



Inspección y lubricación de los fan blade de los motores CFM56-3 de la aeronave Boeing 737-300/400/500 mediante la orden de trabajo programada y AMM del fabricante a realizarse en la Organización de Mantenimiento Aprobada DIAF-CEMA

Tello Trujillo, Kelly Karolina

Departamento de Ciencias Espaciales

Carrera de Tecnología en Mecánica Aeronáutica Mención Motores

Monografía, previo a la obtención del título de Tecnología en Mecánica Aeronáutica Mención Motores

Ing. Granda Gualpa, Edison Mauricio

02 de septiembre del 2020



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES
CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES**

CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía, **“Inspección y lubricación de los fan blade de los motores CFM56-3 de la aeronave Boeing 737-300/400/500 mediante la orden de trabajo programada y AMM del fabricante a realizarse en la Organización de Mantenimiento Aprobada DIAF-CEMA”** fue realizada por la señorita **Tello Trujillo, Kelly Karolina** la cual ha sido revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 01 de septiembre del 2020

Firma:

Granda Gualpa, Edison Mauricio

C. C. 0502736648



Document Information

Analyzed document	UGT_TESIS_KELLY.pdf (D78214328)
Submitted	8/27/2020 1:55:00 AM
Submitted by	
Submitter email	kellytello984@gmail.com
Similarity	4%
Analysis address	emgranda4.espe@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / Tesis Andrés Fernando Medina Vaca.pdf Document Tesis Andrés Fernando Medina Vaca.pdf (D41054855) Submitted by: afrmedina1@espe.edu.ec Receiver: maarellano3.espe@analysis.arkund.com		1
SA	MONOGRAFIA CRISTINA MARIBEL CHILUISA CHILUISA.pdf Document MONOGRAFIA CRISTINA MARIBEL CHILUISA CHILUISA.pdf (D63480087)		1
SA	MONOGRAFÍA CARLOS MARTÍNEZ.docx Document MONOGRAFÍA CARLOS MARTÍNEZ.docx (D76185038)		4
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / BYRON ARROYO .pdf Document BYRON ARROYO .pdf (D26107248) Submitted by: brarroyo@espe.edu.ec Receiver: jfvalencia2.espe@analysis.arkund.com		1
W	URL: https://upcommons.upc.edu/bitstream/2099.1/17686/1/PFC+Jose+Lopez+Memoria.pdf Fetched: 7/23/2020 4:49:05 PM		5
SA	TESIS EVELYN GUAMANGALLO QUIMBITA.pdf Document TESIS EVELYN GUAMANGALLO QUIMBITA.pdf (D62783706)		4
W	URL: https://es.slideshare.net/christians/motor-avion Fetched: 11/20/2019 7:46:44 PM		1
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / APOLO TORRES CESAR.pdf Document APOLO TORRES CESAR.pdf (D40820309) Submitted by: cjapolo@espe.edu.ec Receiver: adproano4.espe@analysis.arkund.com		1



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES
CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Tello Trujillo, Kelly Karolina**, con cédula de ciudadanía n° 0503706491, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **Inspección y lubricación de los fan blade de los motores CFM56-3 de la aeronave Boeing 737-300/400/500 mediante la orden de trabajo programada y AMM del fabricante a realizarse en la Organización de Mantenimiento Aprobada DIAF-CEMA** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 01 de septiembre del 2020

Firma

Tello Trujillo, Kelly Karolina

C.C.: 0503706491



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES
CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Tello Trujillo, Kelly Karolina** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **Inspección y lubricación de los fan blade de los motores CFM56-3 de la aeronave Boeing 737-300/400/500 mediante la orden de trabajo programada y AMM del fabricante a realizarse en la Organización de Mantenimiento Aprobada DIAF-CEMA** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 01 de septiembre del 2020

Firma

Tello Trujillo, Kelly Karolina

C.C.: 0503706491

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación junto con cada uno de mis sueños y metas están dedicados a Dios, mi familia, a usted querida doctorita María Magdalena Montalvo Herdoiza a mis tíos, abuelos, primos, amigos, profesores, y todos quienes en el camino fueron dándome su apoyo que me permitió continuar.

Iniciar esta carrera no fue fácil seguir en ella y finalizarla tampoco sin embargo las experiencias de estudio y motivación que viví junto a mis amigos y profesores en las aulas de clase valieron la pena y el sacrificio, me permitieron crecer en familia sintiéndome parte de ellos.

Gracias papá, mamá, hermanos que diosito les pague por todo, por quererme tanto que me sostuvieron en los momentos más difíciles de mi vida, enseñándome a ser sencilla y agradecida porque ustedes valoran cada muestra de cariño, no podría haber dado ni un paso sin ustedes no me hubieran enseñado a respirar profundo con decisión y valentía, gracias por su amor infinito.

Doctorita María Magdalena Montalvo Herdoiza a mí no me alcanzaría la vida para agradecerle por tanto cariño, ayuda y amor que nos ha tenido a mi familia y a mí, que diosito le bendiga y le cuide siempre, usted me enseñó a tener un sueño y caminar por él, a levantar la cabeza porque todo lo malo iba a pasar y a comprender que la vida es así con despegues y aterrizajes pero siempre de la mano de Dios.

KELLY KAROLINA, TELLO TRUJILLO

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento profundo y sincero para Dios que me dio la vida que con ella he podido tener el cariño de mis padres, de mis hermanos y amigos, gracias a ti señor porque con la vida he sonreído, llorado, caminado y he sentido tu amor infinito en la alegría y en la tristeza, tu presencia en muchos lugares donde parecía que no te podría sentir.

Esta vida me ha enseñado a amar con todo el corazón, a empezar de nuevo perdonando y a soñar manteniéndome despierta junto a ti, gracias por el don de la familia que me mantiene firme a pesar de la derrota, por la oportunidad de encontrarme contigo en muchas almas humanas que ahora permanecen en mi mente y en mi corazón.

Nos has llevado a algunos lugares de ida y vuelta pero siempre nos diste tu mano y en más ocasiones nos cargaste sobre tus hombros cuanto dar un paso parecía imposible de tanto dolor y con lágrimas en los ojos tu nunca nos abandonaste fuiste, eres y serás quien más nos ha amado y a quien tanto agradezco, con muchísimo cariño y gratitud para ustedes fraternidad Dominicana y Diocesana, gracias por apoyarme para cumplir esta meta y cuidar de los míos también.

Finalmente, quiero agradecerle a mi Tutor de proyecto quien fue la guía principal para la elaboración del mismo, por ser quien puso de su conocimiento y experiencia a disposición con el objetivo de ver un sueño cumplido.

KELLY KAROLINA, TELLO TRUJILLO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	1
CERTIFICACIÓN.....	2
REPORTE URKUND.....	3
RESPONSABILIDAD DE AUDITORIA.....	4
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO.....	7
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	12
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
RESUMEN.....	16
ABSTRACT.....	17

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes.....	18
1.2 Planteamiento del problema.....	19
1.3 Justificación.....	19
1.4 Objetivos.....	20
1.4.1 Objetivo general.....	20
1.4.2 Objetivos específicos.....	21
1.5 Alcance.....	21

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Motor CFM56-3.....	22
2.1 Funcionamiento del motor CFM.....	24
2.2 Evolución de los motores a turbina.....	25
2.3 Mantenimiento de una aeronave.....	28
2.4 Tipos de mantenimiento.....	29
2.4.1 Mantenimiento programado.....	29
2.4.2 Mantenimiento de transito.....	29
2.4.3 Revisión diaria.....	29
2.4.4 Mantenimiento mayor.....	29
2.4.5 Mantenimiento no programado.....	30
2.5 Inspecciones realizadas en una aeronave.....	30
2.5.1 Inspección anual.....	30
2.5.2 Inspecciones de 50 y 100 horas.....	30
2.5.3 Chequeo preflight.....	32
2.5.4 Inspecciones progresivas.....	33
2.6 Conducto de admisión.....	33
2.6.1 Partes del difusor.....	34
2.6.2 Efectos que tiene el diseño en la toma de aire.....	34
2.6.3 Fan.....	34

2.7	Estructura del fan.....	36
2.7.1	Módulos del fan.....	36
2.7.2	Módulo mayor del fan.....	37
2.7.3	Capacidad de la estructura del fan.....	38
2.8	Alabe.....	39
2.8.1	Rendimiento del alabe para evitar la pérdida del compresor..	40
2.8.2	Triángulo de velocidades del alabe.....	42
2.9	Tipos de alabes.....	44
2.9.1	Swept fan.....	44
2.9.2	Alabes huecos.....	44
2.9.3	Alabes torsionados.....	45
2.10	Parámetros de geometría del alabe.....	46
2.11	Composición de un alabe.....	47
2.12	Pruebas e inspección en el alabe.....	48
2.13	Análisis de materiales con ensayos láser para los alabes.....	51
2.14	Lubricación del alabe.....	52
2.14.1	Capacidad de lubricación en el alabe.....	52
2.14.2	Método de aplicación del lubricante.....	53

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO DEL TEMA

3.1	Introducción.....	55
3.2	Preliminares.....	55
3.3	Principales factores.....	55
3.3.1	Factor tecnico.....	55
3.4	Factor economico.....	56
3.5	Planteamiento y estudio de alternativas.....	56
3.5.1	Analisis de la opcion establecida.....	58
3.5.2	Factor tiempo de construcción.....	58
3.5.3	Análisis del factor planteado.....	58
3.5.4	Factor seguridad del soporte.....	59
3.5.5	Análisis del factor propuesto.....	59
3.5.6	Factor construcción.....	59
3.5.7	Análisis del factor planteado.....	60
3.5.8	Selección del soporte a implementar.....	60
3.5.9	Análisis de software para la implementacion del soporte de los alabes.....	60
3.6	Desarrollo.....	61
3.6.1	Pruebas de funcionamiento.....	64
3.6.1	Trabajo de inspeccion y lubricacion de los fan blade de la aeronave Boeing 737-300/400/500.....	65

3.7 Análisis de costos.....	95
3.7.1 Rubros.....	95
3.7.2 Costos primarios.....	95
3.7.3 Materiales consumibles.....	96
3.8 Costos secundarios.....	97
3.9 Costo total.....	97

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.....	98
4.2 Recomendaciones.....	99
Referencias Bibliográficas.....	100
Anexos.....	102

Anexo A. Planos del soporte

ANEXO B. Tarea de mantenimiento

ANEXO C. Certificado de calibración

ANEXO D. Certificado de cumplimiento de la tarea

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Características principales del motor CFM56-3.....</i>	23
Tabla 2. <i>Componentes principales del fan.....</i>	35
Tabla 3. <i>Características del soporte implementado.....</i>	57
Tabla 4. <i>Factor tiempo de construcción.....</i>	58
Tabla 5. <i>Factor seguridad del soporte.....</i>	59
Tabla 6. <i>Factor construcción.....</i>	59
Tabla 7. <i>Pruebas de funcionamiento.....</i>	64
Tabla 8. <i>Costos de materiales fungibles y otros.....</i>	96
Tabla 9. <i>Costos secundarios.....</i>	97
Tabla 10. <i>Costo total.....</i>	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Motor CFM56-3.....</i>	22
Figura 2. <i>Motor de alto índice de derivación.....</i>	24
Figura 3. <i>Ciclo de un turborreactor.....</i>	25
Figura 4. <i>Operación de un turbofan.....</i>	26
Figura 5. <i>Operación de un turboventilador de alta relacion.....</i>	27
Figura 6. <i>Aeronave en mantenimiento.....</i>	28
Figura 7. <i>Inspección de 50 horas.....</i>	31
Figura 8. <i>Chequeo preflight.....</i>	32
Figura 9. <i>Módulo del fan.....</i>	37
Figura 10. <i>Módulo mayor del fan.....</i>	38
Figura 11. <i>Estructura del fan.....</i>	39
Figura 12. <i>Explosión en el motor por alta presión.....</i>	41
Figura 14. <i>Triángulo de velocidades.....</i>	43
Figura 15. <i>Alabes huecos.....</i>	45
Figura 16. <i>Alabes torsionados.....</i>	46
Figura 17. <i>Esquema fuerza de impacto del alabe.....</i>	48
Figura 18. <i>Pruebas en el alabe.....</i>	49
Figura 19. <i>Proceso de inspeccion en detalle del alabe.....</i>	50
Figura 21. <i>Elementos que forman parte del alabe.....</i>	54
Figura 22. <i>Conjunto del alabe.....</i>	57
Figura 23. <i>Análisis de implementación del soporte.....</i>	61
Figura 24. <i>Elaboración del soporte.....</i>	62
Figura 25. <i>Soporte para alabes.....</i>	63

Figura 26. <i>Diagrama de simulación del soporte implementado</i>	65
Figura 27. <i>Alabes enumerados</i>	67
Figura 28. <i>Remoción de pernos</i>	68
Figura 29. <i>Instalación de pernos no alineados</i>	69
Figura 30. <i>Remoción del front spinner</i>	69
Figura 31. <i>Extracción pernos rear cone</i>	70
Figura 32. <i>Alineación rear cone</i>	71
Figura 34. <i>Ubicación de pernos niveladores</i>	71
Figura 36. <i>Alabe en posición 12 en punto</i>	72
Figura 38. <i>Extracción del alabe</i>	74
Figura 39. <i>Remoción del damper</i>	75
Figura 40. <i>Limpieza del alabe</i>	76
Figura 41. <i>Limpieza del espaciador</i>	77
Figura 42. <i>Inspección cola de milano</i>	78
Figura 43. <i>Inspección borde de salida</i>	79
Figura 44. <i>Comprobación del retenedor</i>	80
Figura 45. <i>Inspección por corrosión del espaciador</i>	81
Figura 46. <i>Comprobación del damper</i>	82
Figura 47. <i>Inspección alojamiento del alabe</i>	83
Figura 48. <i>Lubricación del alabe</i>	84
Figura 49. <i>Lubricación conjunto alabe</i>	85
Figura 50. <i>Lubricación alojamiento alabe</i>	85
Figura 51. <i>Prueba de adherencia del lubricante</i>	86
Figura 52. <i>Ubicación del damper</i>	87
Figura 53. <i>Instalación del alabe</i>	88

Figura 54. <i>Espaciador del conjunto del alabe</i>	89
Figura 55. <i>Pernos guía</i>	90
Figura 56. <i>Lubricación de los pernos</i>	90
Figura 57. <i>Alineación del rear cone</i>	91
Figura 58. <i>Ajuste pernos rear cone</i>	92
Figura 59. <i>Ajuste con torquimetro</i>	93
Figura 60. <i>Instalación front spinner</i>	94
Figura 61. <i>Torquimetro</i>	94

RESUMEN

El presente proyecto se desarrolla mediante instrucciones detalladas en la tarea de mantenimiento para la inspección y lubricación del alabe del motor CFM56-3 de la aeronave Boeing 737-300/400/500. Los alabes son componentes frágiles que necesitan una zona para la ubicación correcta, por esta razón se consideró necesario implementar un soporte que ofrece las características de resistencia, durabilidad y anticorrosivo entre el elemento y el material del equipo de apoyo, con este proyecto los técnicos de mantenimiento serán beneficiados. La información siguiente está dividida en capítulos que explican las características del motor CFM56-3, la importancia del alabe para generar empuje., los principales componentes que intervienen en la elaboración del alabe, la funcionalidad del perfil aerodinámico para direccionar el fluido de aire. El capítulo III tiene el propósito de explicar el trabajo de la inspección visual con la remoción y la instalación, aplicando los pasos indicados en el manual de mantenimiento con un lubricante que otorga una capa de protección en la superficie metálica, el capítulo IV contiene las conclusiones y recomendaciones de la inspección y lubricación del alabe. La tarea de mantenimiento incluye varios ítems que están relacionados para cumplir el chequeo del disco del fan del motor en el avión y pueden ser observados en la orden de mantenimiento.

PALABRAS CLAVE:

- **PERFIL AERODINÁMICO**
- **ORDEN DE MANTENIMIENTO**
- **MOTOR CFM56-3**

ABSTRACT

The present work of degree was developed by instructions detailed in the maintenance task for the inspection and lubrication of the fan blade of engine CFM56-3 in the aircraft Boeing 737-300/400/500. The fan blades are fragile component that need a zone for the correct location, for this reason considered necessary implement a support that offers the features of resistance, durability and anticorrosive between the element and the material of support team with this project the maintenance technicians will be benefited due to their collaboration in the application of each process affected for comply the maintenance task. The information following are divided in chapters that explain the characteristics of engine CFM56-3, the importance of fan blade to generated thrust at the same, the principals components that intervene in the manufacturing of fan blade, the functionality of aerodynamic profile for direct the air fluid. The chapter III had the purpose of explain the work of the visual inspection with the remove and the installation applying the steps indicate in the maintenance manual with a lubricant that grants a cap of protect in the metal surface, the chapter IV contains the conclusions and recommendations of the inspection and lubrication of fan blade. The maintenance task include various items that are related to compliance of check of fan disk of engine in the aircraft and can be observed in the maintenance order.

KEYWORDS:

- **AERODYNAMIC PROFILE**
- **MAINTENANCE ORDER**
- **ENGINE CFM56-3**

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

El 08 de noviembre de 1999, mediante Acuerdo Ministerial No. 3237 el Ministerio de Educación Pública se establece la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea, se transforma en Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico (ITSA), constituyéndose de esta manera en un centro académico de formación de tecnólogos, el 20 de Septiembre del 2000 ingresan a esta institución y se preparan profesionales que cumplirán tareas calificadas.

En el año 2014 se resuelve aprobar la creación de la Unidad de Gestión de Tecnologías-UGT, el mismo que fue concedido mediante el Consejo Universitario Provisional de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” de este modo se unifica el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico-ITSA a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

En la actualidad la Unidad de Gestión de Tecnologías, ofrece la carrera de Mecánica Aeronáutica que brinda a la comunidad educativa la facilidad de obtener conocimientos en distintas áreas utilizadas en el ámbito teórico – práctico, a través de instalaciones equipadas, talleres, laboratorios y aviones escuela ,permitiendo de esta manera la remoción e instalación de componentes, tareas de inspección y el mantenimiento de cada uno de los sistemas y componentes que forman parte de la aeronave para ampliar los conocimientos de los estudiantes.

1.2 Planteamiento del problema

Realizada una investigación previa en la Dirección de la Industria Aeronáutica DIAF, ubicada en la ciudad de Latacunga , provincia de Cotopaxi , se determinó la necesidad de implementar un equipo de apoyo para colocar los alabes de los motores CFM56-3 , para preservar los componentes.

Al no disponer de un equipo de apoyo, los técnicos de mantenimiento que laboran en la Organización de Mantenimiento Aprobado DIAF–CEMA se veían en la necesidad de contar con un soporte para los alabes que permita ubicar de manera ordenada y numerados, evitando así futuros daños y posibles incidentes que se suscitarían sin ocupar las herramientas adecuadas y el equipo de apoyo necesario.

Con el fin de mejorar el área de trabajo, se implementa un soporte para los alabes del motor, evitando daños por golpes o rajaduras al material removido, obteniendo ahorro en el tiempo de ejecución en la tarea de mantenimiento.

1.3 Justificación

La Unidad de Gestión de Tecnologías “ESPE” es un centro de educación calificado cuyo objetivo principal es impartir conocimientos a los estudiantes para que desarrollen actividades de mantenimiento, incluso es la única institución a nivel nacional que ofrece dicha carrera, sin duda los futuros profesionales están en la capacidad total de realizar tareas de inspección, remoción, instalación y lubricación en los diferentes sistemas de la aeronave, en dicho ámbito.

La Dirección de la Industria Aeronáutica DIAF-CEMA realiza el mantenimiento a diferentes aeronaves las cuales presentan distintas cartas de trabajo establecidas por el fabricante en áreas específicas para su correcto desempeño tal es el caso de la inspección y lubricación de los fan blades de los motores.

Con la realización de este proyecto se logrará un beneficio tanto para el estudiante, así como para la Organización de Mantenimiento DIAF-CEMA que contribuye al desarrollo del ámbito práctico y teórico, según el AMM requerido para mencionada tarea, con este aporte será en beneficio de los estudiantes y técnicos del CEMA.

La implementación de este soporte, permite desarrollar el trabajo de inspección y lubricación de los alabes del motor CFM56-3 de esta manera los técnicos que laboran en la Organización de Mantenimiento Aprobada DIAF-CEMA encargados de realizar este tipo de trabajo, puedan cumplir de manera ordenada las tareas de mantenimiento.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Ejecutar la inspección y lubricación de los fan blade de los motores CFM56-3 de la aeronave Boeing 737-300/400/500, mediante la orden de trabajo programada y AMM del fabricante a realizarse en la organización de mantenimiento aprobada DIAF-CEMA para la correcta preservación de los componentes y así evitar futuros daños estructurales.

1.4.2 Objetivos específicos

- Recopilar información de la inspección y lubricación de los fan blade mediante el AMM y la orden de trabajo respectiva para el cumplimiento de la tarea de mantenimiento.
- Implementar un soporte para realizar la inspección y lubricación de los fan blades del motor CFM56-3 de la aeronave Boeing 737-300/400/500, previas pruebas de funcionamiento del equipo de apoyo.
- Aplicar la tarea de inspección y lubricación de los fan blades del motor CFM56-3 de la aeronave Boeing 737-300/400/500 según la orden de mantenimiento aprobada número 72-031-03-02; 72-031-02-02.

1.5 Alcance

El presente tema explica el procedimiento correcto para llevar a cabo la inspección y lubricación de los fan blade con la operación y el funcionamiento del soporte, ubicado en la sección del fan para generar un conocimiento específico el cual sirva como una base para las futuras generaciones y su buen desempeño tanto en las practicas pre-profesionales, así como en el ámbito laboral.

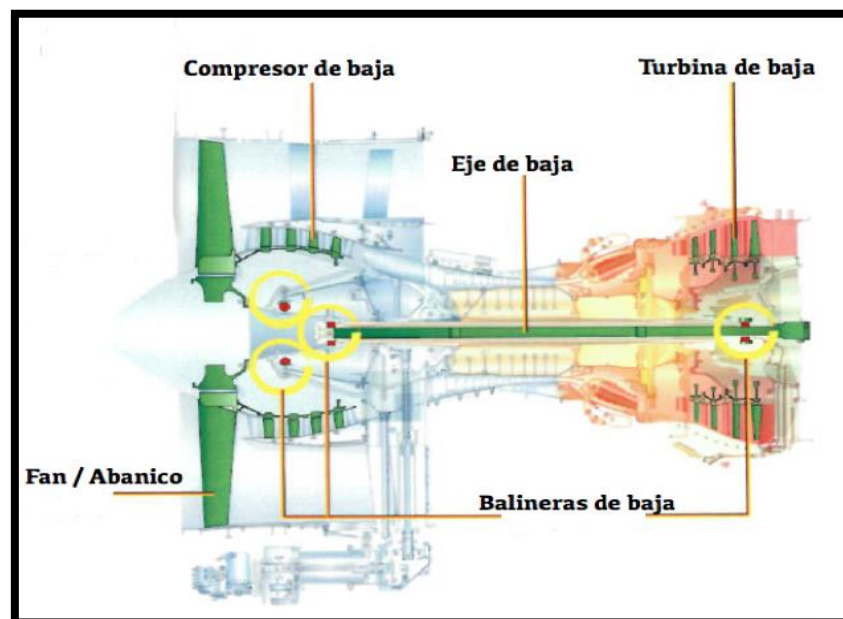
CAPÍTULO II

Motor CFM56-3

El motor CFM-56 es un turbina de reacción de flujo axial, Turbo Fan de alto By-pass con rotor doble, compresor de baja y compresor de Alta, etapas estatoras variables, cámara de combustión tipo anular, turbina de alta conectada con el compresor de alta, turbina de baja conectada con el compresor de baja y tobera de gases de salida. (*THE CFM56 TURBOFAN ENGINE*, s. f.), como se evidencia en la siguiente imagen.

Figura 1

Motor CFM56-3



Nota. Componentes del motor que generan impulso tomado de:
THE CFM56 TURBOFAN ENGINE, s. f.

El módulo de baja presión en la sección comprendida por el compresor de baja, turbina de baja y un eje común que conecta estas dos partes. El Fan o primera etapa del compresor de baja, transforma todo el movimiento transmitido por las etapas de la turbina de baja en empuje para el motor, donde se aplica otro principio de la física, el de acción y reacción para que el avión vaya hacia delante. (*THE CFM56 TURBOFAN ENGINE*, s. f.)

Tabla 1

Especificaciones del motor CFM56-3

Tipo de motor	Flujo axial, turbofan
Numero de cámaras de combustión	Una
Tipo de cámara de combustión	Anular
Tipo de compresor	Doble eje, 13 etapas compresoras, 4 etapas de baja presión, 9 etapas de alta presión.
Tipo de turbina	5 etapas, 1 etapa de alta presión, 4 etapas de baja presión.
Sistema de ignición	2 excitadores de ignición por motor

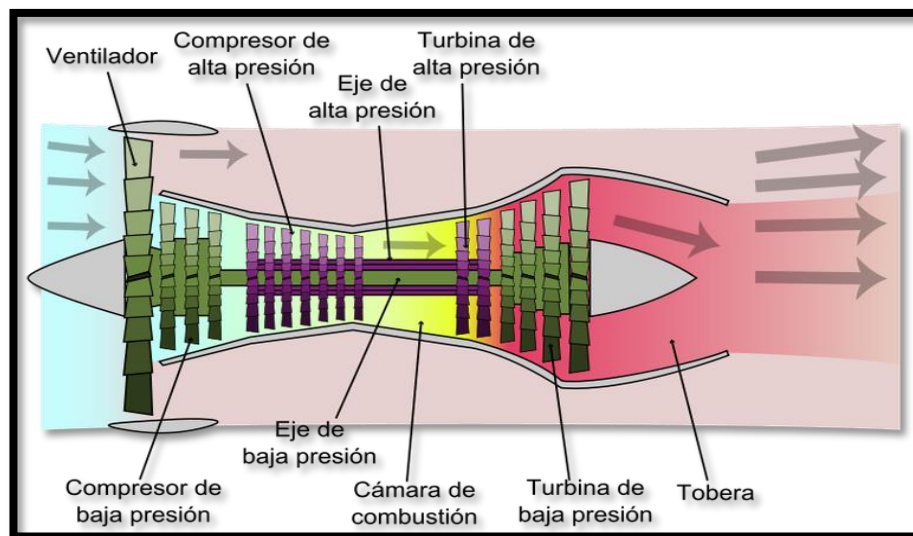
Nota: El motor CFM posee varias etapas del funcionamiento.

Funcionamiento del Motor CFM56-3

Los rotores son mecánicos e independientes cada uno, el motor contiene dos entradas de aire una primaria o interna y secundaria conocida también como externa, cuando el aire primario ha sido comprimido por la turbina de baja presión y por la turbina de alta presión es enviado a la cámara de combustión anular en donde se produce la combustión y es gracias a esta combustión que la velocidad de descarga del compresor de alta presión aumenta impulsando así la turbina de alta y baja presión. (*Motores aeronáuticos (parte 11)- Turbofán, 2013*)

Figura 2

Motor de alto índice de derivación



Nota: Ingreso y salida del aire en un motor de alto índice de derivación tomado de : (Motores aeronáuticos (parte 11) s. f.)

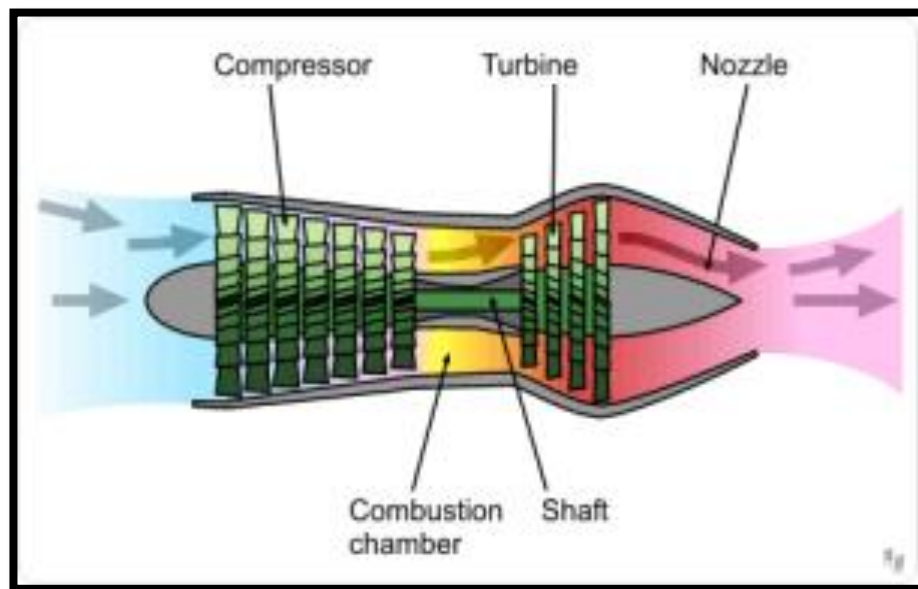
Evolución de los motores a turbina

El turbo reactor, donde el aire es aspirado a través del compresor, se quema y luego sale del motor a través de la turbina, que también alimenta el compresor, al inicio existían dos problemas, el ruido y la eficiencia. (*Evolution of Jet Engines | D. J. Airways, s. f.*)

Estos chorros consumían gas porque todo el aire que se usaría para producir empuje primero debía quemarse con combustible en la cámara de combustión. (*Evolution of Jet Engines | D. J. Airways, s. f.*)

Figura 3

Ciclo de un turbo reactor



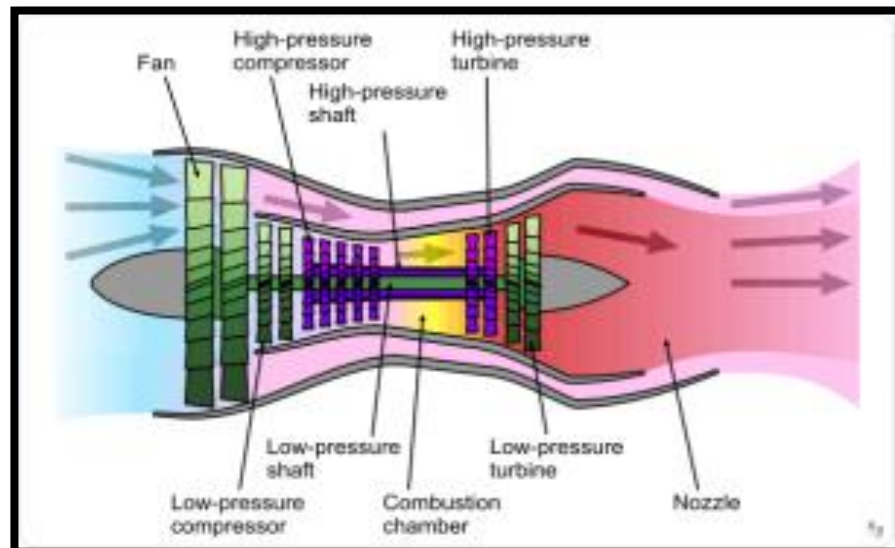
Nota: Trabajo ejercido en una turbina a reacción tomado de *Evolution of Jet Engines | D. J. Airways, s. f.*

Luego apareció la idea de los motores a reacción de derivación no todo el aire se quema, la eficiencia del combustible mejoró porque solo una parte del aire inducido por el ventilador necesitaba mezclarse con combustible y quemarse, el ruido se redujo gracias a una capa de aire de derivación frío. (*Evolution of Jet Engines | D. J. Airways, s. f.*)

Se denominan motores turboventiladores de baja relación de derivación normalmente la mayor parte del empuje provienen del ingreso del aire que de la expansión de los gases en la tobera. (*Evolution of Jet Engines | D. J. Airways, s. f.*)

Figura 4

Operación de un turbofan

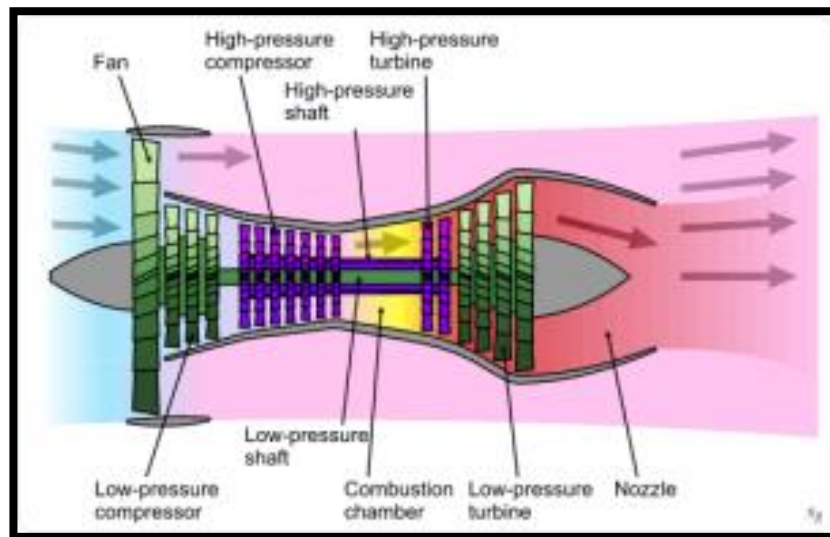


Nota: Recorrido del aire en el interior de un turbofan tomado de Evolution of Jet Engines | D. J. Airways, s. f.)

Los turboventiladores de alta relación de derivación comúnmente utilizada para diferenciar este tipo de motor del tipo anterior es una relación de derivación de 3: 1, lo que significa que tres veces el volumen de aire deriva el núcleo en comparación con el volumen de aire que viaja a través del núcleo, tienen un gran ventilador en la parte delantera del motor con la mayor parte del aire sin pasar por el mismo. (*Evolution of Jet Engines | D. J. Airways, s. f.*)

Figura 5

Operación de un turboventilador de alta relación



Nota: Etapas de accionamiento de la turbine de alta tomado de (*Evolution of Jet Engines | D. J. Airways, s. f.*)

Mantenimiento de una aeronave

El mantenimiento aeronáutico consiste básicamente en una serie de inspecciones periódicas que deben realizarse en todas las aeronaves comerciales, civiles transcurrido un tiempo específico, las compañías aéreas y otros operadores comerciales de aeronaves se rigen por un programa de inspección continua aprobado por la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) en Europa, y por la Administración Federal de Aviación (FAA) en los Estados Unidos. («Mantenimiento Aeronáutico ¿Qué es?», s. f.)

Figura 6

Aeronave en mantenimiento



Nota: El presente gráfico describe el mantenimiento con equipos de apoyo en tierra tomado de Mantenimiento Aeronáutico s. f.

Tipos de mantenimiento

Mantenimiento programado

Se lleva a cabo sobre la base del seguimiento de un plan determinado de revisiones y piezas de recambio, cuyo objetivo es la conservación de la aeronavegabilidad de la aeronave y el restablecimiento del nivel de fiabilidad especificado. («Mantenimiento Aeronáutico ¿Qué es?», s. f.)

Mantenimiento de tránsito

Es una inspección rápida que se debe realizar antes de cada vuelo, incluyendo las escalas, con ello se comprueba el estado general del avión, posibles daños estructurales, neumáticos, aceite, registros y paneles de acceso, servicio a la aeronave, etc. («Mantenimiento de Aviones», 2011).

Revisión diaria. Es una revisión completa que se debe realizar antes del primer vuelo del día, sin exceder en ningún caso las cuarenta y ocho horas, durante la misma se comprueba el estado general del avión, pero disponiendo de tiempo adicional para diseñar una acción correctiva si fuera necesario. («Mantenimiento de Aviones», 2011)

Mantenimiento Mayor. Denominado Programa de Inspección Estructural, el mantenimiento mayor es la revisión más profunda y minuciosa por la que tienen que pasar todos los aviones, la tarea está planificada y se ajusta a estrictas normas y procedimientos e incluye la sustitución de innumerable cantidad de piezas de todos los sistemas del avión, independiente del buen estado en que se encuentren.

Los repuestos empleados deben ser piezas nuevas y originales, acorde a las regulaciones internacionales. Esta es la revisión más completa que se puede realizar a un avión.(«Mantenimiento de Aviones», 2011)

Mantenimiento no programado. Mantenimiento que se realiza en el momento en que se detecta un fallo que pone en peligro la aeronavegabilidad de la aeronave, es decir se realiza lo más rápido cuando se ha detectado algún daño.(«Mantenimiento Aeronáutico ¿Qué es?», s. f.)

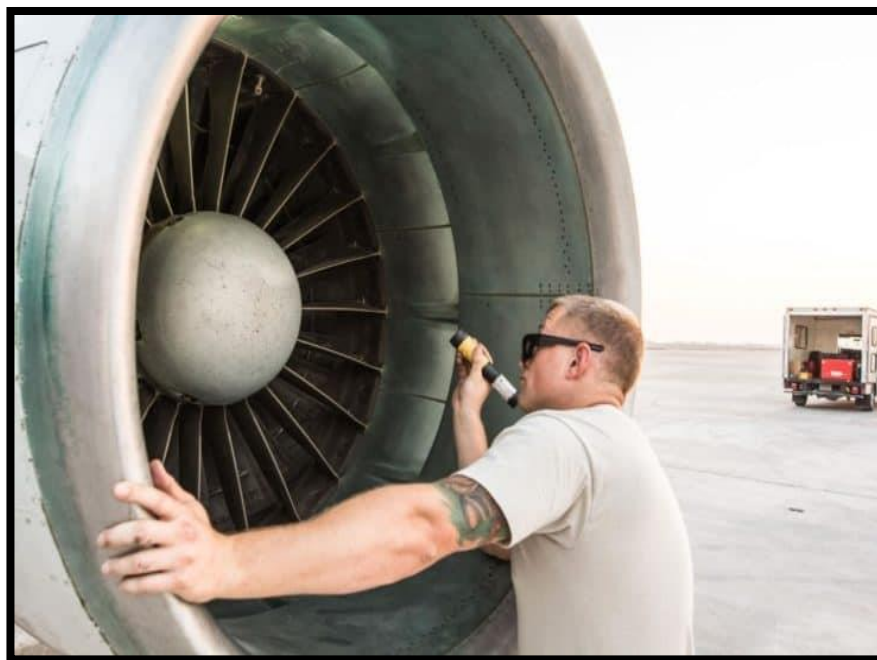
Inspecciones realizadas en una aeronave

Inspección anual

La inspección anual de la aeronave se realiza una vez cada doce meses, es necesario para todas las aeronaves, independientemente de si se utilizan con fines recreativos, instrucción de vuelo o alquiler. El alcance y los detalles de la inspección anual de aeronaves se describen en el Apéndice D de FAR 43, mientras que los requisitos para una inspección anual de aeronaves se pueden encontrar en FAR 91. 409a.(*The Different Types of Aircraft Maintenance Inspections - Aircraft Compare*, s. f.)

Inspecciones de 50 y 100 horas

La inspección de 50 horas puede incluir inspeccionar el motor en busca de desgaste y roturas, limpiar y examinar las bujías, si la tripulación de mantenimiento de la aeronave encuentra un desgaste excesivo, los componentes dañados se reemplazan para restaurar la aeronavegabilidad de un avión antes de que vuele.(*The Different Types of Aircraft Maintenance Inspections - Aircraft Compare*, s. f.)

Figura 7*Inspección de 50 horas*

Nota: Se inspeccionan los componentes por daños. Tomado de (The Different Types of Aircraft Maintenance Inspections - Aircraft Compare, s. f.)

En la inspección de 100 horas, los interruptores de combustible, la batería, los controles de vuelo y la parte de aviónica también se prueban e inspeccionan para verificar su eficiencia y seguridad, el mantenimiento y la inspección de rutina del motor también se realizan durante la inspección de 100 horas, implica el cambio de aceite y la limpieza y reparación de las bujías. (*The Different Types of Aircraft Maintenance Inspections - Aircraft Compare, s. f.*)

Chequeo Preflight La tripulación de cabina tiene que realizar comprobaciones previas al vuelo antes de que el avión vuele para asegurarse de que nada esté funcionando mal o con algún defecto, se debe utilizar una lista de verificación para que no se olvide nada al realizar una verificación previa al vuelo. La inspección previa al vuelo incluye caminar alrededor del avión e inspeccionar las superficies de control de vuelo y los componentes del fuselaje para detectar desgaste y defectos. (*The Different Types of Aircraft Maintenance Inspections - Aircraft Compare, s. f.*)

Figura 8

Chequeo preflight



Nota: El chequeo preflight se realiza antes del primer vuelo de cada mañana. Tomado de *The Different Types of Aircraft Maintenance Inspections - Aircraft Compare, s. f.*

Inspecciones progresivas. Los componentes específicos de una aeronave se prueban y examinan para determinar su eficiencia y seguridad durante cada sesión de inspección continua, el equipo técnico realiza esta inspección de manera ordenada para permitir completar a tiempo todos los requisitos para la revisión anual y de 100 horas. (*The Different Types of Aircraft Maintenance Inspections - Aircraft Compare*, s. f.)

Conducto de Admisión

El conducto de admisión tiene la función de producir la máxima cantidad de aire a modo de alimentación para el motor con una capacidad desde los 0.5 a 0.6 Mach a la entrada del compresor dicho valor es compatible con la velocidad de arrastre que es producida por la velocidad tangencial de los alabes del primer rotor de compresión. (Jose Lopez, 2012)

El diseño de la toma de aire aerodinámica es basada en que al aumentar su longitud se evita el desequilibrio del flujo de aire que sería la desestabilidad de los compresores que están aguas abajo y con ello se evitan fuertes gradientes de presión con lo cual el fan entraría en pérdida, la segunda al aumentar la longitud de la toma de aire las pérdidas de presión serán mayores por 1% de pérdida se logra un aumento del 1.5% del SFC y disminuir un 2.5% del empuje, incurriendo grandes pérdidas en el empuje general del motor. (Jose Lopez, 2012)

La función principal del difusor de entrada es la de ayudar a la ingestión del aire, de forma eficiente teniendo en cuenta las prestaciones del avión pero además intentando incrementar la compresión de este aire, para ello se utilizan entradas que tienen una forma divergente que se expanden en la dirección del fluido. («Los difusores de entrada I», s. f.)

Partes del difusor

El difusor tiene partes importantes para mejorar su eficiencia, esta comprende la zona del labio, mencionada área posee una inclinación de entre 3 y 5 grados para así evitar que el flujo de aire se separe entre las paredes, el diseño de la zona del labio no es practico ni simple debido a que el perfil de ingreso tiene que presentar resistencia y estabilidad a los cambios del ángulo de ataque.(José Lopez, 2012)

Efectos que tiene el diseño de la toma de aire

Para que las pérdidas de aire sean lo menos posible en la toma de aire y se consigan valores mucho más altos en el rendimiento de la admisión es necesario que una gran parte de la desaceleración ocurra antes del ingreso a la toma de aire o sección de entrada.(José Lopez, 2012)

Para que el flujo del aire tenga un recorrido que le permita realizar su trabajo al motor ocurre primero una difusión de aire antes de la sección de entrada en condiciones ideales, que son llamadas condiciones de normalizadas de presión y temperatura lo que no ocurre cuando la velocidad es estática o de baja velocidad el flujo de aire antes del ingreso a la sección de entrada es acelerado el mismo que genera condiciones sónicas que podrían restringir la operación del motor.(José Lopez, 2012)

Fan. El fan es el elemento más importante dentro del funcionamiento correcto y eficiente del motor, está ubicado también entre el grupo del compresor como el primero en un motor turbofan, el fan constituye un componente necesario para desarrollar empuje en los motores, es por esta razón que se realizan pruebas de funcionamiento.(José Lopez, 2012)

Tabla 2*Componentes principales del fan*

Spinner	Spinner front cone, está hecho de material compuesto Spinner rear cone, está hecho en aleaciones de aluminio
Disco del fan	Aleaciones forjadas de titanio, sujeta 38 alabes, espaciador y retenedor.
Alabes	38 alabes elaborados con aleaciones de titanio, radialmente asegurados dentro de un disco rotor, retenedor y espaciador previenen movimientos axiales.
Rotor	Consiste en un carrete de refuerzo y alabes, el carrete comprime el flujo de aire primario para introducir en el compresor de alta presión.
Conjunto de paletas de refuerzo	Montadas en la cara frontal del ventilador, compuesto de 4 etapas

Nota: La presente tabla identifica la composición de los principales elementos del motor

Al evaluar factores ambientales como la lluvia, granizo, hielo, impacto de aves, posible desprendimiento de los alabes y se evalúan riesgos de distorsión del aire en la entrada del conducto de admisión que pueden ser producidos por las maniobras de la aeronave o por el viento cruzado, la capacidad de compatibilidad cuando es accionada la reversa y la implementación de los niveles de ruido aceptables, todos estos factores

son ingresados para obtener la certificación con estándares de calidad que permitan mejorar el rendimiento en el motor.(Jose Lopez, 2012)

Posee dos funciones principales ya que es un elemento primordial dentro del óptimo trabajo producido por el motor.

- Es el encargado de acelerar y presurizar la corriente de aire para que al ingresar al conducto de admisión que es la tobera fría se genere un empuje más eficiente.
- Entrega la cantidad de aire necesaria al núcleo y aumenta la presión en la entrada del compresor de alta presión.

Estructura del fan

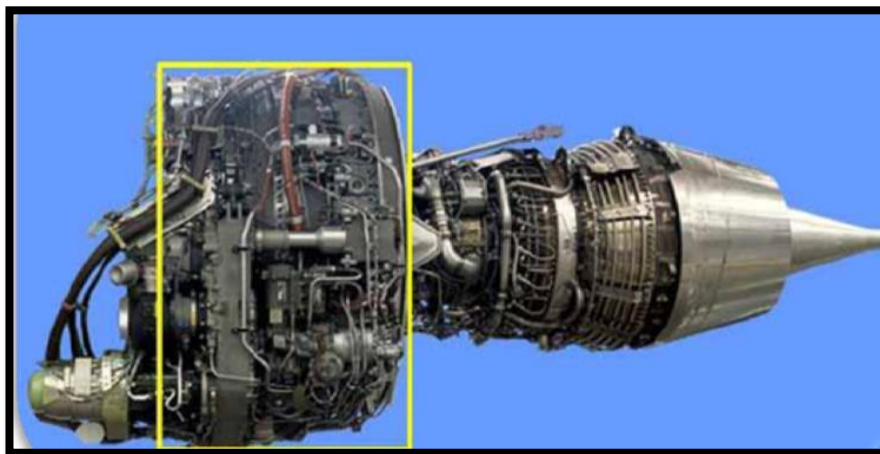
Los alabes son elementos de gran necesidad que poseen un perfil aerodinámico, dentro los mismos están los alabes móviles del tipo rotor que son los que están en la primera etapa del fan y tienen un accesorio que forma parte del alabe y que se encuentra en la raíz el cual permite a la cuchilla mantenerse estable y ensamblada en el disco del fan, el disco del fan se encuentra acoplado al eje del ventilador, y este a la vez está conectado y es impulsado por la turbina de baja presión.(Jose Lopez, 2012)

Módulos del Fan

Para hablar del Fan debemos hablar de los conjuntos mayores de los cuales está compuesto un motor CFM56-3. El motor para ello fue dividido de forma modular esto permite realizar un mantenimiento de estos módulos, los módulos mayores son el fan, núcleo del motor, turbina de baja Presión y el conjunto de la caja de engranajes.(Diego Alex Gomez Perez, 2015)

Figura 9

Modulo del fan



Nota: El modulo mayor comprende los principales elementos de la primera etapa del motor. Tomado de (Pérez D, 2015)

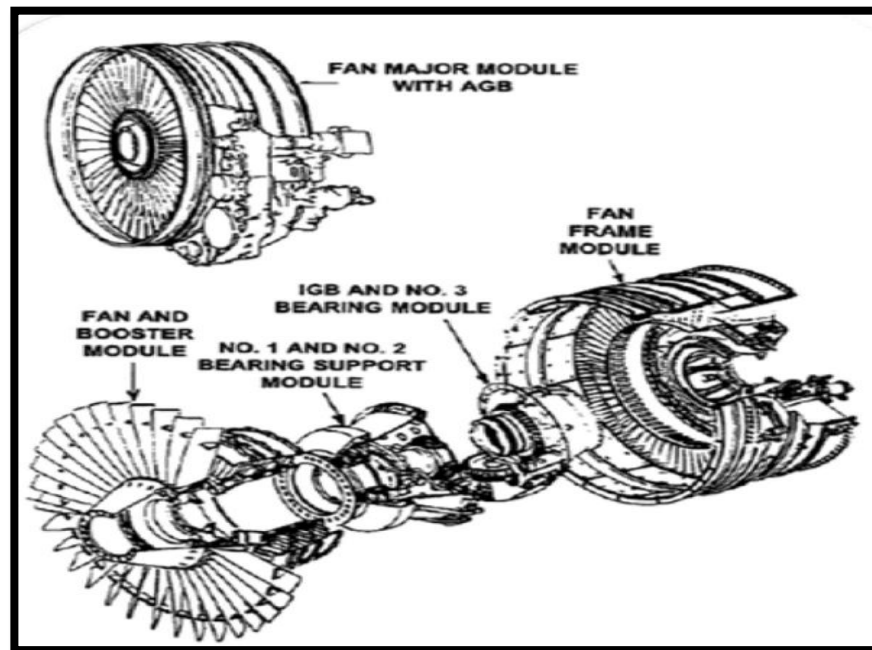
Módulo mayor del fan

El modulo mayor del fan está compuesto del rotor del fan propiamente, los alabes guía de salida de flujo aire OGV (Outlet Guide Vanes), el reforzador del estator y del rotor, los rodamientos de apoyo N°1 y N°2, los IGV (Inlet Guide Vanes) además del rodamiento N°3, la cubierta del fan y la estructura del fan, los mismo forman los cuatro sub módulos del Fan: el reforzador y el fan, los rodamientos N°1 y N°2 de soporte, IGB y el rodamiento N°3, la estructura del Fan. (Diego Alex Gomez Perez, 2015)

Cuando el motor está girando a altas r.p.m. en el suelo, antes de iniciar la carrera de despegue, está succionando a través del conducto de admisión el aire que le rodea, por lo que la presión en el conducto de admisión a la entrada del compresor es ligeramente inferior a la presión atmosférica exterior, hay una recuperación de presión por efecto dinámico. (*Principios basicos de funcionamiento del motor a reaccion*, s. f.)

Figura 10

Módulo mayor del fan



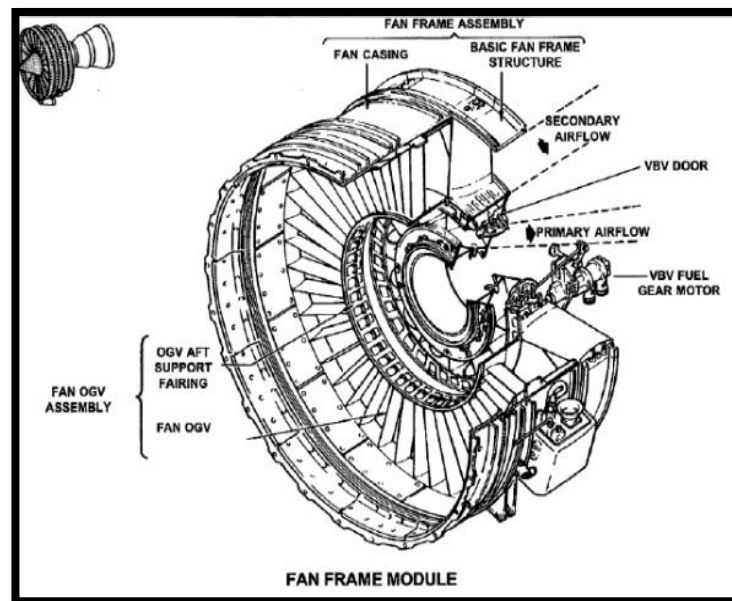
Nota: Entre las características principales del módulo mayor se encuentran los rodamientos del soporte. Tomado de (Pérez D, 2015)

Capacidad de la estructura del fan. La cubierta del fan es una estructura soldada construida basada en anillos concéntricos conectada a través de soportes radiales, constituye la estructura básica de la cubierta y el fan del motor, está fabricado con una aleación de acero, para que el mismo tenga una consistencia y además una resistencia suficiente, tiene soportes ubicados estratégicamente al contorno del conjunto del fan. Los soportes están perforados para proveer pasadizos para el cable del sensor de vibración del rodamiento, sensor de N°1, eje de transferencia radial de la caja de engranajes además del tubo del colector de aceite del rodamiento. (Diego Alex Gomez Perez, 2015)

La fabricación del fan case encierra el escenario en el que se encuentra el alabe ya que podría fragmentarse al momento de la ingestión de aire, un factor estándar para elegir el material está basado en la absorción de la energía de una parte del alabe por unidad de masa. Las nuevas investigaciones han podido realizar dos case uno rígido y uno suave que encierran el mecanismo de movimiento del alabe.(Fromm, s. f.)

Figura 11

Estructura del fan.



Nota: La estructura del fan tiene la capacidad de resistencia. Tomado de (Pérez D, 2015)

ALABE

El alabe conocido también como alabe es un componente en forma de aleta que está ubicada en el fan del motor, dichos alabes están localizados circularmente

alrededor de la toma de ingreso de aire del motor y son superficies aerodinámicas creadas con el fin de aumentar la presión, velocidad y temperatura.

Los alabes tiene un alto grado de torsión debido a las fuerzas a las cuales son sometidos en vuelo, una vez que la aeronave ha iniciado el vuelo las condiciones del fluido, en este caso el aire cambian de sentido cuando pasan a través del alabe, lo que sucede es que el aire que pasa por la raíz es de velocidad baja y el aire que atraviesa las puntas del alabe lo hace a velocidad transónica .(José López, 2012)

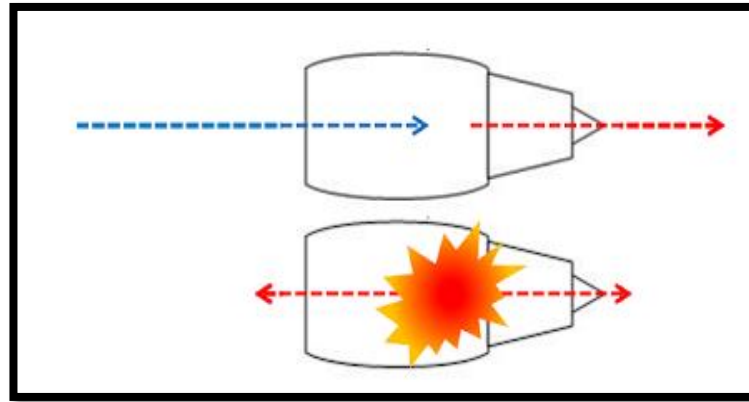
Rendimiento del alabe para evitar la pérdida del compresor

Una de las diferentes perdidas de los sistemas se denomina la pérdida del compresor o surge, y las consecuencias pueden ser una pequeña caída de potencia o lo que se puede decir la perdida que pueden sufrir algunos alabes o la supresión completa de la compresión, lo que ocurre cuando existe perdida es que el aire que se dirige hacia el motor es interrumpido, de esta manera los alabes que están en perdida no direccionan el aire hacia atrás sino todo lo contrario.(«La pérdida de compresor, también llamada Stall o Surge (Parte I)», s. f.)

Lo que ocurre es una alta presión en la mitad del motor y pondría en riesgo al motor para que sufra una explosión haciendo que el aire se mueva hacia adelante y hacia atrás de forma simultánea, al ocurrir este inconveniente muchas veces se pueden observar pequeñas llamaradas en los dos lados del motor y escuchar fuertes detonaciones, el piloto podrá verificar una guiñada en el avión por la pérdida de potencia.(«La pérdida de compresor, también llamada Stall o Surge (Parte I)», s. f.)

Figura 12

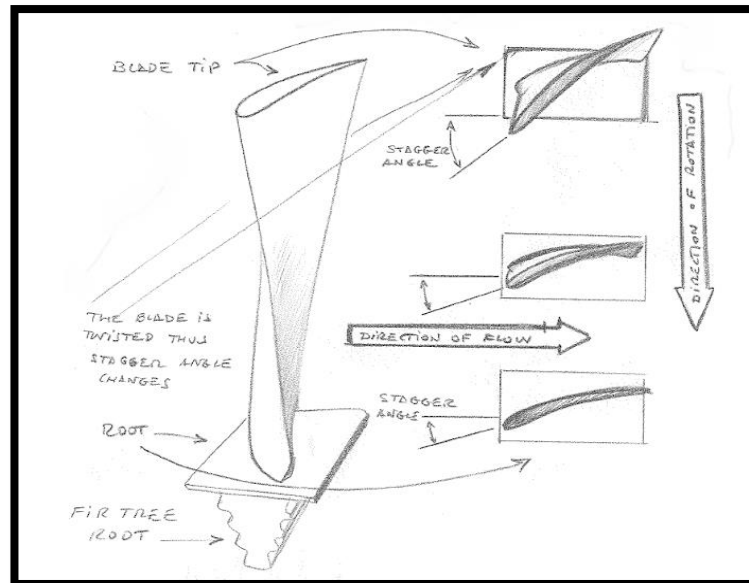
Explosión en el motor por alta presión



Nota: La alta presión en el motor originaría una explosión en el mismo. Tomado de (La pérdida de compresor s. f.)

Los alabes están en relación con la pérdida del compresor ya que son superficies aerodinámicas que interactúan con el aire, los mismos que poseen un perfil aerodinámico característico en su forma original, la raíz está encastrada en el disco que es movido por el eje, por eso al cortar un alabe en distintas partes de su longitud se puede observar que el retorcimiento varía del mismo modo que la hélice. («La pérdida de compresor, también llamada Stall o Surge (Parte I)», s. f.)

Al cortar el alabe transversalmente en tres puntos distintos de su longitud se puede ver que el llamado stagger angle que es equivalente al ángulo de ataque de un ala, varía debido al retorcimiento o twisting de tal manera que la velocidad rotacional y la forma característica del alabe hacen que el flujo del aire sea recompensado a lo largo de la longitud del alabe y la dirección de dicho flujo de aire es perpendicular a la dirección del alabe. («La pérdida de compresor, también llamada Stall o Surge (Parte I)», s. f.)

Figura 13*Ángulo de ataque del alabe*

Nota: Los perfiles alares de un alabe permiten el ingreso correcto del aire (La pérdida de compresor, s. f.)

Triángulo de velocidades en el alabe

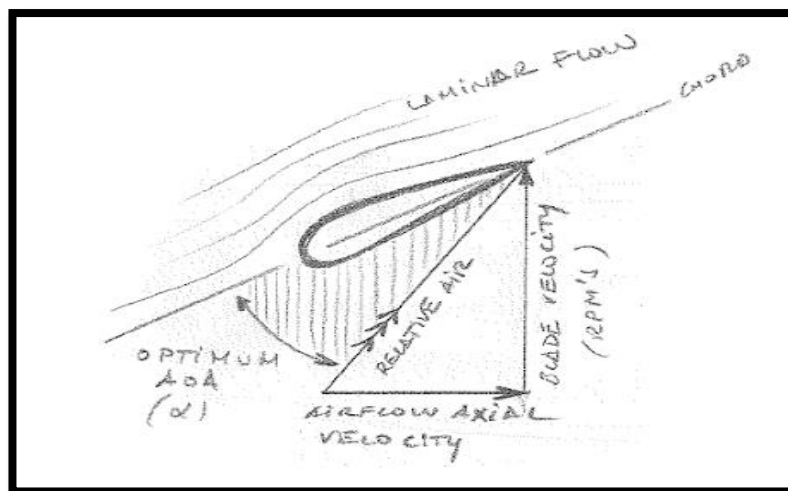
El flujo de aire pasa a través de la superficie sin turbulencias, lo que se llama flujo laminar, la cuerda del alabe forma un ángulo de ataque con el viento relativo que a su vez es función rotacional del eje y del flujo axial o aire que entra en el motor desde el difusor de entrada. («La pérdida de compresor, también llamada Stall o Surge (Parte I)», s. f.)

La caracterización parte de la estimación de las velocidades y de la determinación de la presión en el rotor, mediante los triángulos de velocidad en la succión y descarga de los álabes. (*Vista de Análisis del déficit de flujo en un ventilador*

de tiro forzado: propuestas de modificación geométrica al diseño original | Acta Universitaria, s. f.)

Figura 14

Triángulo de velocidades



Nota: La velocidad relativa del aire no conduce turbulencias. Tomado de («La pérdida de compresor, s. f.)

El intercambio de energía se logra en base a una acción mutua llamada acción-reacción establecida entre las paredes de los alabes y el fluido la acción resultante del rotor sobre el fluido será una fuerza que puede calcularse mediante el principio de la cantidad de movimiento. («Teoría elemental de las turbomáquinas. Triángulo de velocidades y ecuación de Euler», 2014)

La energía que intercambia el fluido, en este caso el aire con el rotor puede ser de dos clases una energía de presión y la otra energía cinética, el triángulo de

velocidades se refiere al triángulo formado por tres vectores de velocidad. («Teoría elemental de las turbomáquinas. Triángulo de velocidades y ecuación de Euler», 2014)

Tipos de alabes

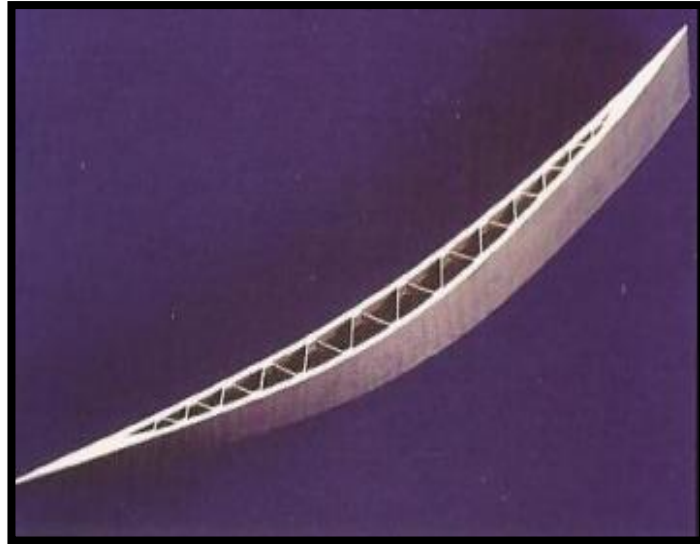
Swept Fan

Este es un tipo de alabe más utilizado en los turbofans, es conocido también como alabe con flecha, aumentan la succión del aire que ingresa al motor en un mismo diámetro, generando empuje al motor, cuando la aeronave se encuentra en vuelo crucero los swept fan tienen una mejor eficiencia y por lo tanto más resistencia al impacto.(José Lopez, 2012)

Todos estos beneficios debido a los grandes estudios que se han realizado evitando el peso de los alabes que de alguna manera su diámetro más grande hace posible más entrada de aire al motor produce incremento de peso, un gran avance es crear alabes con perfiles aerodinámicos con mejores características eficientes aerodinámicamente y así poder reducir el número de álabes.(Jose Lopez, 2012)

Alabes huecos

Los alabes huecos son una opción que permite reducir el peso, el interior con un parecido al panel de abeja con dos laminas exteriores de titanio, que son un beneficio con un 88% más de rendimiento y al ser alabes huecos tienen las mismas capacidades que los alabes sólidos .(Jose Lopez, 2012)

Figura 15*Alabes huecos*

Nota: Estructura interna de un alabe. Tomado de (López J, 2012)

Alabes torsionados. La característica principal de este tipo de alabe es que los ángulos correspondientes a los del perfil en el borde de ataque y borde de salida del alabe permanecen invariables desde la base a la punta del alabe de esta manera se obtiene los conocidos alabes cilíndricos estos alabes son de construcción muy simplificada y bajo costo.(Andrés Rodríguez Rodríguez, 2016)

El alabe sufre un cambio de dirección de la velocidad relativa del fluido a la entrada del alabe, por este motivo es que los alabes torsionados varían gradualmente de la base a la punta, el ángulo del borde de ataque y de salida para así evitar desprendimientos de la corriente.(Andrés Rodríguez Rodríguez, 2016)

Figura 16

Alabes torsionados



Nota: Variación del performance del alabe torsionado. Tomado de (Rodríguez A, 2016)

Parámetros de geometría del alabe

Al hablar de la geometría de un alabe también se puede hablar del grado de reacción del escalonamiento en el que ira montado un alabe y por lo tanto se pueden utilizar las siguientes definiciones, los perfiles aerodinámicos en los alabes se han diseñado con la finalidad de adaptarse a cada zona del mismo y así reducir las pérdidas de empuje en el motor.(Andrés Rodríguez Rodríguez, 2016)

Línea media: divide en dos partes iguales el espesor

Cuerda: línea que une los bordes de entrada y salida del perfil

Angulo de curvatura del perfil: es el ángulo que forman las tangentes a la línea media del perfil en los bordes de ataque y de salida.

Ángulo de incidencia: es el ángulo constituido por la velocidad media del flujo entrante a la cascada con la tangente a la línea media del perfil en el borde de ataque, en las turbinas este ángulo a veces puede ser cero o es muy cercano al cero.

Angulo de desviación: es el ángulo establecido entre la velocidad media del flujo saliente de la cascada con la tangente a la línea media del perfil en el borde de salida.

Angulo de deflexión: se le llama al ángulo formado por las velocidades medias del flujo a la entrada y a la salida de la cascada.

Composición de un Álab

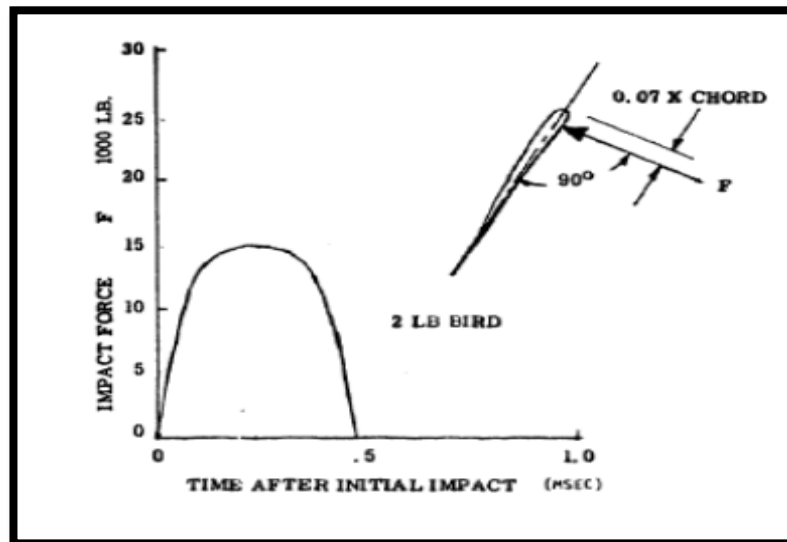
Los componentes de un alabe son una gran innovación tecnológica, utilizada actualmente para mejorar los niveles de desempeño de un motor es por eso que uno de los materiales utilizados es la fibra de carbono que contienen un 2.5 % menos densidad que el titanio que era utilizado en los alabes antiguos.(Fromm, s. f.)

Es claro que la fibra de carbono es también usada como varios compuestos y es motivo para la reducción de peso dando como ventaja una mejor eficiencia por la rigidez que presenta la fibra de carbono generando tolerancias mucho más grandes en el sentido del giro de los alabes en el motor produciendo así un mejor rendimiento.(Fromm, s. f.)

Como ventajas que presenta la fibra de carbono se tiene la habilidad para construir curvas más fuertes y formas más completas para cada alabe, también como una consideración importante al utilizar fibra de carbono que garantiza resistencia al impacto que presenta el compuesto. El alabe debe presentar una gran resistencia al impacto en especial al momento de la ingestión de aire para evitar el ingreso de objetos extraños que podría ocasionar fallas en el buen funcionamiento del motor.(Fromm, s. f.)

Figura 17

Esquema fuerza de impacto del ábabe



Nota: El estudio de la composición del alabe para determinar las fuerzas de impacto del aire. Tomado de (Fromm, s. f.)

La resistencia química y UV también juegan un papel decisivo para los alabes, ya que los fluidos del motor como el combustible y el aceite a lo largo del funcionamiento al contacto con las radiaciones UV pueden romper la resina epoxi, la solución para este problema es incorporar una cobertura de poliuretano como protección para los alabes.(Fromm, s. f.)

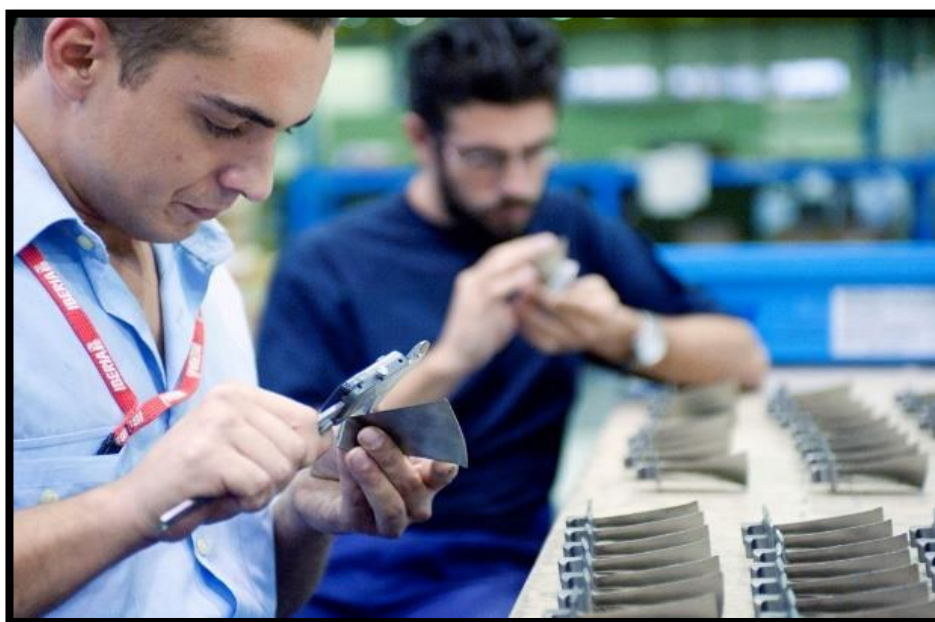
Pruebas e Inspección en el alabe

Para comprobar el estado de los alabes se puede evidenciar dos tipos de desgaste, el primero que es desgaste en el borde de ataque y el segundo en la punta, los mismos que serán susceptibles de reparación, cuando se trata del desgaste de un alabe

en el borde de ataque se puede observar que la falla existe en muy pocos alabes y por lo tanto se sustituye el alabe defectuoso, en el caso de que el daño sea en la punta se debe realizar la reparación del alabe. *(I+D+I en reparación de álabes de compresor | Me gusta volar, s. f.)*

Figura 18

Pruebas en el alabe



Nota: Se inspecciona el alabe por rajaduras o golpes. Tomado de (I+D+I en reparación de álabes de compresor | Me gusta volar, s. f.)

Para realizar la reparación de un alabe se divide en etapas: limpieza, inspección, reparación y mecanizado en la célula de soldadura laser, tratamiento superficiales, térmicos y verificación final del correcto funcionamiento de cada alabe, este proceso se realiza al desmodular el motor y extraer cada uno de los alabes. *(I+D+I en reparación de álabes de compresor | Me gusta volar, s. f.)*

La operación de limpieza profunda a los alabes que se encuentran expuestos a temperaturas altas y bajas, las impurezas se depositan en cada uno de los alabes para después realizar un proceso de inspección que puede ser realizada de manera dimensional para comprobar el estado general del alabe para calificar si aún puede ser utilizado o es considerado inútil. *(I+D+I en reparación de álabes de compresor | Me gusta volar, s. f.)*

Se puede eliminar todo tipo de daño que ocurra en la punta, después se elabora la parte que se ha eliminado y se da la forma del perfil aerodinámico real y concreto necesario para el alabe. *(I+D+I en reparación de álabes de compresor | Me gusta volar, s. f.)*

Figura 19

Proceso de inspección en detalle del alabe



Nota: Cada alabe debe ser inspeccionado desde la raíz. Tomado de *(I+D+I en reparación de álabes de compresor | Me gusta volar, s. f.)*

El alabe también necesita ser sometido a tratamientos térmicos así como superficiales con ello se restablece las características de resistencia a la fatiga que posee el alabe y entre estos procesos se realizan ensayos de inspección no destructiva como la inspección por rayos X que puede ser realizada en sistemas digitales. *(I+D+I en reparación de álabes de compresor | Me gusta volar, s. f.)*

Análisis de materiales con ensayos laser para los alabes

Los alabes del fan al ser elementos que están expuestos al inicio de la toma de aire sufren grandes vibraciones y cargas en la superficie, lo que conlleva a daños en la estructura del mismo, los daños causados por estos fallos debido a la gran tensión que tienen pueden ocasionar con el tiempo pequeñas grietas al motor que sería realmente catastrófico y con grandes pérdidas. *(Laser peening extends the lifetime of Rolls-Royce fan blades - Department of Materials - The University of Manchester, s. f.)*

Resientes investigaciones elaboraron un proceso de inspección denominado laser shock peening LSP. Este proceso le brinda al alabe fortaleza y mayor durabilidad al utilizar rayos x de sincrotrón penetrantes que tiene la capacidad de acelerar las partículas, al someter el alabe a este proceso le genera tensión de compresión profunda que en los vuelos permanecen estables bajo la carga de fatiga, los beneficios de este proceso es que se puede detener potencialmente el agrietamiento superficial. *(Laser peening extends the lifetime of Rolls-Royce fan blades - Department of Materials - The University of Manchester, s. f.)*

Para evitar que ocurran fallos en los alabes se realiza un disparo como una especie de choque laser lo que las minúsculas grietas produzcan tensiones de

compresión y así evitan un mayor agrandamiento del daño de la superficie del aspa, es decir se utiliza un plasma de un potente rayo láser para evitar el crecimiento de las hendiduras esto produce un amortiguamiento y provee larga vida útil al motor. (*Laser peening extends the lifetime of Rolls-Royce fan blades - Department of Materials - The University of Manchester*, s. f.)

Lubricación del alabe

Capacidad de lubricación en el alabe

El fan incluye un disco de rotor y una pluralidad de alabes que se extienden radialmente hacia afuera del disco de rotor, cada uno de los alabes tiene una raíz que está posicionada dentro de una cavidad de la raíz del disco del rotor que evita que los alabes se desenganchen del disco del rotor durante el funcionamiento del ventilador. (PALMER, 2014)

Las fuerzas centrífugas en los alabes hacen que la raíz roce contra el disco del rotor, este roce se mitiga típicamente con un lubricante en las superficies afectadas, cada pala debe ser desenganchada del disco del rotor, el lubricante puede entonces ser aplicado, y los alabes pueden ser re-ensambladas con el disco del rotor. (PALMER, 2014)

Los lubricantes comúnmente empleados son aceites que provienen del refine del petróleo, debiendo cumplir una serie de requisitos, principalmente relativos a su viscosidad de acuerdo con la severidad de las condiciones de operación del motor. (*Sistemas de lubricación y refrigeración.*, s. f.)

Método de aplicación del lubricante

Una capa anti-fret o de lubricación es una práctica de diseño común para las aspas y discos insertados, este revestimiento antideslizante reduce el frotamiento y la micro adhesión de los alabes dentro de la ranura del disco del ventilador, algunos motores experimentan la vibración ocasional del ventilador debido a la falta de lubricación del disco del ventilador y de los alabes. (*Honeywell TFE731 Fan Blade Dry Lube Application | Duncan Aviation, s. f.*)

Figura 20

Raíz del alabe lubricado



Nota: La lubricación debe ser realizada a 20cm de distancia de cada elemento. Tomado de (*Fan Blade Dry Lube Application, s. f.*)

Según el LMM y el SIL de Honeywell, hay dos métodos de aplicación de lubricación en seco: 1) Dow Corning Molykote 321 y 2) el procedimiento Honeywell

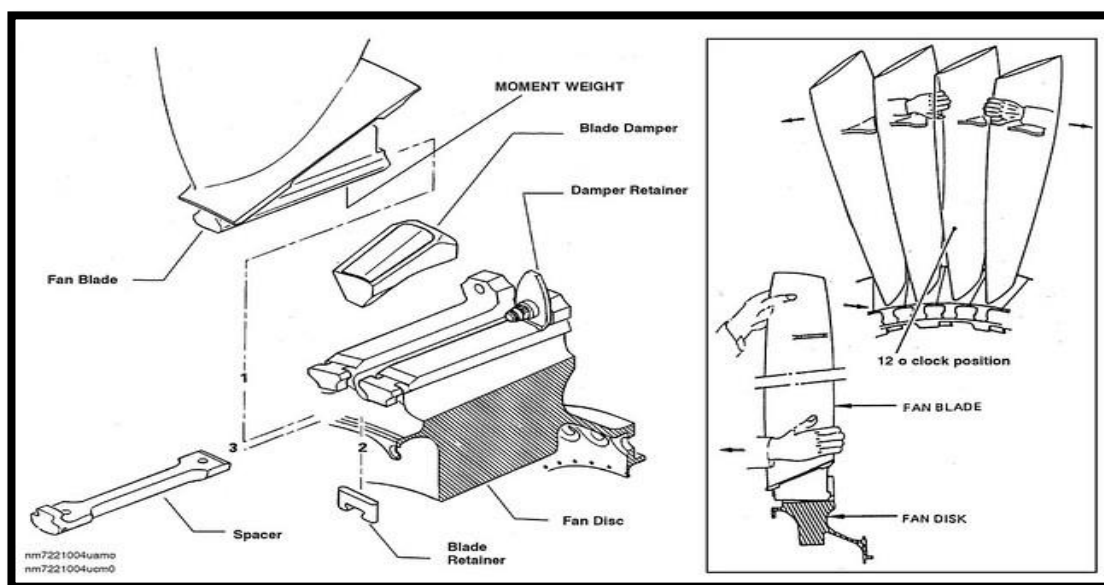
llamado Método 403W. El Dow Corning 321 es un aerosol que se aplica en la superficie de los álabes, se dejan secar al aire y luego se reinstalan en el disco del ventilador.

(*Honeywell TFE731 Fan Blade Dry Lube Application | Duncan Aviation, s. f.*)

Se colocan los álabes con cuidado en una superficie por orden de numeración, cuando se hayan desmontado se limpian las raíces y los retenedores con alcohol isopropílico y se dejan secar y aplicaremos Molykote G Rapid CP2104, un spray que protege las superficies de golpes y otros daños y previene la corrosión. («Cambio de álabes de CFM56», 2016)

Figura 21

Elementos que forman parte del alabe



Nota: El damper, retenedor y espaciador forman parte del conjunto del alabe ubicado al as 12 en punto. Tomado de («Cambio de álabes de CFM56», 2016)

CAPÍTULO III

3.1 Introducción

El presente proyecto, está dirigido al personal técnico, asimismo será de gran utilidad en las labores realizadas en la Organización de Mantenimiento Aprobada DIAF-CEMA, por lo tanto se otorga un medio de apoyo para ejecutar las tareas de inspección y lubricación de los alabes de la aeronave Boeing 737-300/400/500 de los motores CFM56-3, enfocándose en la conservación de mencionados elementos al brindar un área adecuada para la aplicación de las tareas de mantenimiento.

3.2 Preliminares

El alabe permite el ingreso de las cantidades adecuadas de aire hacia el motor, componente que cuenta con una forma aerodinámica para que el flujo de aire tenga las características que requiere el motor, debido al aporte que realiza. En este capítulo se presentan los procedimientos que se desarrollaron en la inspección y lubricación de los alabes de la aeronave Boeing 737-300/400/500 de los motores CFM56-3.

Además, la implementación de un soporte para cumplir con la tarea de mantenimiento y mantener en buen estado el alabe, debido a que mejora considerablemente la destreza en la parte práctica y garantiza menor tiempo en el desarrollo de las tareas de inspección y lubricación de los alabes de la aeronave Boeing 737-300/400/500 de los motores CFM56-3 y respalda la seguridad total del personal técnico.

3.3 Principales factores

3.3.1 Factor técnico

Los principales beneficiarios del presente proyecto, son el personal técnico que labora en la Organización de Mantenimiento Aprobada DIAF-CEMA localizada en la ciudad de Latacunga, ya que está encaminado a la elaboración e implementación de un soporte que permita la correcta inspección y lubricación de los alabes para comprobar que no existan daños por rajaduras o grietas, pues proporciona un medio de apoyo práctico para el personal técnico, de tal modo se considera factible, para el estudio se cuenta con información técnica propia del fabricante del motor CFM56-3 y con información de aeronaves.

3.4 Factor económico

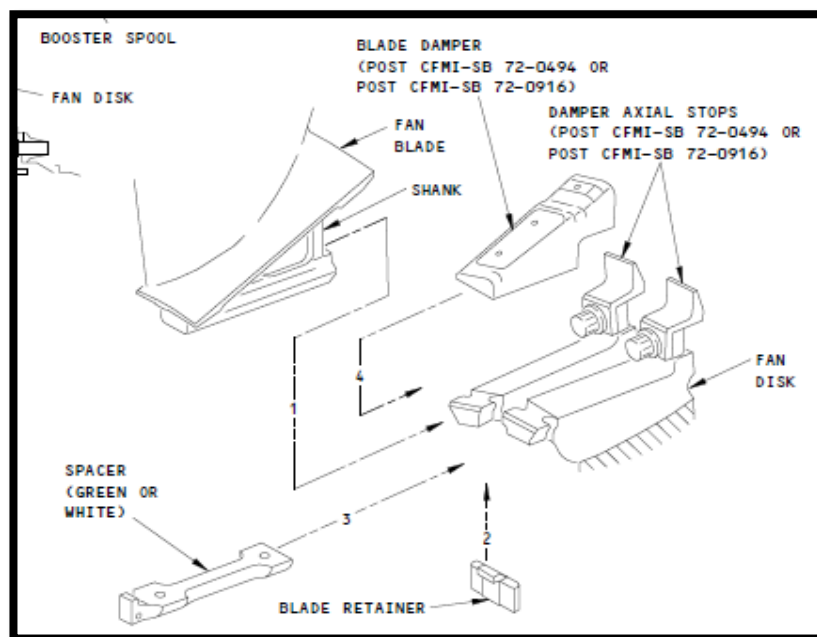
Para la implementación del soporte y la realización de inspección y lubricación de los alabes, comprobando la funcionalidad de dicho elemento, fue preciso analizar los gastos que generaron los materiales a utilizar, para la elaboración del presente proyecto de titulación, del mismo modo que se evaluaron los gastos personales para culminar este proyecto.

3.5 Planteamiento y estudio de alternativas

En el presente proyecto de monografía, se tomó en cuenta la necesidad de mantener el alabe en un área que brinda la capacidad de preservar el componente en condiciones que le permitan al técnico de mantenimiento laborar en la Organización de Mantenimiento Aprobada DIAF-CEMA ejecutar la inspección y lubricación concreta y detallada de cada alabe, se tomó como referencia la orden de trabajo programada 72-31-02-206-008-C00 y 70-10-05-602-021-C00 referente al motor (CFM56-3).

Figura 22

Conjunto del alabe



Nota: El alabe ingresa en las cavidades del disco del fan. Tomado de (Manual de MMantenimiento de la aeronave Boeing 737-300/400/500, 2019)

Tabla 3

Características del soporte implementado

Tipo de material de apoyo	Características
Soporte para los alabes del motor CFM56-3	<ul style="list-style-type: none"> _ El soporte móvil consta de 4 ruedas establecidas sobre una base metálica. _ La estructura metálica sostiene apoyos de madera donde ingresan los alabes. _ Al final del soporte están ubicados alojamientos de madera asignados para guardar el damper, retenedor y espaciador

Nota: El soporte mantiene las características de estabilidad.

3.5.1 Análisis de la opción establecida

En esta sección se hace referencia a los factores que tiene el soporte elegido para realizar la inspección y lubricación de los fan blade. A continuación, se detalla en la tabla los factores que intervienen.

3.5.2 Factor tiempo de construcción

Tabla 4

Factor tiempo de construcción

Item	Factor tiempo de construcción
Soporte para el alabe del motor CFM56-	_ Construcción rápida.
3	_ Preservaría por más tiempo de vida los alabes del motor.
	_ Facilita la lubricación de los alabes.

Nota: Para la elaboración del soporte se utilizó un tiempo prudente.

3.5.3 Análisis del factor planteado

El factor de rapidez en la construcción del soporte es la adecuada ya que la construcción e implementación del equipo de apoyo se efectuara en un corto tiempo y con las especificaciones para la preservación de cada alabe.

3.5.4 Factor seguridad del soporte

Tabla 5*Factor seguridad del soporte*

	Factor seguridad del soporte
Soporte para el alabe del motor CFM56-3	<ul style="list-style-type: none"> _ Carece de dificultades para mantener el alabe estable. _ Tiene una base longitudinal extensa que ubica ordenadamente los alabes del motor. _ La forma de unión de la base metálica hace más seguro el soporte. _ Posee ruedas giratorias con seguro que permiten maniobrar a la distancia requerida.

Nota: El soporte posee las medidas de seguridad necesarias.

3.5.5 Análisis del factor propuesto

Este factor indica que el soporte dispone todas las medidas de seguridad necesaria para mantener estables los alabes del motor CFM56-3 de manera que facilitara el traslado de un lugar a otro.

3.5.6 Factor construcción

Tabla 6*Factor construcción*

Factor construcción	
Soporte para el alabe del motor CFM56-3	<input type="checkbox"/> La elaboración de la estructura es menos complicada. <input type="checkbox"/> El material fue encontrado con facilidad. <input type="checkbox"/> No necesita un tipo excesivo para su construcción

Nota: La construcción del soporte no fue extensa.

3.5.7 Análisis del factor planteado

El factor construcción será de gran utilidad en la elección de un opción adecuada, obteniendo como eficaz la implementación de un soporte para los alabes del motor.

3.5.8 Selección del soporte a implementar

Con el análisis de las opciones anteriores se verifico que la implementación del soporte para los alabes del motor CFM56-3 es el adecuado por sus características de seguridad, menor costo para la elaboración, corto tiempo de construcción para favorecer así los trabajos de inspección y lubricación de los alabes, preservar el componente en un área adecuada.

Finalizada la investigación acerca del equipo de apoyo utilizado para ubicar los alabes del motor se tomó como opción correcta la implementación del soporte para ejecutar la inspección y lubricación de los alabes del motor CFM56-3, que brinda a los técnico de mantenimiento que laboran en la Organización de Mantenimiento Aprobada DIAF-CEMA un medio de apoyo en la realización de los trabajos.

3.5.9 Análisis de software para la implementación del soporte de los alabes

La ejecución del soporte otorga todas las características de funcionalidad a la vez que permite entender la utilización del soporte para los alabes, de tal manera que el desarrollo es propio del equipo de apoyo direccionado a la construcción del soporte con material de aplicación adecuado.

Figura 23

Análisis de implementación del soporte



Nota: El presente análisis muestra los factores con los que se trabajaron para iniciar el proceso de elaboración del soporte.

3.6 Desarrollo

En este proyecto fue necesario implementar un soporte de acero con separadores de roble que cumplen las características de protección contra la corrosión entre metales, que fue diseñado de acuerdo a las exigencias de los técnicos que cumpla ciertas normas y reglas que dictamina la empresa, mediante el cual se desea garantizar seguridad y optimización del tiempo para efectuar la tarea de inspección y lubricación de los alabes de la aeronave Boeing 737-300/400/500 de los motores CFM56-3, en este caso el soporte brinda un área útil y adecuada para distribuir ordenadamente cada uno de los alabes.

En la implementación y elaboración del soporte para los alabes fue necesario realizar un esquema utilizando el software SolidWorks previo a las medidas del alabe para conocer la dimensión que cada uno tenía, con dicho procedimiento se obtuvo los planos adecuados ya que es necesario priorizar la seguridad del componente y del personal técnico. Se pueden observar los planos en el ANEXO A.

El primer paso para poder realizar la inspección y lubricación de los alabes de la aeronave Boeing 737-300/400/500 de los motores CFM56-3 es remover cada alabe y posterior ubicar en un lugar adecuado que también permita inspeccionar y lubricar los alabes, es por ello que fue imprescindible elaborar un soporte que brinde resistividad, durabilidad, tenacidad y seguridad para su uso.

Figura 24

Elaboración del soporte



Nota: Cada proceso de elaboración fue realizado con las medidas de seguridad.

Se considera que el soporte sirve para realizar la inspección y lubricación de los alabes de la aeronave Boeing 737-300/400/500 de los motores CFM56-3, el mismo que proporciona la capacidad de evitar daños por corrosión entre superficies metálicas y permite desempeñar la lubricación en cada uno de los fan blade sin dificultades en el cual los técnicos de mantenimiento que laboran en la Organización de Mantenimiento Aprobada DIAF-CEMA efectúan dichas tareas.

Figura 25

Soporte para alabes



Nota: Elaboración del soporte para el alabe.

3.6.1 Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento del equipo de apoyo (soporte) se realizó con la guía de los técnicos de mantenimiento que laboran en la Organización de mantenimiento Aprobada DIAF-CEMA, para verificar su funcionamiento adecuado antes de continuar con el proceso de pintura y llevar a efecto el procedimiento de inspección y lubricación de los alabes previa la remoción del front spinner y rear spinner.

Tabla 7*Pruebas de funcionamiento del soporte*

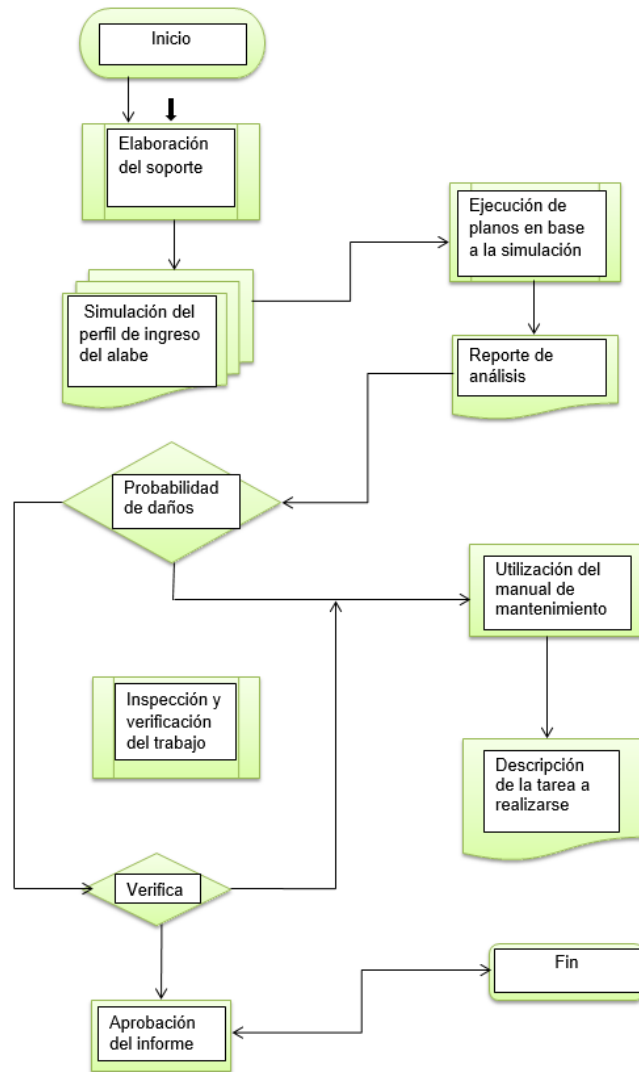
Prueba de funcionamiento del soporte		
Características	Favorable	Desfavorable
Fácil accesibilidad	X	
Resistente la manipulación	X	
No presenta riesgo por corrosión	X	
Durabilidad del componente	X	
Se utilizó materiales adecuados en su elaboración	X	
Se utilizó la documentación técnica de la aeronave Boeing 737-300/400/500	X	

Nota: El soporte implementado cuenta con la dureza y anticorrosión entre los materiales.

El diagrama que se muestra pertenece al desarrollo de los planos del soporte que fue fabricado con la finalidad de preservar los alabes del motor CFM56-3 de la aeronave Boeing 737-300/400/500, este software demuestra la factibilidad de ejecutar un equipo de apoyo para los técnicos de OMA-DIAF que realizan las tareas de remoción e instalación de los alabes del motor.

Figura 26

Diagrama de simulación del soporte implementado



Nota: Para implementar el soporte se analizaron los procesos de elaboración.

3.16.1 Trabajo de inspección y lubricación de los fan blade de la aeronave Boeing

737-300/400/500 de los motores CFM56-3.

El aire que ingresa al motor se divide en dos el uno es una corriente de aire primario o interna y el otro es una corriente de aire secundario o externa, los alabes del motor proporcionan el ingreso de aire de tal modo que su forma aerodinámica ayuda al motor a generar el empuje deseado.

Cuando el compresor de baja presión (LPC) y el compresor de alta presión de 9 etapas (HPC) comprimen la corriente de aire primaria, lo que permite la combustión en la cámara anular con una velocidad del aire de descarga que aumenta, de este modo se impulsa la turbina de baja presión.

El motor tiene 38 alabes elaborados con aleaciones de titanio, los mismos que tienen una articulación radial que asegura el alabe dentro de un disco rotor, el retenedor y espaciador del alabe previenen el movimiento axial y el damper es colocado debajo de la plataforma del alabe en el motor.

Previo a realizar la inspección y lubricación de los alabes de los motores CFM56-3 la aeronave Boeing 737-300/400/500, mediante la utilización del equipo de protección personal y la herramienta especial se procede a remover cada uno de los mismos y fueron colocados en el equipo de apoyo (soporte) implementado, se ejecutó la limpieza de cada alabe con alcohol industrial y paños, utilizando como referencia los manuales no customizados de la aeronave Boeing 737-300/400/500.

Tarea 1. Remoción del front spinner y rear spinner según la tarea N 72-31-01-004-001-C00.

Procedimiento

Es importante en esta tarea marcar la posición del front spinner y del rear spinner junto con el alabe número 1 en sentido anti horario, cuando se instalen los componentes nuevamente vuelvan a la misma posición sin afectar al balance de los alabes del disco del fan.

- a. Se enumera los alabes en sentido anti horario utilizando un marcador borrable que permite identificar el inicio y el orden en el cual van instalados los alabes del fan del 1 al 38.

Figura 27

Alabes enumerados



Nota: Se enumeran los alabes en sentido anti horario.

- b. Utilizando una racha 3/8 con extensión de 3 pulgadas y copa $\frac{3}{4}$ por 5/16 se remueven los 8 pernos con las arandelas que está sujeto al cono posterior.

- c. En esta tarea es importante utilizar las herramientas adecuadas para evitar en todo momento que el alabe o algún componente del mismo ya sea en la estructura lleguen a sufrir daños por los golpes de las herramientas.

Figura 28

Remoción de pernos



Nota: El primer paso es remover el front spinner.

- d. Se debe instalar 3 pernos ya extraídos dentro de los orificios de los pernos que no se alinean con los orificios en el cono del rear spinner, hacer giros de ajuste secuenciales uno por uno hasta que toquen el rear spinner.

Figura 29*Instalación de pernos no alineados*

Nota: Insertar cada perno para la remoción del front spinner.

- e. Una vez que los pernos toquen el rear spinner el front cone será removido de su posición.

Figura 30*Remoción del front spinner*

Nota: Identificación de componentes removidos.

- f. Extraer los 12 pernos con sus respectivas arandelas con una copa 3/4 por 5/16 y una llave de corona 5/16 que están fijados en la brida de popa de rear spinner a la brida del disco del ventilador, es importante no permitir que los alabes se golpeen con las herramientas ya que podrían ocasionar daños graves a los mismos.

Figura 31

Extracción pernos rear cone



Nota: Alinear cada elemento antes de remover.

- g. Se incorpora una señal de la posición de los alabes que están ubicados en el disco del rotor del fan con el punto de referencia, tomando en cuenta que el número uno estará incorporado en la base de la raíz del alabe.

Figura 32

Alineación rear spinner

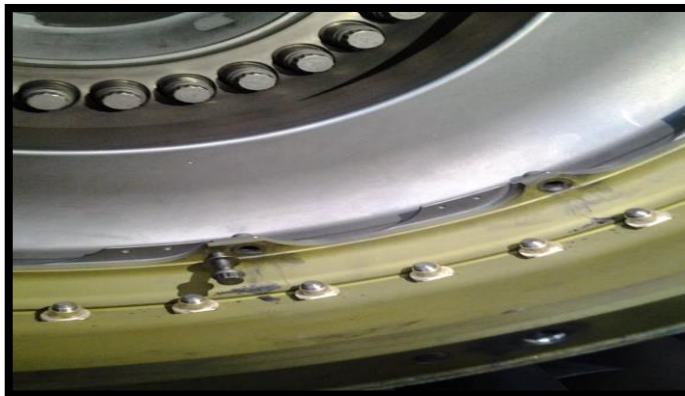


Nota: Verificar las marcaciones realizadas.

- h. Colocar 6 pernos niveladores ya extraídos al rear cone, con una distancia de 60 grados el uno del otro.

Figura 33

Ubicación de pernos niveladores



Nota: El rear spinner posee agujeros para instalar pernos de remoción.

- i. Ajustar progresivamente los pernos uno por uno hasta que el rear spinner pueda ser removido.

Tarea 2. Remoción de los alabes del motor de acuerdo con la tarea 72-31-02-964-001-C00.

- a. Utilizando el equipo de protección personal en este caso los guantes se debe girar el alabe a la posición 12 en punto.

Figura 34

Alabe en posición 12 en punto



Nota: Alinear el alabe número uno en posición 12 en punto.

- b. Se remueve el retenedor del disco del ventilador con un movimiento hacia abajo.
- c. Se extrae el espaciador del alabe con las manos moviendo el elemento hacia delante, de acuerdo al manual de mantenimiento el espaciador también puede ser removido utilizando el adaptador y en caso de una extracción

forzada también se puede utilizar un puller para remover el espaciador ya que tiene un orificio para el enganche de la herramienta.

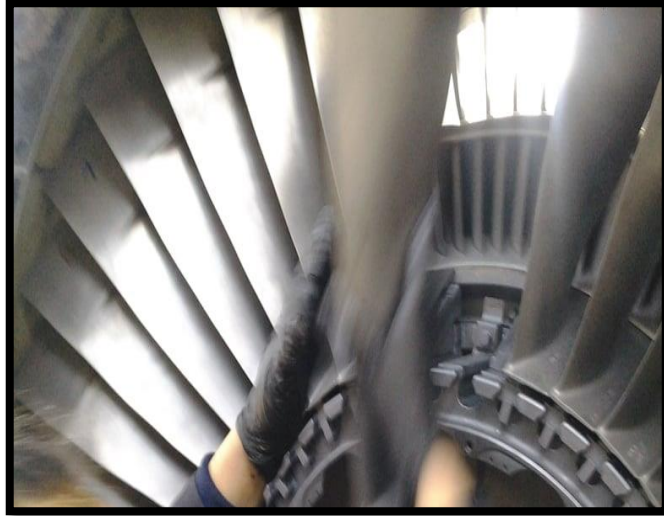
Figura 35

Adaptador para remoción del espaciador



Nota: Herramienta especial de acuerdo al manual de mantenimiento.

- d. El alabe se remueve con las manos cuando el retenedor y el espaciador ya han sido removidos, los alabes estarán enumerados del 1 al 38 y el numero 1 contara con una marca particular.

Figura 36*Extracción del alabe*

Nota: Extraer el alabe desde la raíz.

- e. La remoción se deberá realizar en sentido anti horario, para colocar posteriormente cada alabe en el soporte que ha sido implementado en donde constaran también cada uno de los elementos pertenecientes al conjunto del alabe.
- f. Se procede a remover el amortiguador o damper del conjunto, con lo cual se finaliza la remoción del alabe del motor CFM56-3.

Figura 37

Remoción del damper



Nota: El damper es el último elemento en remover.

Tarea 3. Limpieza de los alabes**Procedimiento**

- a. Efectuar la limpieza de cada uno de los alabes del motor CFM56-3, para cumplir con dicha tarea se utilizó alcohol isopropílico y paños de algodón que no tienen ningún tipo de pelusa y por lo tanto proporcionan las características para la preservación adecuada del alabe.

Figura 38*Limpieza del alabe*

Nota: Los paños son de algodón libres de pelusas.

- b. Se limpió la suciedad de la superficie exterior y posterior del damper, espaciador y retenedor, utilizando alcohol isopropílico y paños de algodón, esta tarea se debe realizar por un tiempo prolongado ya que cada uno de los elementos deben encontrarse correctamente limpios para que la lubricación posea todas las características al momento de la instalación.

Figura 39

Limpieza del espaciador



Nota: La limpieza se debe realizar a profundidad.

Tarea 4. Inspección visual de los alabes del motor según la tarea de mantenimiento 72-31-02-206-008-C00.

- a. Cumplir con la inspección visual de los alabes del disco del fan por condiciones de rajaduras, agrietamientos o por la presencia de corrosión en el borde de ataque y salida del mismo, es importante comprobar el estado en el que se encuentra la cola de milano del alabe.

Figura 40

Inspección de la cola de milano



Nota: La cola de milano está expuesta a grandes esfuerzos.

- b. El astillado y la descamación en el borde de ataque del alabe es permitido si este es menor que 0.08 pulgadas o 2.0 milímetros desde el borde delantero.
- c. El astillado y la descamación en el borde de salida del alabe es permitido si este es menor que 0.280 pulgadas o 7.0 milímetros desde el borde de popa.

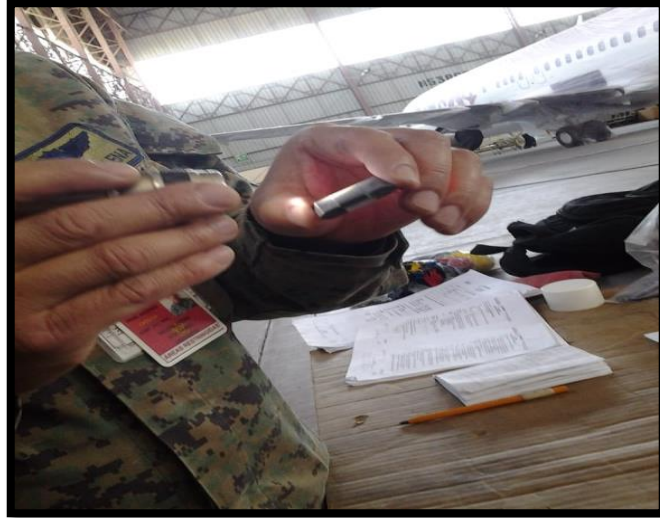
Figura 41

Inspección borde de salida



Nota: Con una linterna se verifica el estado del borde de salida.

- d. Examinar el retenedor del alabe por condiciones de daño verificando que no exista presencia de corrosión ni daños por rajaduras, las grietas no son permitidas en ningún caso ya sea en el espaciador o en el retenedor, sea el motivo se deberá reemplazar el elemento.

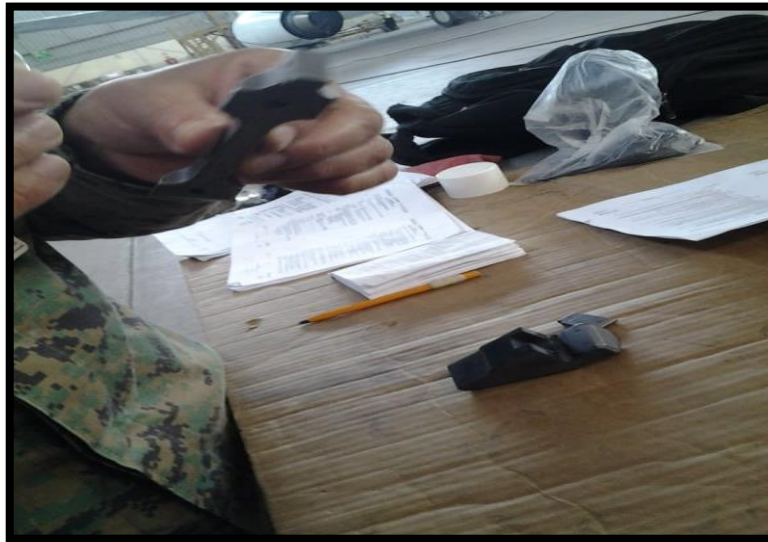
Figura 42*Comprobación del retenedor*

Nota: El retenedor debe ser inspeccionado por corrosión.

- e. Está permitido el desgaste de la superficie de contacto del retenedor del alabe si el espesor mínimo es 0.2352 pulgada.
- f. Los retenedores axiales no tienen límite de desgaste cuando no tengan grietas.
- g. Se inspecciona el espaciador del alabe comprobando que no exista presencia de corrosión ni daños por rajaduras o abolladuras en el mismo.

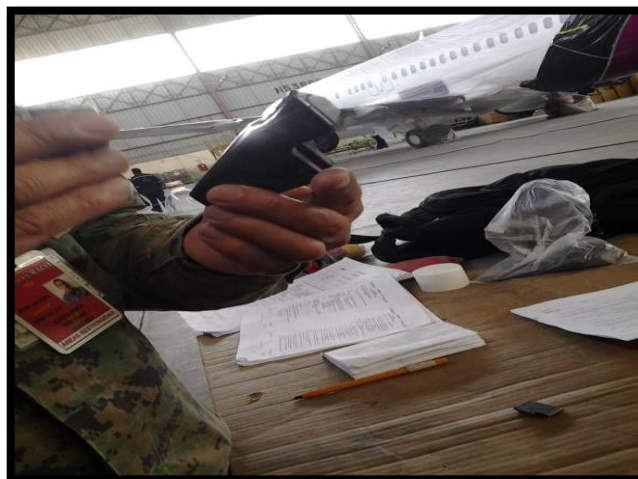
Figura 43

Inspección por corrosión del espaciador



Nota: Visualizar el interior del espaciador.

- h. Se realizó la inspección por condición del damper o amortiguador del alabe, la hoja de metal puede tener desprendimiento siempre y cuando no exceda 0.9 pulgadas de largo y 1.1 pulgadas de ancho, las rajaduras no son permitidas, en este caso su extensión podría ser a 50 ciclos.

Figura 44*Comprobación del damper*

Nota: Inspección del damper por rajaduras o posible corrosión.

- i. El cuerpo del amortiguador podrá tener defecto si la longitud y ancho del damper no es mayor a 0.4 pulgadas, la longitud máxima es menor que 0.2 pulgadas, el número de dampers con algún daño no podrá ser más de 4 unidades como máximo.
- j. En caso de que sea más de un damper el que presenta alguna falla, dichos elementos deberán ser distribuidos alrededor del rotor.
- k. Se procedió a realizar la Inspección del retenedor axial, el mismo que no tenía ninguna clase de rajaduras las mismas que no están permitidas.
- l. Los retenedores axiales no tienen límite de desgaste cuando no tengan grietas.
- m. Se inspecciona el alojamiento del alabe en el disco del fan, en donde posteriormente serán ubicados el retenedor, espaciador y damper que no

presente condiciones de daño por rajaduras, grietas o por algún tipo de corrosión que ocasionarían un desbalance a los alabes del motor.

Figura 45

Inspección alojamiento del alabe



Nota: El alojamiento interior es revisado con una linterna.

Tarea 5. Lubricación de los alabes según la tarea de mantenimiento 70-10-05-602-021-C00.

La lubricación de los alabes se debe ubicar en un lugar que tenga las condiciones de ventilación adecuada ya que los vapores prolongados y el contacto con la piel puede causar graves daños por ser un lubricante volátil, inflamable y tóxico, una vez realizada la limpieza a cada uno de los elementos se debe aplicar Molykote D 321 en un tiempo que no supere los 15 minutos después de realizada la limpieza.

Procedimiento: Mantener la boquilla del lubricante aproximadamente a 8 pulgadas o 20 cm de la superficie y aplicar el lubricante a la cola de milano, el espesor de la capa del lubricante puede estar entre 0.0015 y 0.0030 milímetros.

Figura 46

Lubricación del alabe



Nota: La lubricación debe ser 15 minutos después de la limpieza.

- a. Se procedió a lubricar el espaciador y retenedor del alabe tomando en cuenta la distancia de 20 cm para iniciar la lubricación.

Figura 47*Lubricación conjunto alabe*

Nota: Ubicarse a 20cm de distancia de cada elemento.

- b. Aplicar el lubricante a las cavidades que sirven de alojamiento tanto para el alabe como para cada uno de sus componentes el retenedor, espaciador y damper.

Figura 48*Lubricación alojamiento alabe*

Nota: También se debe lubricar el alojamiento de alabe.

- c. Una vez que se ha lubricado el alabe, se deja secar alrededor de una hora como mínimo antes de realizar la instalación , se puede aplicar una capa más de lubricante Molikote D321 si se considera necesario y repetir el proceso.
- d. Se realizó la prueba de adherencia en los elementos lubricados, lo cual se utilizó masking 250, aplicando una tira pequeña sobre la superficie, se presionó ligeramente y se verifico que el recubrimiento no se desenmascara.

Figura 49

Prueba de adherencia del lubricante



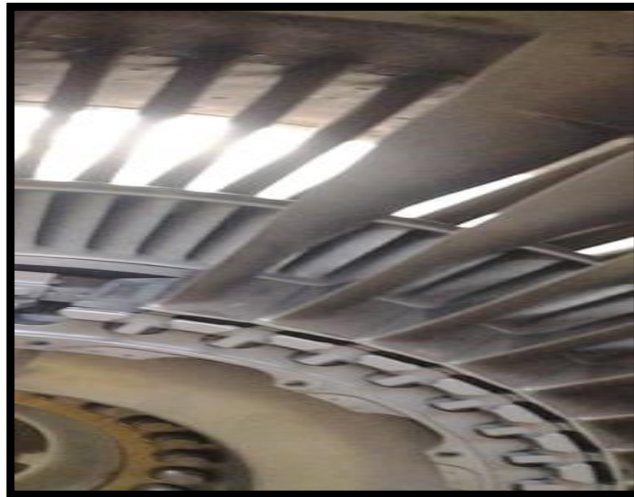
Nota: La prueba de adherencia es verificada con masking 250.

Tarea 6. Instalación de los alabes del motor CFM56-3 de acuerdo a la tarea de mantenimiento 72-31-02-964-001-C00.

- a. Los alabes del motor serán instalados con una secuencia inversa a la remoción en sentido anti horario y se verifica la posición 12 en punto, una vez que los elementos que forman parte del conjunto de alabe del disco del fan se han alineado con cada una de las marcaciones se procede a instalar el damper.
- b. Para instalar cada alabe debió ser lubricado de manera especial, la cola de milano que se ingresa en el alojamiento del disco del fan, de esta manera se asegura la vida útil de los mismos y se proporciona las características para que el disco del fan se mantenga en balance adecuado.

Figura 50

Ubicación del damper



Nota: El damper es el primer elemento instalado en el conjunto.

- c. El alabe es el segundo elemento que se debe instalar con la fuerza de las manos y se verifica que ingrese correctamente ya que previo a la instalación ha sido lubricado.

Figura 51*Instalación del alabe*

Nota: Instalar el alabe en sentido anti horario.

- d. Se instala el retenedor pero no completamente en la ranura perpendicular a la ranura de cola de milano en la parte delantera del disco, ya que se ajusta completamente cuando el espaciador haya sido puesto.
- e. Seguidamente, se ubica el espaciador lubricado debajo del alabe y al mismo tiempo se instala el retenedor, es importante asegurarse que todo los alabes cuenten con el damper ya que podría generarse un desbalance en el disco del fan si un elemento llegara a faltar en la instalación.

Figura 52

Espaciador del conjunto del alabe



Nota: Se puede instalar el alabe con la herramienta especial.

Tarea 7. Instalación del rear spinner según la tarea de mantenimiento 72-31-01-404-012-C00.

- a. Se instalaron 3 pernos guía con distancias iguales entre los mismos, cada perno deberá ser instalado en los agujeros de compensación del disco del fan.
- b. La instalación del reara spinner es contraria a la remoción, es importante recordar que están enumerados los alabes en sentido anti horario lo que permite llevar una ubicación adecuada de cada uno de ellos.

Figura 53*Pernos guía*

Nota: Verificar que los agujeros de compensación sean los correctos.

- c. Los 12 pernos que se desinstalaron fueron lubricados y se utilizó un compuesto a base de grafito según las especificaciones SAE AMS 2518.

Figura 54*Lubricación de los pernos*

Nota: Lubricar cada una de las tuercas a ser instaladas.

- d. Se procede a alinear el rear cone con la brida del disco, cada orificio mecanizado está disponible para colocar los pernos junto con el pasador guía de compensación.

Figura 55

Alineación del rear cone



Nota: El rear cone debe ser alineado a las marcas *realizadas*.

- e. Posteriormente, se ajusta los 12 pernos con una racha 3/8 con extensión de 3 pulgadas y copa 3/4x5/16, y se verifica que cada perno sea correctamente instalado en el disco del fan.

Figura 56

Ajuste pernos rear cone



Nota: Todos los pernos deben ser lubricados previamente.

- f. Finalmente, los pernos del rear cone que están unidos al disco del fan, para su óptimo funcionamiento donde se utiliza una herramienta especial denominada torquimetro, se ajusta cada perno con 115 libras-pulgada a cada uno. Todo el trabajo se realiza bajo la supervisión del inspector de mantenimiento ya que una falla en el proceso podría ocasionar un desbalance completo del disco del fan

Figura 57

Ajuste con torquimetro



Nota: Revisar que el torquimetro tenga 115 lb-inch.

Tarea 8. Instalación del front spinner según la tarea 72-31-01-404-012-C00.

- a. Se procede a instalar el front spinner en el rear spinner, previo la lubricación de los pernos, los mismos que fueron colocados en cada uno de los orificios del rear spinner y ajustados con una racha 3/8 con extensión de 3 pulgadas y copa 3/4 por 5/16.

Figura 58

Instalación front spinner



Nota: El front spinner debe ser instalado con un birbiki.

- b. Finalmente se ajustan cada uno de los pernos con 115 libras- pulgadas.

Figura 59

Torquimetro



Nota: El torquimetro debe estar correctamente calibrado.

3.7 Análisis de costos

Mediante la implementación del soporte se logró brindar al personal técnico que labora en la Organización de Mantenimiento Aprobada DIAF-CEMA un equipo base para ejecutar las tareas referentes al área del fan del motor, que permite establecer un área segura , además ofrece las cualidades necesarias para preservar cada uno de los alabes .

Para cumplir con esta meta se tuvo apoyo del personal técnico durante la elaboración de la estructura y el cumplimiento de la tarea de inspección y lubricación de los alabes de los motores CFM56-3 la aeronave Boeing 737-300/400/500, igualmente el apoyo de la documentación técnica, registros, equipos, herramientas e infraestructura, que fueron imprescindibles para culminar mencionado proyecto de titulación.

3.7.1 Rubros

A continuación se enumera el costo total del proyecto práctico de titulación.

- Material consumible utilizado
- Costos secundarios

3.7.2 Costos primarios

Este apartado comprende el material utilizado para la elaboración del soporte que favorecerá a todo el personal técnico que labora en Organización de Mantenimiento Aprobada DIAF-CEMA.

3.7.3 Materiales consumibles

Posteriormente, se presenta una tabla, la misma que detalla el material que fue utilizado para la elaboración del soporte, materiales fungibles y solventes.

Tabla 8
Costos de materiales fungibles y otros

Descripción	Cantidad	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
Tubo rectangular de 70x40	7	40	280
Tubo rectangular de 40x25	5	20	100
Tubo rectangular de 25x25	2	25	50
Plancha antideslizante de 1/8	1	100	100
Plancha liza de 3mm	1	85	85
Ruedas fijas	4	35	140
Pintura de fondo antioxidante	1 galón	22	22
Pintura de recubrimiento antiabraciva	1 galón	27	27
Diluyente Tiñer	2 galones	6	12
Electrodo 7018x1/8	5 lb	6	30
Disco de corte 7x3/4x1/16	4	5	20
Disco para pulir 7x3/4x1/16	4	3	12
Mano de obra suelda	N/A	N/A	180
Mano de obra corte	N/A	N/A	85
Tiza industrial	10	0.50	5
Fluxómetro	1	3	3
Total			1148

Nota: La presente tabla muestra el costo de los materiales consumibles.

3.8 Costos secundarios

Finalmente, se presenta una tabla en la cual se detallan los costos del desarrollo del proyecto teórico.

Tabla 9

Costos secundarios

N	Detalle	Valor total USD
1	Gastos de movilidad	20
2	Internet	25
3	CD del proyecto	5
TOTAL		50

Nota: La tabla propuesta da a conocer los costos secundarios.

3.9 Costo total

En la siguiente tabla se detalla el costo total empleado para elaborar el presente proyecto de titulación.

Tabla 10

Costo total

N	Detalle	Valor total USD
1	Gastos primaries	1148
2	Gastos secundarios	50
TOTAL		1198

Nota: La presente tabla muestra el costo total del presente trabajo de titulación

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El soporte implementado es apto y adecuado, presenta las características de estabilidad, seguridad y eficacia al momento de efectuar los trabajos de mantenimiento que se ejecutaron a través de dos tareas para realizar la verificación de los alabes del motor que se encuentra operativo en la Organización de Mantenimiento DIAF-CEMA ,así como el respaldo de la información técnica necesaria relacionada con la tarea de inspección y lubricación de los fan blade de los motores CFM56-3 de la aeronave Boeing 737-300/400/500.
- Previas pruebas de funcionamiento del equipo de apoyo, como medición de profundidad, longitud y ancho del canal de ingreso se comprueba así la estabilidad del soporte que cumple con los requerimientos necesarios verificados en la implementación del soporte para realizar la inspección y lubricación de los fan blades del motor CFM56-3 de la aeronave Boeing 737-300/400/500.
- Las pruebas de funcionamiento del soporte implementado, se realizaron sin ninguna dificultad, por ende se verificó el estado funcional a través de la inspección y la lubricación del alabe en el motor CFM56-3 de la aeronave Boeing 737-300/400/500 según la orden de mantenimiento aprobada número 72-031-03-02; 72-031-02-02 ,de modo que el personal técnico que labora en Organización

de Mantenimiento DIAF-CEMA puede emplear el soporte en las tareas de inspección y lubricación que consideren convenientes, también las pruebas ejecutadas y chequeos fueron favorables debido a que se aplicó el solvente específico para así prevenir daños en cada fan blade y desempeñar cada uno de los objetivos estructurados.

Recomendaciones

- Utilizar los manuales de Mantenimiento para realizar cada una de las tareas ya que contienen la información técnica específica a efectuarse, ya que estas necesitan una herramienta especial.
- Mantener la aplicación de proyectos con enfoque a implementar equipos de apoyo que otorguen beneficios hacia el estudio de los diferentes sistemas de la aeronave y cuenten con las normas de seguridad a la vez aporte con el personal técnico de mantenimiento.
- Es preciso seguir los procedimientos correspondientes, fundamentados en la información técnica del AMM y examinar regularmente el equipo de apoyo (soporte) al verificar la condición y estado en el que se encuentra.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Andrés Rodríguez Rodríguez. (2016). *ANÁLISIS CFD DE UN ÁLABE DEL ÚLTIMO PASO DE UNA TURBINA DE VAPOR*. Universidad Politécnica de Madrid.

Cambio de álabes de CFM56. (2016, diciembre 27). *AviaciónD*. <http://aviaciond.com/cambio-de-alabes-cfm56/>

Diego Alex Gomez Perez. (2015). *P-1464-Gomez Perez, Diego Alex.pdf*. Universidad Mayor de San Andres. Recuperado 22 de Julio de 2020

Evolution of Jet Engines | D. J. Airways. (s. f.). Recuperado 7 de agosto de 2020, de <https://www.dj-airways.com/evolution-of-jet-engines/>

Fromm, J. (s. f.). *Composite Fan Blades and Enclosures for Modern Commercial Turbo Fan Engines*. 13.

Honeywell TFE731 Fan Blade Dry Lube Application | Duncan Aviation. (s. f.). Recuperado 7 de agosto de 2020, de <https://www.duncanaviation.aero/intelligence/2019/January/honeywell-tfe731-fan-blade-dry-lube-application>

I+D+I en reparación de álabes de compresor | Me gusta volar. (s. f.). Recuperado 7 de agosto de 2020, de <https://megustavolar.iberia.com/2010/09/idi-en-reparacion-de-alabes-de-compresor/>

Jose Lopez. (2012). *ESTUDIO DE UN TURBOFAN -MEMORIA-* [Universitat Politecnica de Catalunya]. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:KxWh0er58KIJ:https://upcommons.upc.edu/bitstream/2099.1/17686/1/PFC%2BJose%2BLopez%2BMemoria.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

La pérdida de compresor, también llamada Stall o Surge (Parte I). (s. f.). *La pérdida de compresor, también llamada Stall o Surge (Parte I)*. Recuperado 7 de agosto de 2020, de <https://greatbustardsflight.blogspot.com/2016/02/la-perdida-de-compresor-tambien-llamada.html>

Laser peening extends the lifetime of Rolls-Royce fan blades—Department of Materials—The University of Manchester. (s. f.). Recuperado 7 de agosto de 2020, de <https://www.materials.manchester.ac.uk/research/impact/laser-peening/>

Los difusores de entrada I. (s. f.). *Los difusores de entrada I*. Recuperado 25 de agosto de 2020, de <https://greatbustardsflight.blogspot.com/2016/02/los-difusores-de-entrada-i.html>

Mantenimiento Aeronáutico ¿Qué es? Tipos, Cursos de Formación ◁. (s. f.). *ITAérea Aeronautical Business School*. Recuperado 7 de agosto de 2020, de <https://www.itaerea.es/mantenimiento-aeronautico>

Mantenimiento de Aviones. (2011, abril 21). *Vuela sin Miedo*.
<https://vuelasinmiedo.es/aviacion/mantenimiento-de-aviones/>

Motores aeronáuticos (parte 11)- Turbofán. (2013, mayo 19). Taringa!
https://www.taringa.net/+aerospacio/motores-aeronauticos-parte-11-turbofan_13005k.
 Recuperado 02 de Agosto de 2020

Motores aeronáuticos (parte 11)- Turbofán—Aerospacio en Taringa! (s. f.). Recuperado 4 de agosto de 2020, de https://www.taringa.net/+aerospacio/motores-aeronauticos-parte-11-turbofan_13005k

PALMER, D. F. (2014). *Fan blade lubrication* (World Intellectual Property Organization Patent N.º WO2014143286A1). <https://patents.google.com/patent/WO2014143286A1/en>

Principios basicos de funcionamiento del motor a reaccion. (s. f.). *Modulo 14., Propulsion*.
https://www.seguridaaerea.gob.es/media/4498172/modulo14_cap01_a.pdf

Sistemas de lubricación y refrigeración. (s. f.). Recuperado 25 de agosto de 2020, de https://www.manualvuelo.es/3sifn/38_lubri.html

Teoría elemental de las turbomáquinas. Triángulo de velocidades y ecuación de Euler. (2014, septiembre 8). *Ingelibre*. <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/09/08/teoria-elemental-de-las-turbomaquinas-triangulo-de-velocidades-y-ecuacion-de-euler/>

THE CFM56 TURBOFAN ENGINE. (s. f.). Recuperado 1 de agosto de 2020, de <http://www.ingenierosespecialistas.com/2015/11/corte-de-la-turbina-cfm-56.html>

The Different Types of Aircraft Maintenance Inspections—Aircraft Compare. (s. f.). Recuperado 7 de agosto de 2020, de <https://www.aircraftcompare.com/blog/types-of-aircraft-inspections/>

Vista de Análisis del déficit de flujo en un ventilador de tiro forzado: Propuestas de modificación geométrica al diseño original | Acta Universitaria. (s. f.). Recuperado 25 de agosto de 2020, de http://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/view/991/html_111

ANEXOS