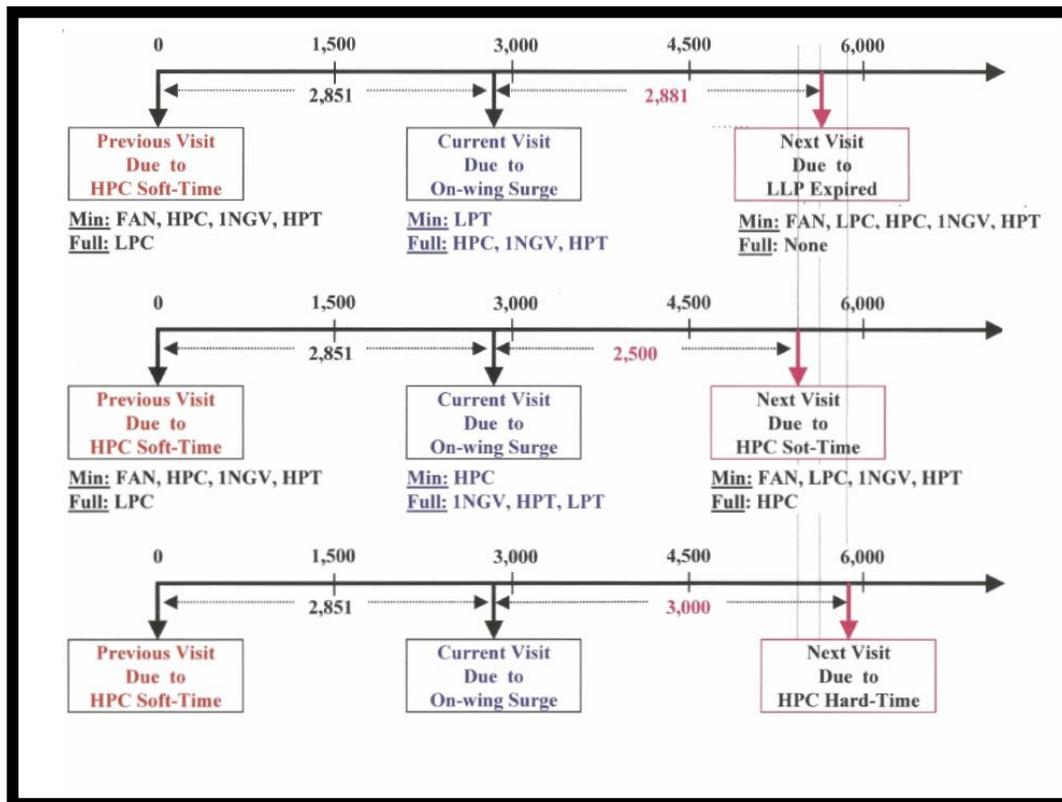


Figura 2.7 Estado de los módulos del motor CFM-56 (Ciclos)



## OPTIMIZACIÓN DE COSTO DE MANTENIMIENTO DE MOTOR.

- En esta sección se darán pequeños ejemplos técnicos a considerar cuando se optimiza el costo del mantenimiento del motor.
- De varios estudios técnicos, es aparente que la velocidad de visita taller tiene un impacto significativo sobre el costo del mantenimiento del motor.
- Por lo tanto controlando la velocidad con que se manda un motor a taller deberá de ser considerada esencialmente cuando se este optimizando el costo de mantenimiento.
- Alguno de los puntos directrices de la velocidad de envío a taller observada durante esta sección son:
  - Partes limitadas por tiempo: comúnmente los LLPs deberán de ser remplazados cuando estén a controlar a la velocidad de visita a taller.
  - Plan Workscope: A sido observado que no siempre la reparaciones mínimas en una visita a taller especifica producen el menor promedio de costo de mantenimiento por motor.
- Una de las claves directrices para un avión de altos costos de operabilidad observada durante la sección anterior fue:
  - Planeación pobre de Workscope del motor: un plan para comprobar la confiabilidad del motor una ves que es colocado el ala deberá comenzar por el calculo de la condición modulo por modulo del motor en su ultima visita a taller.
- Otra clave directiva para el coto alto del mantenimiento del motor y un avión pobre será discutida durante el resto de este estudio.
- La ilustración a continuación muestra algunas de las siguientes directrices.

### Impacto común sobre el costo de mantenimiento del motor:

- Ritmo de visita a taller  $\alpha$  Plan de Workscope, Políticas de SBs.
- Costo de visita a taller  $\alpha$  Plan de Workscope, Tiempo sobre el ala.

### Impacto común sobre la confiabilidad del motor:

- Plan de Workscope  $\alpha$  Condición del motor en la última visita a taller.
- Tiempo sobre el ala  $\alpha$  Monitores de capacidad On-Condition
- Política de SBs  $\alpha$  Análisis técnico de la causa raíz



## 2.7 DIRECCIÓN DE LA FLOTA.

- Este estudio trata tres elementos clave del total del costo de operación de una aerolínea cada uno de estos elementos tiene un impacto directo sobre la confiabilidad del motor:
  - Costo de mantenimiento de motor (MC)
  - Costo de operación indirecto del motor (A/C IOC)
  - Consumo de combustible de la flota
- En este estudio también tratamos algunas de las técnicas para optimizar EMC y A/C IOC.
- Técnicas adicionales son presentadas en este estudio para una mejor dirección de la flota.
- Observaciones:
  - El EMC puede ser estimado como el producto de la velocidad de envío a taller y del costo de visita a taller.
  - Usualmente de más de la mitad de todos los motores que se envían a taller (aproximadamente el 57%) no son planeados. Este tipo de mantenimiento no planeado puede ser usado como una medida de confiabilidad del motor.
- Un gran porcentaje del costo indirecto del avión resulta a partir de las discrepancias operativas del motor tales como:
  - Corte de motor en vuelo , IFSD :
    - Aproximadamente el 16% de todos los IFSD resultan en remociones de motor no planeadas (visitas a taller). con un promedio de costo aproximado de 150 mil dólares. Esto representa una cantidad significativa.
- Demoras y cancelaciones, D & C (relacionados al motor).
  - Este tipo de discrepancias también representan un número significativo de eventos. el promedio de costo para este tipo de eventos esta estimado de aproximadamente 25 mil dólares.
- Aterrizaje de retorno después de despeje relacionados con el motor ATB:
  - Aun que significativamente este tipo de eventos no ocurren tan frecuentemente como un IFSDs y/o D&C.
- Otros :
  - Existen otros costos de operación del avión los cuales no están relacionados con el motor. En este estudio no se hacen cálculos relacionados con este tipo de costos que no tiene relación con el motor.

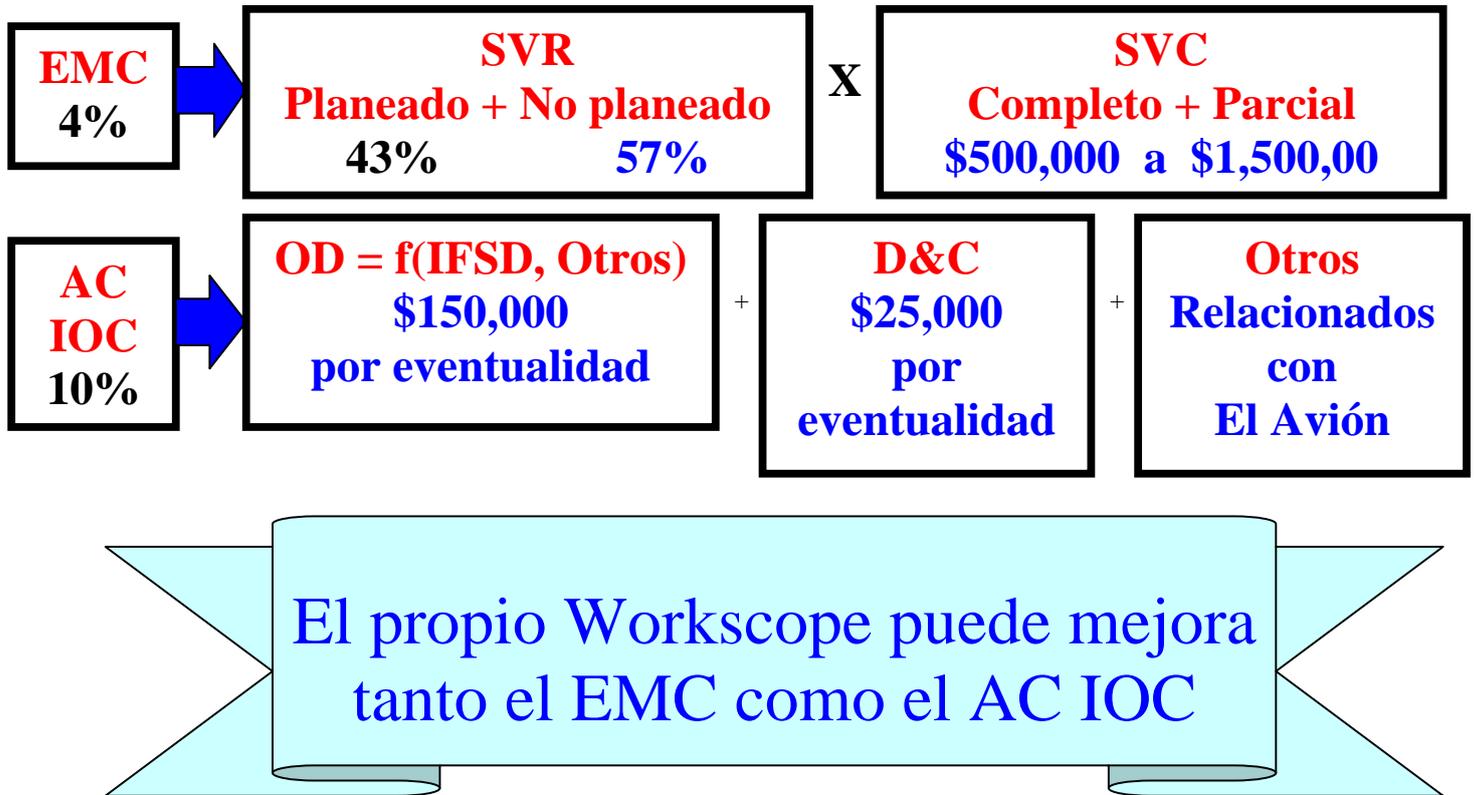


Figura 2.8 Dirección de la flota.



Resumiendo del proceso de Workscope:

- Determinar las razones por las cuales se removió el motor:
  - Si el motor es removido debido a daños sufridos en el HPT, entonces el HPT deberá de ser restaurado.
- Determinación de expiración de los LLPs :-
  - Si el limite del disco expira antes del siguiente modulo soft-time, o antes del MTBSV, entonces el disco deberá de ser remplazado.
- Determinar el tiempo relativo de los módulos para el soft-time para cada modulo :
  - Si el soft-time de un modulo a sido excedido o esta cerca su expiración entonces el modulo deberá de ser restaurado. Usando la regla 70X30.
- Determinar las causas principales de las visitas a taller (SV) y las discrepancias operacionales(OD) de la flota usando la base de datos histórica de dichos eventos :
  - Si las principales causas de los envíos a taller de los motores o las discrepancias incluyendo la marcha del compresor, entonces los datos de la celda de prueba, datos de EHM sobre el ala, y el reajuste de los módulos deberán de ser acomodados.
- Determinar los necesarios AD, ASB ,y boletín de confiabilidad numero 1 para ser incorporado durante la siguiente visita a taller:
  - Si un boletín necesita ser incorporado durante la visita a taller entonces el plan Workscope deberá contar con la incorporación del SB.
- Desarrollar varios planes de Workscope para estimar los resultados del costo de mantenimiento del motor por hora de vuelo del motor para cada escenario.
  - Estimando el costo de mantenimiento de cada motor por hora de vuelo del motor basado en las anteriores actuales y futuras visitas a taller.
- Calcular los riesgos relativos asociados a cada escenario sobre el paso 6 basados en los siguientes criterios tiempo esperado relativo sobre el ala de los módulos Soft-Time.
  - Causas principales de la remoción de motores
  - Causas principales de las discrepancias operacionales tiempo relativo esperado del motor entre cada visita a taller de la flota.
- Los datos de la prueba de celda de la última visita a taller y los datos de EHM sobre el ala pueden ser utilizados para calcular el performance del motor sobre una remoción prematura del mismo. Cuando estos datos son unidos con una razón para remoción, una prueba requerida (TAR) no debería de ser necesaria.
- El plan de Workscope deberá esforzarse para el continuo incremento del MTBSV en la flota esto puede ir acompañado por los boletines de servicio que se enfocan en los Top Drivers de los SVs y los Ods.



## **CAPITULO 3 “DETERMINACIÓN DEL PLAN DE REMOCIONES PROGRAMADAS.”**



### 3.1 INTRODUCCIÓN

Los capítulos anteriores nos han ayudado a la determinación de dos factores indispensables en la planeación de un programa de remociones uno de ellos es el tiempo que durara el motor en regresar de una reparación (TAT) y el segundo es la determinación del tiempo para envió a taller a reparación mejor conocido como "Soft Time", estas dos premisas a su vez dependen de factores como los remanentes de las partes limitadas por vida, el desempeño del motor en ala, el vencimiento de las Directivas de Aeronavegabilidad o Boletines de Servicio Alerta así como la restauración y trabajos a los que se someterá el motor cuando entre a taller.

En este capítulo se determina el tiempo de envió a taller de los motores de la Flota considerada, elaborando dos escenarios uno de ellos utilizando un plan de escalonamiento y el otro sin dicho plan, se expondrá que utilizando un sistema de escalonamiento en la segunda visita a taller de los motores el vencimiento de alguna parte limitada por vida estará muy próximo al vencimiento del soft time lo cual es lo mas recomendable ya que esto permite la utilización del motor al máximo de su capacidad de vida reduciendo el costo por hora de vuelo y generando ahorros en el costo total de la operación, para esto se asumirán premisas que se expondrán mas adelante, es importante aclarar que lo contenido es este capítulo son solo RECOMENDACIONES con fines de ilustración que en ningún momento pretenden suplantar las practicas o polítics de los operadores.



### 3.2 DETERMINACIÓN DE LA FLOTA DE MOTORES

Para este caso de estudio se ha considerado una flota que consta de 26 aeronaves Boeing 737-800 a las cuales se les ha asignado matriculas para fines de demostración, por lo tanto nuestra flota de motores constara de 52 motores nuevos de fabrica es decir con cero horas y cero ciclos de operación mas el número de reservas que se calculara posteriormente, sin embargo consideraremos solo los 52 motores como nuestra flota base, a los cuales al igual que con los aviones se les han asignado números de serie ficticios como se demuestra a continuación. El inicio de operaciones ha sido considerado desde el año 2003.

Tabla 3.1. Flota de Motores

No	Matricula	Motor 1	Motor 2
1	XA-AAA	890574	890575
2	XA-BAA	890598	890599
3	XA-CAA	891608	890606
4	XA-DAA	891616	890620
5	XA-EAA	890649	891646
6	XA-FAA	890988	891654
7	XA-GAA	890697	890699
8	XA-HAA	890877	890879
9	XA-IAA	890895	890896
10	XA-JAA	890617	890954
11	XA-KAA	890967	890962
12	XA-LAA	890976	890977
13	XA-MAA	892110	892112
14	XA-NAA	892336	892147



Tabla 3.1. Flota de Motores Cont.

No	Matricula	Motor 1	Motor 2
15	XA-OAA	892172	893136
16	XA-PAA	889996	889997
17	XA-QAA	892453	892454
18	XA-RAA	892485	892486
19	XA-SAA	892495	892496
20	XA-TAA	892533	892534
21	XA-UAA	892577	892578
22	XA-VAA	893601	893602
23	XA-WAA	893613	893608
24	XA-XAA	892583	893566
25	XA-YAA	892659	892662
26	XA-ZAA	894104	894105



### 3.3 CALCULO DEL NÚMERO DE RESERVAS

Para asegurar que, al vencimiento del “soft time” propuesto para los motores CFM56 de la flota B737, no se tengan efectos adversos en la operación por falta de motores de reserva, se debe de calcular el número de reservas de la siguiente manera utilizando la formula que se describe a continuación.

$$\text{Numero de Reservas} = \frac{SVR * Flota * Utilización * TAT}{DiasdelAño}$$

En donde

**SVR:** Es el promedio de visitas a taller por cada 1000 horas de vuelo (este dato es estadístico y se consideran las remociones programadas así como las no programadas, para este estudio se considerara un promedio de 0.35 visitas por cada 1000 horas de vuelo)

**Flota:** Es el tamaño de la Flota de Motores (52 Motores)

**Utilización:** Es promedio Anual de Utilización 3200 hrs. por motor por año

**TAT:** Es el tiempo estimado desde el envió del motor a taller hasta su regreso estimado para este ejemplo en 60 días

De lo anterior se tiene:

$$\text{Numero de reservas} = \frac{0.35}{1000} * 52 * 3200 * 60 = 9.57 = 10 \text{ reservas considerando tanto lo Programado como lo no Programado}$$

Faltan las conclusiones del capítulo Uno que es la determinación del Soft time







### 3.5 PROYECCIÓN DE VENCIMIENTO DEL *SOFT-TIME* CON EL PLAN DE REMOCIONES ADELANTADAS

Premisas en la operación

- Los siguientes factores se usaron para este Plan:
  - Soft Time: 16,000 hrs para la primera vista a taller
  - Este valor puede incrementarse a 18,000 o hasta 20,000 de acuerdo con la experiencia.
  - Horas Anuales de utilización por motor: 3,200 horas. Relación hora/ciclo: 1.77
  - Una remoción por mes
  - Tiempo de motor en tierra por escalonamiento: 4 a 6 meses

La utilización de un Programa de remociones adelantadas dará como resultado un vencimiento para envío a taller aproximadamente de una remoción cada mes de los motores con una remoción adelantada, el vencimiento de los motores a los que no se les aplique remociones adelantadas estará sujeto al vencimiento del soft-time, la combinación de ambas nos permite una mejor planeación de las reservas disminuyendo el gasto de la operación. Las tablas de abajo mostradas describen el Programa de Remociones programadas para envío a taller de la flota de motores CFM utilizando un sistema de remociones adelantadas (Staggering) cabe resaltar que el vencimiento del soft-time (mostrado en amarillo) se recorrerá entre cuatro y seis meses (señalado en azul) en los motores que se realice una remoción adelantada los motores a instalarse cada vez que exista una remoción adelantada serán las reservas calculadas previamente, es importante mencionar que para esta proyección de los tiempos de los motores se considera los días fuera de servicio del motor por la aplicación de Mantenimiento Programado















## BIBLIOGRAFÍA.

CFM International. (2007). *CFM-56 Workscope Planning Guide*. Cincinnati, OH: CFM International.

CFM International. (2007). *CFM-56 Engine Shop Manual*. Cincinnati, OH: CFM International.

Federal Aviation Administration. (1998). *Federal Aviation Regulations FAR Part 39 Airworthiness Directives*. Estados Unidos de América: Federal Aviation Administration.

Pratt & Whitney a United Technologies Company. (2006). *Introduction to Engine Fleet Management*. East Hartford, Connecticut: Pratt & Whitney Training Center.

The Boeing Company. (2008). *Aircraft Maintenance Manual Boeing 737*. Seattle, Wa: The Boeing Company.