



INFORME FINAL

ACCIDENTE

COL-22-02-DIACC

Aterrizaje de emergencia después de falla de motor

Air Tractor 301

Matrícula HK-4615

8 de enero de 2022

Carepa, Antioquia - Colombia

ADVERTENCIA

El presente Informe Final refleja los resultados de la investigación técnica adelantada por la Autoridad AIG de Colombia – Dirección Técnica de Investigación de Accidentes, DIACC, en relación con el evento que se investiga, a fin de determinar las causas probables y los factores contribuyentes que lo produjeron. Así mismo, formula recomendaciones de seguridad operacional con el fin de prevenir la repetición de eventos similares y mejorar, en general, la seguridad operacional.

De conformidad con lo establecido en la Parte 114 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia, RAC 114, y en el Anexo 13 al Convenio de Aviación Civil Internacional, OACI, *“El único objetivo de las investigaciones de accidentes o incidentes será la prevención de futuros accidentes o incidentes. El propósito de esta actividad no es determinar culpa o responsabilidad”*.

Por lo tanto, ningún contenido de este Informe Final, y en particular las conclusiones, las causas probables, los factores contribuyentes y las recomendaciones de seguridad operacional tienen el propósito de señalar culpa o responsabilidad.

Consecuentemente, el uso que se haga de este Informe Final para cualquier propósito distinto al de la prevención de futuros accidentes e incidentes aéreos, y especialmente para fines legales o jurídicos, es contrario a los propósitos de la seguridad operacional y puede constituir un riesgo para la seguridad de las operaciones.

CONTENIDO

SIGLAS	5
SINOPSIS	6
RESUMEN	6
1. INFORMACIÓN FACTUAL	8
1.1 Reseña del vuelo	8
1.2 Lesiones personales	12
1.3 Daños sufridos por la aeronave	12
1.3.1 Motor y Hélice	12
1.3.2 Fuselaje	12
1.4 Otros daños	15
1.5 Información personal.....	15
1.6 Información sobre la aeronave y el mantenimiento.....	16
1.6.1 Aeronave	16
1.6.2 Motor.....	17
1.6.3 Hélice.....	17
1.7 Información Meteorológica.....	18
1.8 Ayudas para la Navegación	18
1.9 Comunicaciones y Tránsito Aéreo	18
1.10 Información del Aeródromo.....	18
1.11 Registadores de Vuelo.....	18
1.12 Información sobre los restos de la aeronave y el impacto	18
1.13 Información médica y patológica.....	19
1.14 Incendio	19
No se presentó incendio, antes ni después del accidente.....	19
1.15 Aspectos de supervivencia	19
1.16 Ensayos e investigaciones.....	19
1.16.1 Prueba de excentricidad del cigüeñal	20
1.16.2 Inspección de componentes internos.....	20
1.16.3 Análisis de falla biela maestra y componente internos del motor.....	22
1.16.4 Árbol de hipótesis para análisis de falla.....	22
1.16.5 Evidencia suministrada de componentes para el análisis.....	24

1.16.6	Inspección Visual, desensamble e identificación de partes	24
1.16.7	Daños encontrados en la biela maestra.....	24
1.16.8	Zonas de fracturas biela maestra.....	25
1.16.9	Propagación de grietas sobre la biela maestra.....	27
1.16.10	Marcas evidenciada del cilindro principal	27
1.16.11	Daños sobre la biela de la posición No.4	28
1.16.12	Daños evidenciados sobre el pistón No.5	28
1.16.13	Daños evidenciados sobre el pistón No. 7	29
1.16.14	Análisis fractográfico de biela maestra, pistón, otros accesorios ..	30
1.16.15	Análisis metalográfico de la zona de referencia biela maestra.....	31
1.16.16	Mapeo atómico del material de biela maestra	33
1.16.17	Mapeo atómico distribución elementos aleación biela maestra....	33
1.16.18	Ensayos de dureza en la superficie de la biela maestra y pistón .	34
1.16.19	Composición química de la biela maestra	35
1.17	Información orgánica y de dirección.....	36
1.18	Información adicional	36
1.18.1	Funcionamiento de un motor radial.....	36
1.18.2	Grados de libertad de la biela maestra	38
1.18.3	Cálculos de longitud punto muerto superior e inferior pistones	39
1.18.4	Ventajas de los motores radiales	41
1.19	Técnicas útiles o eficaces de investigación.....	41
2.	ANÁLISIS	42
2.1	Operaciones de vuelo	42
2.2	Análisis de falla fractura biela maestra.....	42
3.	CONCLUSIÓN.....	46
3.1	Conclusiones	46
3.2	Causa probable.....	47
3.3	Factores Contribuyentes	47
3.4	Taxonomía OACI	47
4.	RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD OPERACIONAL.....	48

SIGLAS

CRM	Gestión de Recursos de Cabina
HL	Hora Local
MGO	Manual General de Operaciones
MSL	Nivel medio del mar
NTSB	National Transportation Safety Board – Autoridad AIG de EEUU
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
PCA	Piloto Comercial de Avión
POH	Manual de Operaciones del Piloto
RPM	Revoluciones por minuto
SAE	Sociedad de ingenieros automotrices

SINOPSIS

Aeronave:	Air Tractor AT301
Fecha y hora del Accidente:	08 de enero de 2022, 09:27 HL
Lugar del Accidente:	Finca Carmen Vargas (Carepa, Antioquia)
Coordenadas:	N 07°47'34" – W 076°40'80"
Tipo de Operación:	Trabajos Aéreos Especiales - Aviación Agrícola
Número de ocupantes:	01 Piloto
Taxonomía OACI:	SCF-PP Falla o mal funcionamiento de sistema o componente-planta motriz.

RESUMEN

El 8 de enero de 2022, la aeronave tipo AT301 de Trabajos Aéreos Especiales de Fumigación, con matrícula HK-4615, despegó de la pista Los Almendros (SQOA), para efectuar un vuelo de aspersión desde la a la plantación de banano Finca Carmen Vargas, lote Lejanía, ubicada a 2.5 NM al WSW del aeródromo Antonio Roldan Betancourt.



Gráfica No. 1: Ubicación geográfica de la pista Los Almendros y ruta propuesta para el sexto vuelo.

Aproximadamente un minuto después del despegue, en viraje, el Piloto sintió una fuerte vibración en la aeronave, con humo blanco proveniente del motor; simultáneamente el motor perdió potencia, y la aeronave perdió velocidad y altura.

El Piloto seleccionó un campo que consideró apropiado para efectuar un aterrizaje de emergencia, en un sembrado de banano; al no poder sobrepasar un tendido eléctrico de media tensión que se encontraba al frente, decidió pasar por debajo de las cuerdas, que estaban extendidas a 14 metros de altura.

En ese momento el motor de la aeronave se apagó. El Piloto mantuvo el control del avión y velocidad segura, hasta que aterrizó en el campo de banano. Durante la desaceleración la aeronave golpeó varios obstáculos hasta que se detuvo, con daños sustanciales.

El Piloto abandonó la aeronave por sus propios medios por la parte derecha de la cabina, con lesiones menores.

La investigación determinó que el accidente se tuvo las siguientes causas:

Causa probable

Falla del motor originada por la fractura de la biela maestra, que ocasionó pérdida de potencia, impidiendo que la aeronave continuara en vuelo, obligando al Piloto a un aterrizaje forzoso en un campo no preparado.

Factores Contribuyentes

Envejecimiento del material base con el que se construye la biela maestra del motor radial Pratt and Whitney como consecuencia de una operación periódica en diferentes ambientes atmosféricos, que contribuyeron al desgaste físico e intergranular del material.

Envejecimiento prematuro de los componentes, teniendo en cuenta el tiempo de operación del motor, el cual produjo fatiga del material, debido a una concentración de esfuerzos combinados no usuales afectando la naturaleza funcional de la biela.

Posible operación incorrecta del motor por parte de las tripulaciones, al no cumplir con los tiempos de enfriamiento o estabilización térmica del motor, después de la prendida y antes de la apagada, y, probablemente, operar el motor con límites superiores a los establecidos o permanentemente en los límites superiores.

Carencia en el Manual de Mantenimiento del explotador, de un procedimiento que limite la vida útil de componentes internos del motor, tales como las bielas, teniendo en cuenta el tipo de operación y las restricciones que establece el manual del fabricante.

Carencia en el explotador, de los procedimientos de inspección y de documentación técnica, ya que no se conoce el tiempo real de vida útil para las bielas maestras de los motores radiales.

La investigación emitió seis (6) Recomendaciones de seguridad operacional.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

1. INFORMACIÓN FACTUAL

1.1 Reseña del vuelo

El 8 de enero de 2022, la aeronave tipo AT301 de Trabajos Aéreos Especiales de Fumigación, con matrícula HK4615, fue programada para efectuar un vuelo de aspersión desde la pista Los Almendros (SQOA), a la plantación de banano Finca Lejanía, ubicada a 2.5 NM al WSW del aeródromo Antonio Roldan Betancourt; la aeronave realizaba la sexta salida del día, y la primera aspersión sobre la finca indicada. Las condiciones meteorológicas del sector eran totalmente visuales.

Para su sexta salida de la pista Los Almendros, la aeronave fue aprovisionada con 70 galones de combustible y 300 galones de producto químico Sico-Dithane.

La aeronave despegó de Los Almendros por la pista 20, a las 09:24 HL, con parámetros de operación normal y realizó un viraje hacia la derecha con *full* potencia, 36" de *manifold*, 2250 RPM, presión de aceite 90 psi y presión de combustible 5 psi.

Cuando efectuaba el viraje a la derecha, y aproximadamente un minuto después del despegue, el Piloto sintió una fuerte vibración en la aeronave, con humo blanco que salía del motor; simultáneamente el motor perdió potencia, y la aeronave perdió velocidad y altura. Como parte del procedimiento de emergencia, el Piloto evacuó de inmediato el producto químico a bordo.



Gráfica No. 2: Trayectoria de la aeronave para el sexto vuelo.

El Piloto estima que la aeronave nunca superó los 300 pies de altura; el motor perdió sustancialmente la potencia, situación acompañada de fuerte ruido y vibración.

Una vez fue evacuado el producto químico, el Piloto controló la aeronave y se preparó para efectuar un aterrizaje de emergencia; al notar que, con el rumbo que llevaba, iba directamente hacia una construcción (empacadora de banano), el Piloto corrigió su rumbo

hacia la derecha. El Piloto seleccionó un campo que consideraba apropiado para efectuar un aterrizaje de emergencia, en un sembrado de banano; al no poder sobrepasar un tendido eléctrico de media tensión que se encontraba al frente, decidió pasar por debajo de las cuerdas, que estaban extendidas a 14 metros de altura.



Fotografía No. 1: Simulación del cruce de la aeronave por debajo del tendido eléctrico.

Para ese momento el motor de la aeronave se apagó. El Piloto mantuvo el control del avión y velocidad segura. No obstante, en final corta, ya sobre el campo, el avión golpeó el terreno con la punta del plano derecho, lo cual causó un viraje brusco hacia la derecha, y la nariz del avión golpeó contra un cable de acero de media pulgada (templete) que es utilizado para colgar los “vagones” de sustracción del plátano del cultivo.

Este impacto contra el cable ocasionó que la sección del motor se desprendiera del fuselaje.

Desacelerado por los impactos y por la irregularidad del terreno, la aeronave finalmente se detuvo, terminando con daños sustanciales. No se presentó fuego ni antes ni después del accidente.

El Piloto abandonó la aeronave por sus propios medios por la parte derecha de la cabina, con lesiones menores.

El lugar del accidente se situó en las coordenadas N 07°01'49" W 073°48'53", con un rumbo final del fuselaje de 100°, y a una elevación de 300 ft.

La Autoridad de Investigación de Accidentes de Colombia (Dirección Técnica de Investigación de Accidentes – DIACC) fue notificada del accidente por e la Oficina de Seguridad Operacional de la empresa, y se dispuso el desplazamiento a la escena de un investigador, quien llegó al sitio un día después del evento.

Siguiendo los protocolos del Anexo 13 de OACI y del RAC 114, el evento fue notificado a la National Transportation Safety Board (NTSB), de los Estados Unidos, como Estado de Diseño y Fabricación de Air Tractor 301 y a la Oficina ARCM de la OACI.



Fotografía No. 2: Rumbo y trayectoria de la aeronave HK-4615.



Fotografía No. 3: Posición final de la aeronave.



Gráfica No. 3: Trayectoria de la aeronave.

1.2 Lesiones personales

Lesiones	Tripulación	Pasajeros	Total	Otros
Mortales	-	-	-	-
Graves	-	-	-	-
Leves	1	-	1	-
Ilesos	-	-	-	-
TOTAL	1	-	1	-

Tabla No. 1: Lesiones personales

1.3 Daños sufridos por la aeronave

De acuerdo con la entrevista realizada al tripulante, después de que el motor se apagara, la aeronave perdió velocidad y altura, acercándose a la copa de los árboles en la trayectoria hacia el campo seleccionado por el Piloto para aterrizar de emergencia.

Durante la inspección de campo se determinó el sitio en donde la aeronave tuvo el primer impacto (con la punta del plano derecho) contra el terreno (mata de plátano).

A partir de ese punto se logró identificar la dinámica de impacto de la aeronave durante el intento del aterrizaje de emergencia.

La aeronave realizó un giro brusco hacia la derecha e impactó con un cable de acero de un diámetro aproximado de 1/2", el cual causó un cizallamiento en la bancada del motor desde la pared de fuego.

La mayor concentración de esfuerzos resultantes por la desaceleración, se ubicaron en la parte delantera del fuselaje con múltiples fracturas en largueros, formadores, con deformación plástica crítica en la piel y sobre los costados izquierdo y derecho.

1.3.1 Motor y Hélice

El motor se dependió del soporte estructural de la aeronave, en conjunto con el tanque del producto químico, quedando ubicado a 5 metros de la aeronave, enterrado de frente sobre la superficie del cultivo de plátano.

1.3.2 Fuselaje

Como consecuencia del golpe contra el cable, y posteriores impactos contra el terreno, la aeronave sufrió daños en toda su estructura. Las mayores concentraciones de esfuerzos producidos por la desaceleración se situaron sobre la parte delantera del fuselaje con múltiples fracturas en largueros, formadores, y deformación plástica crítica en la piel, en los costados izquierdo y derecho.

La hélice permaneció sujeta al motor. Las puntas de las palas de la hélice no presentaron deformación, condición que indicaba que, probablemente, el motor no estaba produciendo potencia al momento de golpear el cable y las plantas de plátano.

Sin embargo, se evidenció que una de las palas tenía una deformación en forma de “doblamiento”, típica de un golpe con el terreno, ya que el doblamiento se produce de la mitad de la pala hacia la punta.



Fotografía No. 4: Cable “Templete”



Fotografía No. 5: Cizallamiento de la pared de fuego.



Fotografía No. 6: Desprendimiento del motor.



Fotografía No. 7: Daños en la hélice.



Fotografía No. 8: Daños en el fuselaje frontal.

1.4 Otros daños

Se causaron daños en el cultivo de plátano en un diámetro de 18 metros aproximadamente, ocasionados por los múltiples golpes de la aeronave con el sembrado, y, además, por los derrames de fluido hidráulico, aceite de motor y combustible.

1.5 Información personal

Piloto

Edad:	49 años
Licencia:	PCA (Piloto comercial de Avión)
Certificado médico:	Vencimiento 19 mayo de 2022, vigente
Equipos volados como piloto:	Air Tractor, Cessna 188, Dromedario, Piper.
Último chequeo en el equipo:	15 abril de 2021
Total horas de vuelo:	7.567 horas registradas
Total horas en el equipo:	1.100 horas
Horas de vuelo últimos 90 días:	120 horas
Horas de vuelo últimos 30 días:	43:43 horas
Horas de vuelo últimos 03 días:	5:07 horas
Horas de vuelo últimas 24 horas:	00

De acuerdo con la inspección a los documentos de entrenamiento básico, recurrente, proeficiencia y certificado médico, el Piloto cumplía con los requisitos exigidos por el Reglamento Aeronáutico para mantener las habilitaciones de su licencia de vuelo.

El último repaso en tierra en el equipo Air Tractor 301, lo había realizado en el 30 de enero de 2021, con una duración de 10 horas.

El Piloto realizó el curso de CRM en el mes de junio del 2021, con una intensidad en horas de 4 horas. Y curso de repaso de mercancías peligrosas, el 03 junio de 2021, con una intensidad de 20 horas.

Adicionalmente, había efectuado un curso de manejo eficiente y seguro de insumos plaguicidas químicos en aviación general, en el mes de febrero de 2021, con una duración de 4 horas.

El Piloto, contaba con un contrato individual de trabajo con el Explotador, a término indefinido, firmado el 20 de febrero de 2021.

1.6 Información sobre la aeronave y el mantenimiento

1.6.1 Aeronave

Marca:	Air Tractor
Modelo:	AT-301
Serie:	301-0120
Año de fabricación:	1969
Matrícula:	HK-4615
Certificado aeronavegabilidad:	0004314
Certificado de matrícula:	R001619
Fecha de fabricación:	1969
Fecha último servicio:	Octubre de 2021, servicio de 100 horas.
Total horas de vuelo:	11483:42
Total ciclos de vuelo:	Desconocidos

Los ciclos de la aeronave son desconocidos, ya por el tipo de operación y registros de mantenimiento, el control de vida de la aeronave se hace utilizando las horas voladas.

De acuerdo con la inspección que se realizó a los documentos de mantenimiento, se encontró que, el 14 de octubre de 2021, se le realizó a la aeronave un servicio de 100 horas, ejecutado por el equipo de mantenimiento de la empresa, organización aprobada por autoridad de aviación de Colombia.

Se encontró que el grupo de mantenimiento que realizó el servicio contaba con el entrenamiento básico, recurrente y adoctrinamiento en el equipo, y con sus licencias vigentes, cumpliendo con las atribuciones de estas para el momento del accidente.

Dentro de las acciones de mantenimiento realizadas a la aeronave, se identificó el cumplimiento una serie de servicios programados descritos de la siguiente manera:

- El 25 de noviembre de 2020, se le realizó un servicio de 25 horas, de acuerdo con el manual del fabricante y el programa de mantenimiento aprobado para la empresa.
- El 24 de octubre de 2021, se le realizó un servicio de 100 horas; adicionalmente, se le realizó el cumplimiento de la Directiva de Aeronavegabilidad AD 99-11-02, y del Boletines de Servicio 1787; así mismo, se realizó una inspección visual por control de corrosión y lubricación general.
- El 24 de junio de 2021, se le efectuó un servicio de 25 horas, de acuerdo con el manual de fabricante de la aeronave; adicionalmente, se le efectuó inspección a los radios y a la antena.
- El 29 de marzo de 2021 se le realizó un servicio anual para el control de corrosión, y lubricación general.

1.6.2 Motor

Marca:	Pratt and Whitney
Modelo:	R1340 AN1
Serie:	P326734
Total horas de vuelo:	11.452:44 horas
Total ciclos de vuelo:	Desconocidos
Total horas D.U.R.G:	876:56 horas
Fecha último servicio:	Febrero de 2021

De acuerdo con la inspección que se realizó a los documentos de mantenimiento, se encontró que el 01 de junio de 2021, se realizó el cumplimiento de la orden de ingeniería 113, "Inspección a correas del anillo velocidad del motor".

El 10 de noviembre de 2020 se realizó la remoción del motor con todos sus accesorios, para efectuar su revisión general.

El 24 de octubre de 2021 se realizó instalación del motor con sus accesorios; se encontró que se había efectuado el reemplazo de carburador con S/N 5636696, por incorrecto funcionamiento, instalándose un nuevo carburador, con S/N 57171445; y las pruebas realizadas a este dispositivo, de acuerdo con el manual de mantenimiento del motor, fueron satisfactorias.

1.6.3 Hélice

Marca:	Hamilton Standard
Modelo:	22D45
Serie:	E8376
Total horas de vuelo:	2000 horas

Total ciclos de vuelo:	Desconocidos
Total horas DURG:	835:50 horas
Fecha último servicio:	Febrero de 2021

1.7 Información Meteorológica

Las condiciones meteorológicas eran visuales, y no fueron un factor que contribuyente para el accidente.

1.8 Ayudas para la Navegación

No aplica.

1.9 Comunicaciones y Tránsito Aéreo

Las comunicaciones por parte del Piloto las realizó de acuerdo con el protocolo establecido dentro del manual de operaciones de la empresa, utilizando la frecuencia interna de la compañía, a la que reportó la emergencia que se presentó durante el vuelo.

1.10 Información del Aeródromo

La aeronave despegó de la pista Los Almendros, operada por el mismo explotador aéreo. Este factor no tuvo injerencia en el accidente.

1.11 Registradores de Vuelo

De acuerdo con la configuración del fabricante y la normatividad vigente, la aeronave Air Tractor no requería de dispositivos de registro.

1.12 Información sobre los restos de la aeronave y el impacto

El Piloto estima que la aeronave nunca superó los 300 pies de altura. Durante su aproximación al campo seleccionado para aterrizar, notó que se dirigía directamente hacia una empacadora de banano, por lo cual corrigió su rumbo hacia la derecha.

Posteriormente, el Piloto debió salvar un tendido eléctrico, de aproximadamente 14 metros de altura, pasándolas por debajo.

En final corta, ya sobre el campo seleccionado, la punta del plano derecho del avión golpeó con una mata de plátano, lo cual causó un viraje brusco hacia la derecha. La nariz del avión golpeó entonces contra un cable de acero de media pulgada (templete) que es utilizado para colgar los “vagones” de sustracción del plátano del cultivo.

Este cable causó un cizallamiento en la bancada del motor desde la pared de fuego. Afectando sustancialmente la estructura frontal de la aeronave la aeronave continuó volando, e impactando contra las plantas de plátano, que afectaron los planos y el fuselaje.

El contacto inicial de la aeronave, con el obstáculo, al igual que los posteriores con la superficie y demás obstáculos durante la desaceleración, ocurrieron con relativa baja velocidad y bajo ángulo de descenso. Durante la desaceleración y movimientos laterales,

el fuselaje superior delantero sufrió una deformación sustancial, comprometiendo estructuralmente los formadores, los larguerillos, y las vigas principales.

Los golpes recibidos fueron absorbidos por la zona del motor y por su montante; el motor se desprendió, quedando a unos 5 metros. La hélice quedó haciendo parte integral del motor.

Los golpes contra las matas de plátano causaron el desprendimiento del plano izquierdo.

Luego de haberse terminado la inspección de campo, la aeronave, la hélice y el motor fueron removidos del cultivo de plátano, siendo ubicados en los hangares de la empresa sobre una zona segura, quedando en custodia de la Autoridad AIG.



Fotografía No. 9: Posición final de la aeronave HK4953.

1.13 Información médica y patológica

El Piloto, abandonó la aeronave por sus propios, con lesiones leves.

No se determinaron aspectos médico-patológicos en el Piloto que pudieran relacionarse con la causa del accidente.

1.14 Incendio

No se presentó incendio, antes ni después del accidente.

1.15 Aspectos de supervivencia

El accidente ocurrió en las plantaciones de un cultivo de plátano; una vez que la aeronave se detuvo, el Piloto salió por sus propios medios, con lesiones leves; una vez afuera de la aeronave, fue atendido por moradores de la zona.

La empresa inmediatamente reaccionó y dispuso de un grupo de personas, para ubicar la aeronave y asistir a el Piloto, quien fue llevado a un centro de salud cercano para realizarle una valoración física y las pruebas toxicológicas.

1.16 Ensayos e investigaciones

La investigación determinó que, para determinar el tipo y origen de la falla, era necesario realizar inspecciones al motor y a sus accesorios en un taller autorizado y aprobado por la

Aeronáutica Civil de Colombia, las cuales se cumplieron en la forma tal como se describe a continuación.

1.16.1 Prueba de excentricidad del cigüeñal

La inspección al motor se inició con una prueba de excentricidad al cigüeñal utilizando los parámetros dados por el fabricante. Una vez comparada la lectura dada por el equipo de medición con el manual de mantenimiento del motor se encontró que el cigüeñal estaba fuera de parámetros.

Se continuó la inspección del motor por libre movimiento, sin embargo, el motor mostró total atascamiento impidiendo el libre movimiento.

1.16.2 Inspección de componentes internos

Se continuó la inspección del motor removiendo el cilindro No. 7, el cual se encontró roto, evidenciando, inicialmente, una fractura dúctil en la carcasa del cilindro ubicado en esta posición.

Después de haber removido e inspeccionado todos los componentes internos y externos del motor, se descartaron otras posibles fallas en los componentes que pudieran haber afectado la operación del motor.

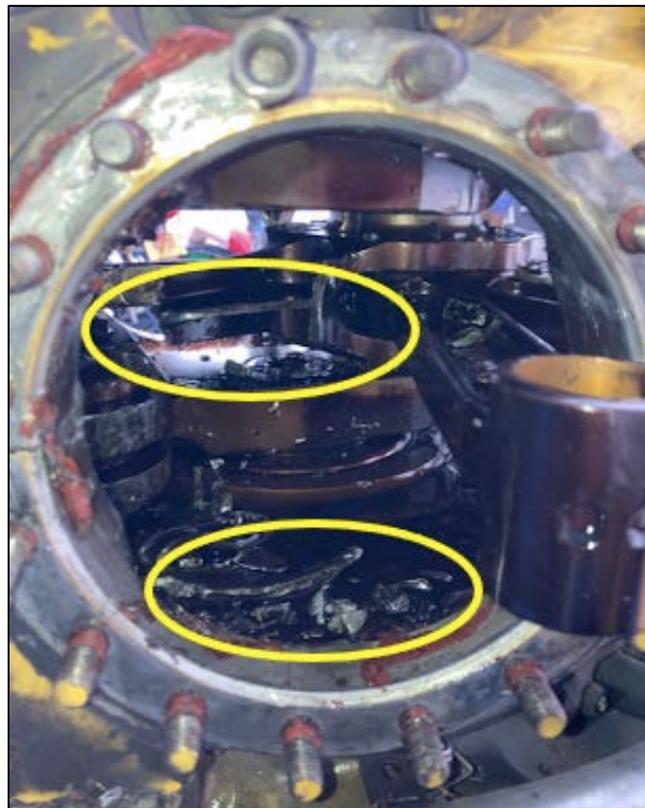
Sin embargo, se encontró que todos los accesorios internos del motor -biela maestra, bielas secundarias, cojinetes- estaban totalmente destruidos, debido a una fractura súbita de la biela maestra. Por lo tanto, se hizo necesario efectuar un análisis más detallado, utilizando el método de análisis de falla.



Fotografía No. 10: Prueba de excentricidad al cigüeñal.



Fotografía No. 11: Fractura inicial del cilindro No. 7.



Fotografía No. 12: Fracturas componentes internos del motor.

1.16.3 Análisis de falla biela maestra y componente internos del motor

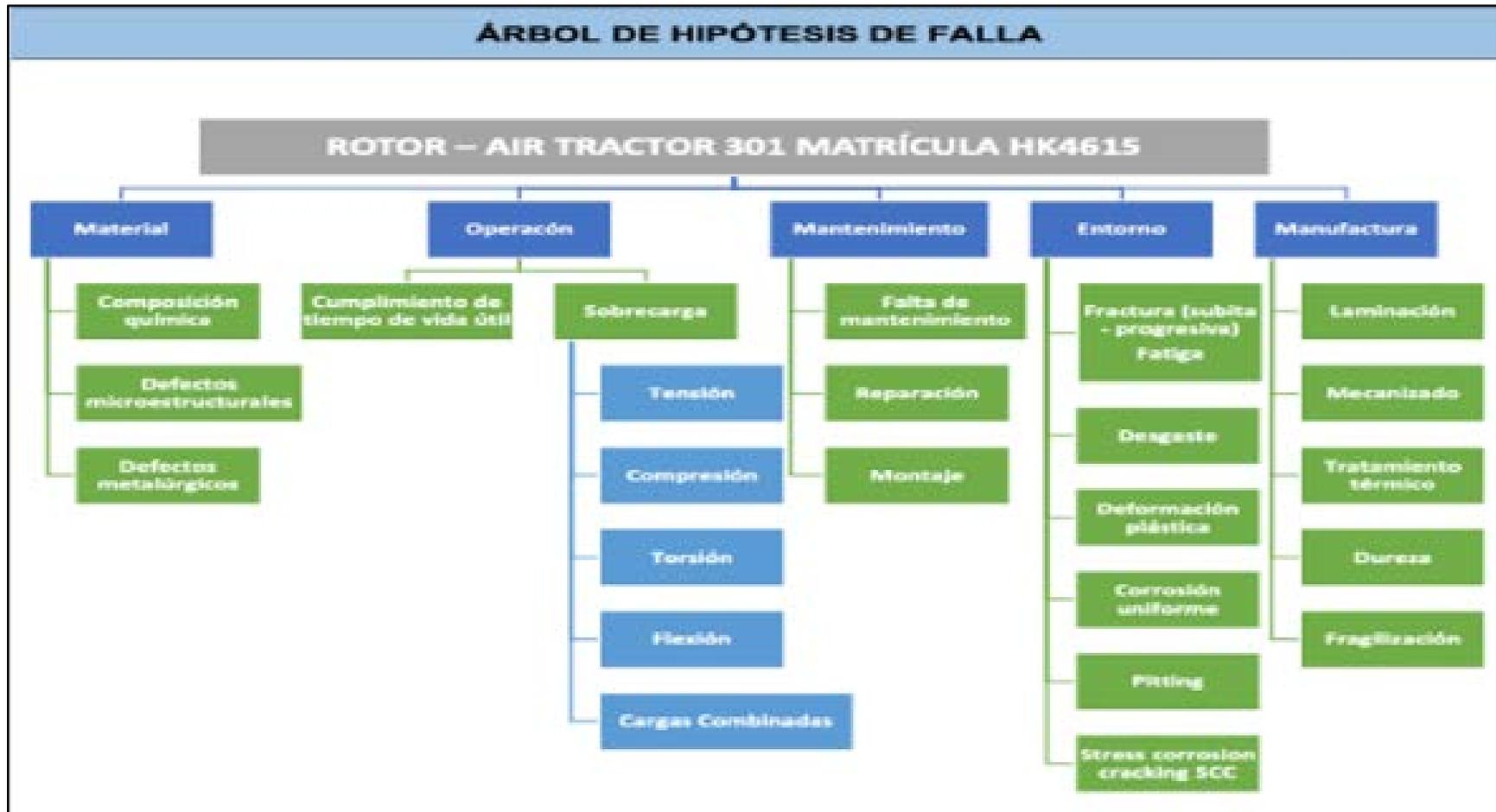


Fotografía No. 13: Componentes internos del motor.

1.16.4 Árbol de hipótesis para análisis de falla

Para realizar el análisis de falla al material para la biela maestra se tuvieron en cuenta varios factores:

- Composición química del material.
- Defectos microestructurales del material.
- Defectos metalúrgicos del material.
- Sobre carga en los esfuerzos de tensión, compresión, torsión, flexión y cargas combinadas.
- Mantenimiento inadecuado, reparación del motor, inadecuados procedimientos de remoción e instalación de componentes.
- Tipos de fractura del material por desgastes prematuros, deformaciones plásticas, posible corrosión del material base, fracturas generadas por los diferentes tipos de corrosión.
- Métodos de fabricación de la biela donde se tuvo en cuenta: laminación, mecanizado, Tratamientos térmicos, dureza y fragilidad.



Gráfica No. 4: Árbol de hipótesis.

1.16.5 Evidencia suministrada de componentes para el análisis

Motor radial Pratt & Whitney R-1340, de nueve cilindros. Se realizó un esquema de la evidencia suministrada y su ubicación en el motor. Los componentes de las posiciones 2, 3, 6, 8 y 9 no fueron suministrados, teniendo en cuenta que los componentes faltantes presentaron una destrucción total.

1.16.6 Inspección Visual, desensamble e identificación de partes

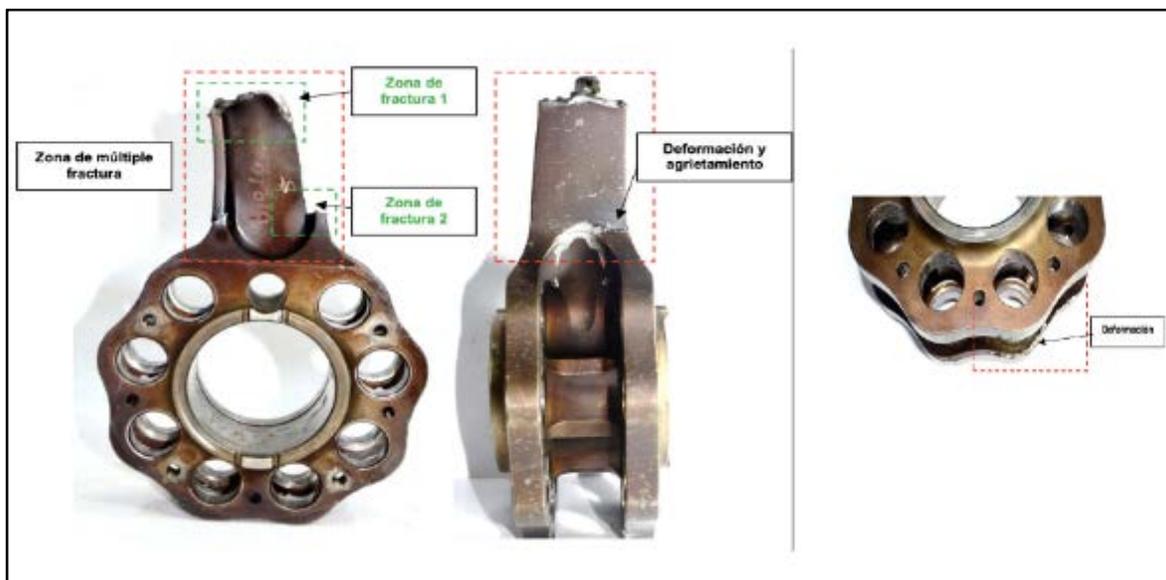
Identificación de los componentes suministrados y su ubicación dentro del rotor.



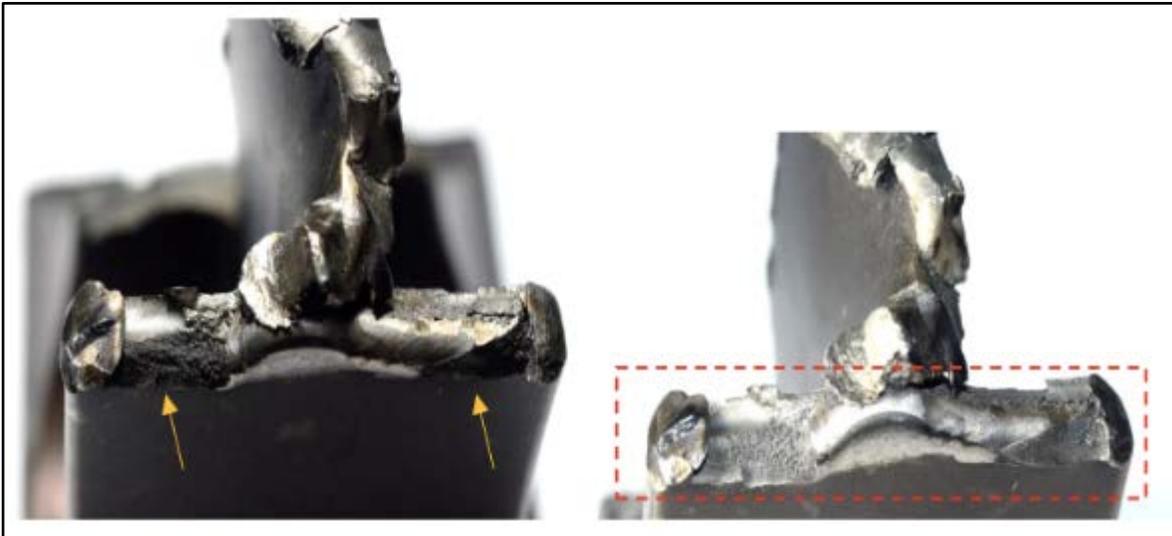
Fotografía No. 14: Posición de las partes dentro del motor.

1.16.7 Daños encontrados en la biela maestra

La biela principal presentó múltiples defectos consistentes en su fractura total, deformaciones plásticas y agrietamiento.



Fotografía No. 15: Daños de la biela maestra.

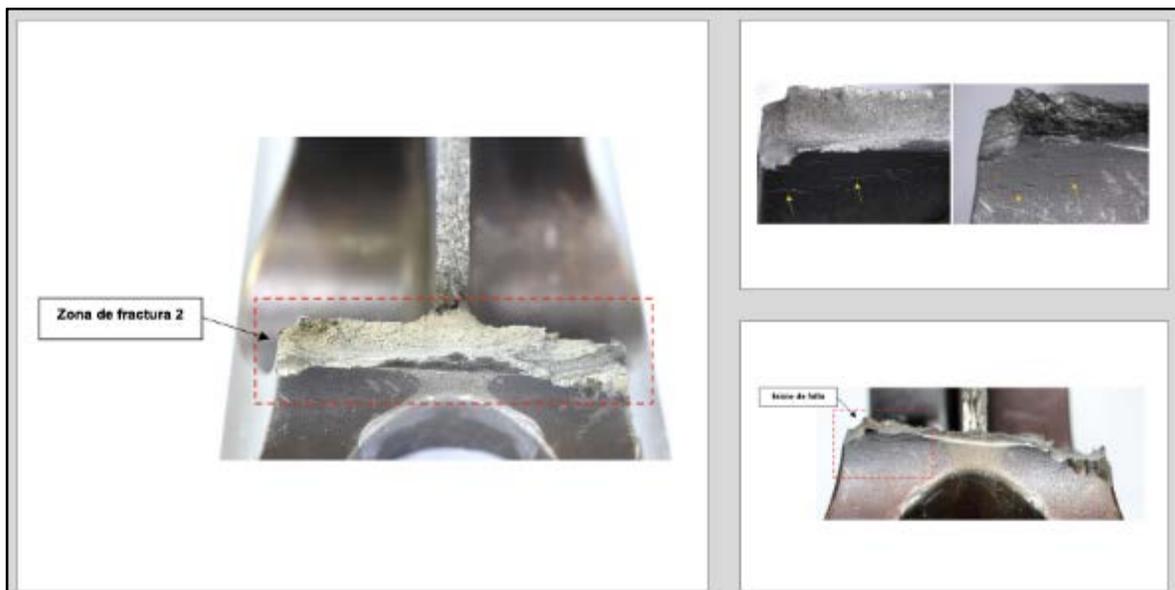


Fotografía No. 16: Identificación de inicio de grietas.

1.16.8 Zonas de fracturas biela maestra

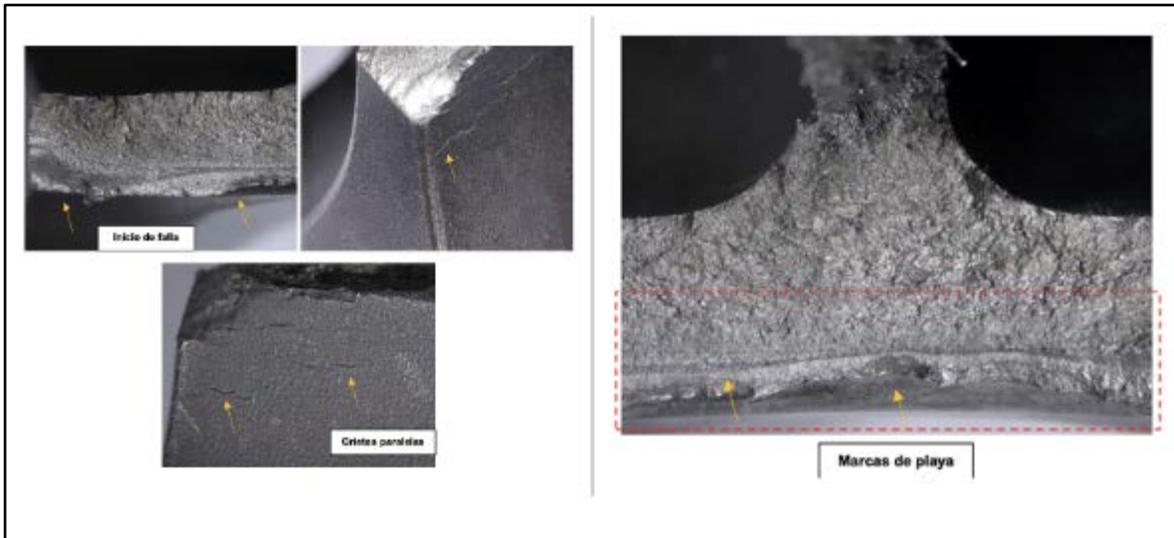
Zona de fractura 1. Se identificaron inicios de grieta sobre el borde externo de la biela maestra. La mayoría de la cara de la grieta se vio afectada por deformaciones plásticas posteriores al evento de falla, probablemente por el contacto entre los demás componentes internos del motor que se fracturaron.

Zona de fractura 2. Inicio de grieta a partir del borde externo. Crecimiento de grieta por fatiga. Se evidencian además múltiples grietas paralelas al inicio de falla.



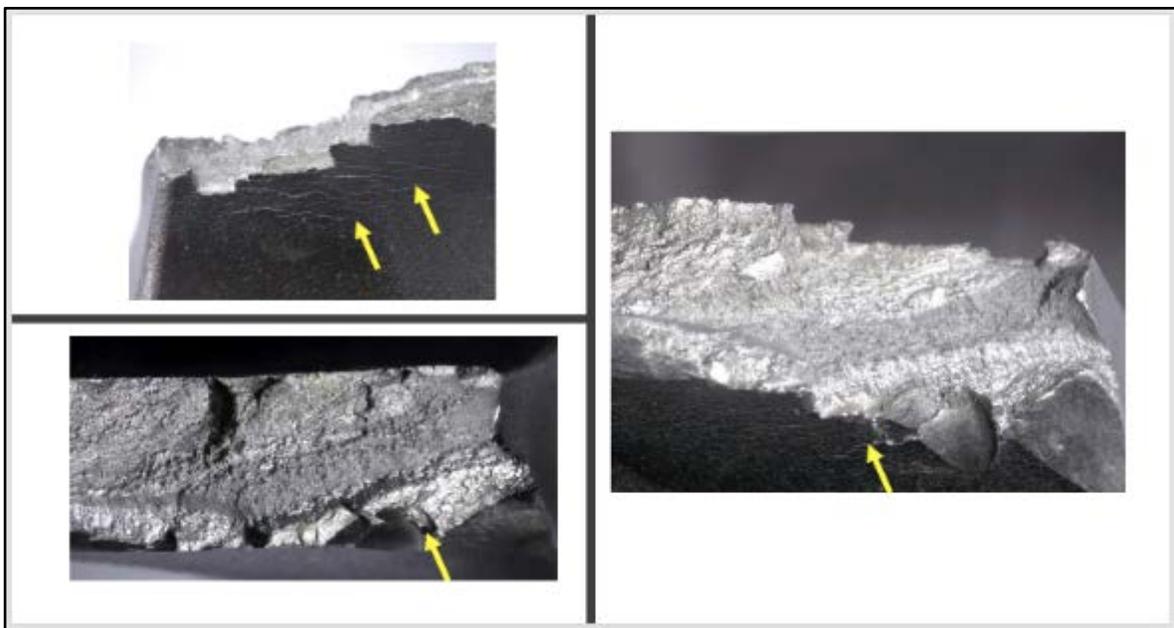
Fotografía No. 17: Inicio de grietas en la biela maestra.

Zona de fractura 2. Marcas de playa que indicaron un crecimiento por fatiga de la grieta. Adicionalmente se lograron registrar grietas transversales paralelas al inicio de falla.



Fotografía No. 18: Zona 2 de inicio de falla.

Zona de fractura 2. Zona de propagación de grietas y cara posterior de la biela maestra. Presencia de grietas transversales paralelas.



Fotografía No. 19: Grietas trasversales paralelas de la zona No.2.

1.16.9 Propagación de grietas sobre la biela maestra

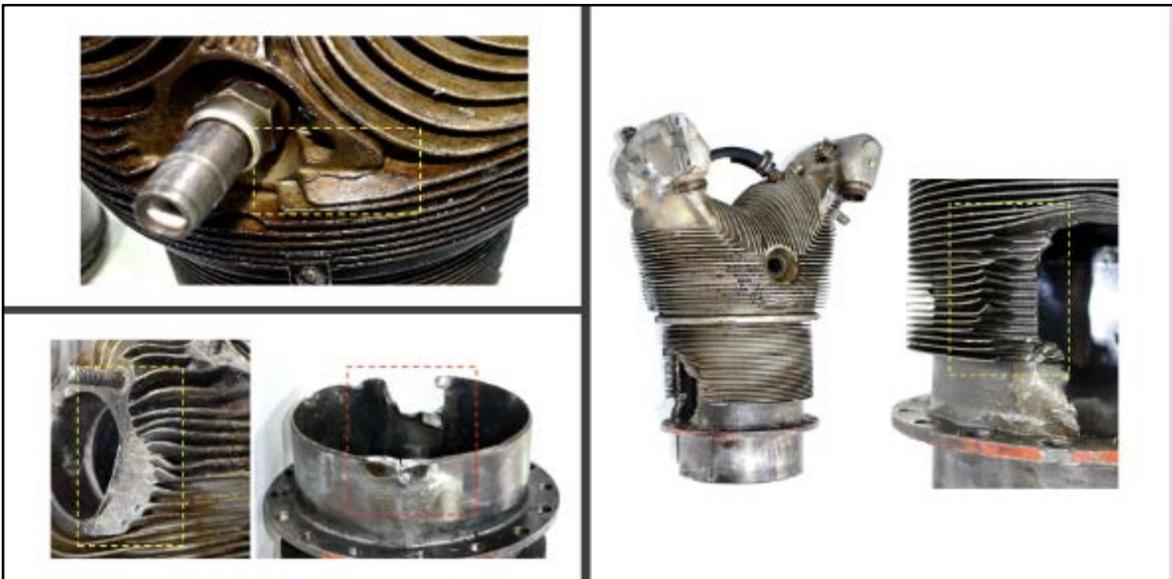
Propagación de grietas a partir de los cambios de sección y concentradores de esfuerzos de la biela.



Fotografía No. 20: Propagación de grietas sobre la biela principal.

1.16.10 Marcas evidenciada del cilindro principal

El cilindro presenta defectos relacionados con deformaciones plásticas y zonas con agrietamientos y fracturas. Sin embargo, no se relacionan dichos defectos con el inicio de falla.



Fotografía No. 21: Propagación de grietas sobre la biela principal.

1.16.11 Daños sobre la biela de la posición No.4

La biela presenta deformación plástica severa debido al contacto de esta con otros componentes durante el evento de falla.



Fotografía No. 22: Daños en biela No.4.

1.16.12 Daños evidenciados sobre el pistón No.5

El pistón presenta marcas de desgaste y deformación en la superficie de combustión. El defecto se relaciona más con su tiempo de vida útil que con alguna relación directa con el suceso inicial de falla.



Fotografía No. 23: Daños en el pistón No. 5.

1.16.13 Daños evidenciados sobre el pistón No. 7

Desgaste severo en la superficie de combustión del pistón. Deformación plástica en la superficie y pérdida de material.

Fractura de la superficie superior del pistón, acompañado de desgaste severo debido a las acciones térmicas de la combustión en el pistón.



Fotografía No. 24: Daños en el pistón No.7.

Múltiples eventos de deformación y desgaste en la superficie de fractura. Se evidenció también desgaste severo en la superficie de combustión del pistón. Deformación plástica en la superficie y pérdida de material.



Fotografía No. 25: Desgastes severos en el pistón No.7.

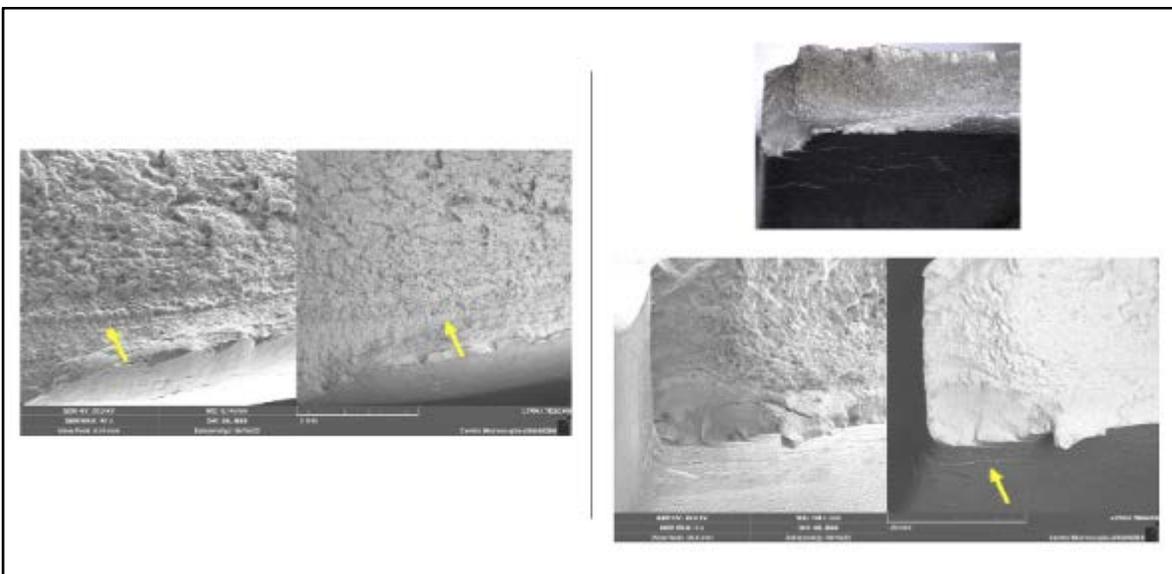
Desgaste severo debido a las acciones térmicas variables de la combustión en el pistón, acciones que se dan solo cuando no existe una correcta operación de los motores o no se dan los tiempos de estabilidad térmica.



Fotografía No. 26: Desgastes severos en cabeza de pistón No.7.

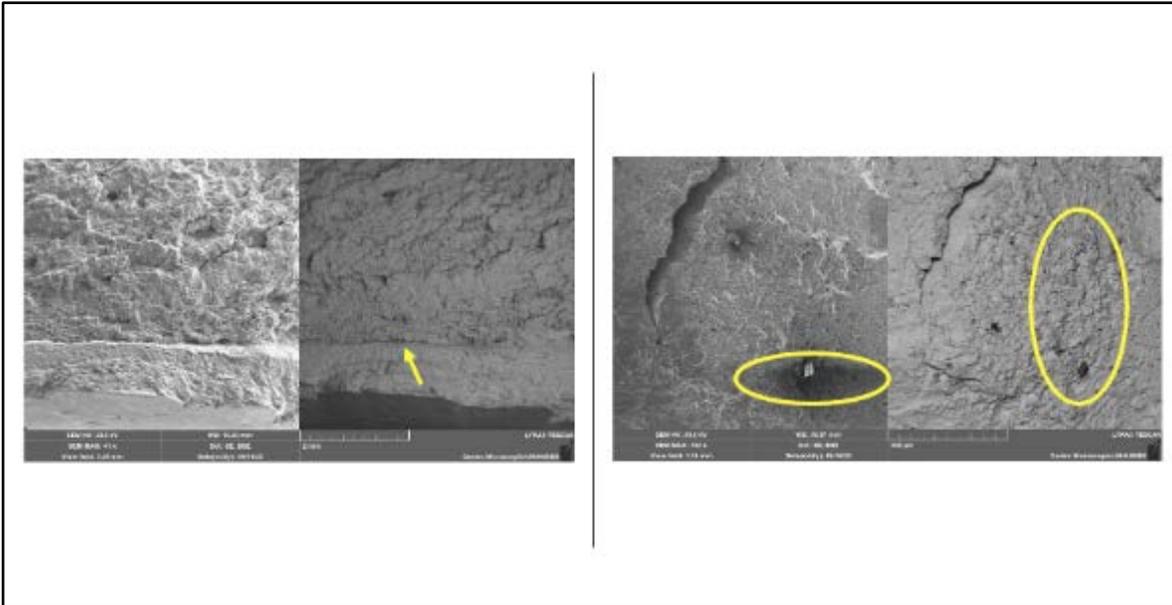
1.16.14 Análisis fractográfico de la biela maestra, del pistón y de otros accesorios

El análisis fue realizado con la tecnología de electrones secundarios dispersos, con el fin de entrar al “corazón” de la biela maestra e identificar errores del material. Luego del análisis se encontraron grietas paralelas al inicio de falla. Marcas de playa en los inicios de falla.



Fotografía No. 27: Análisis fractográfico de la biela maestra.

El análisis que se realizó con el microscopio electrónico de barrido encontró, dentro del material de la fractura, las marcas de playa, acompañadas además de grietas durante toda la prolongación de grieta.



Fotografía No. 28: Marcas de playa en el material de la biela maestra.

1.16.15 Análisis metalográfico de la zona de referencia Biela maestra

Para poder identificar las fracturas internas del material, se utilizó, como revelador, sulfuros tipo A2F y óxidos tipo D3F y revelador Nital 2%, para microestructura compuesta por martensita revenida.



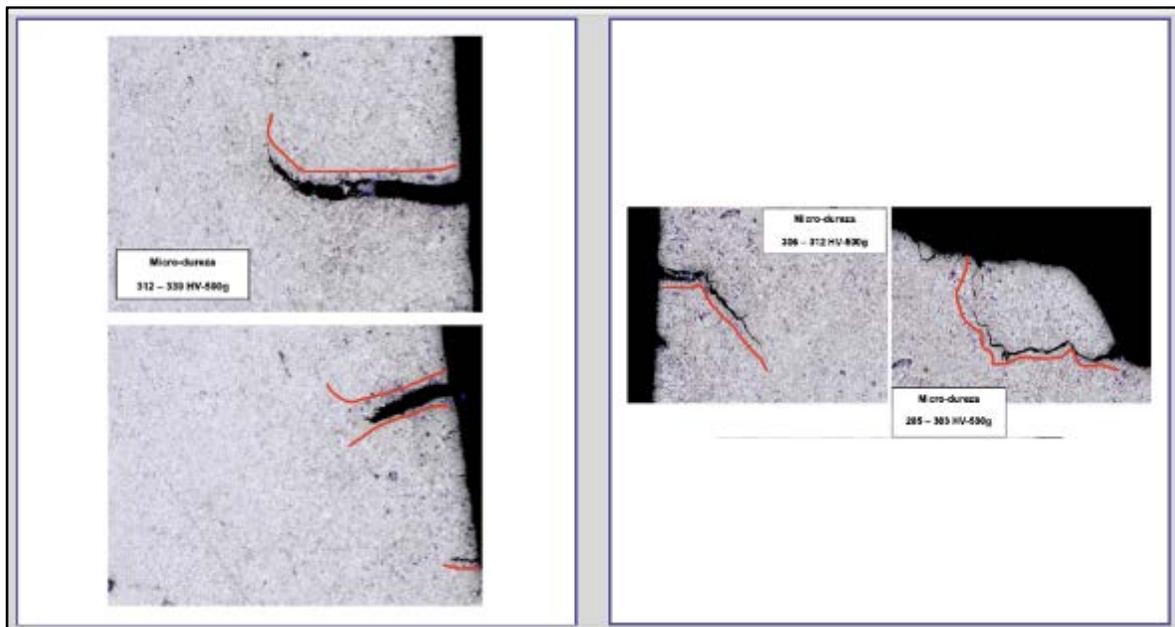
Fotografía No. 29: Sección de corte metalográfico de referencia para el análisis.

Sin revelador. Grietas paralelas a inicio de falla. Propagación de grieta zona de fractura, son resultantes al tipo de trabajo realizado por la biela, sin embargo, estas fracturas surgen solo cuando se tienen altas temperaturas o el motor es sometido a grandes esfuerzos, sobre pasando momentáneamente los límites operacionales.



Fotografía No. 30: Corte Longitudinal sobre la zona de la falla en la biela maestra.

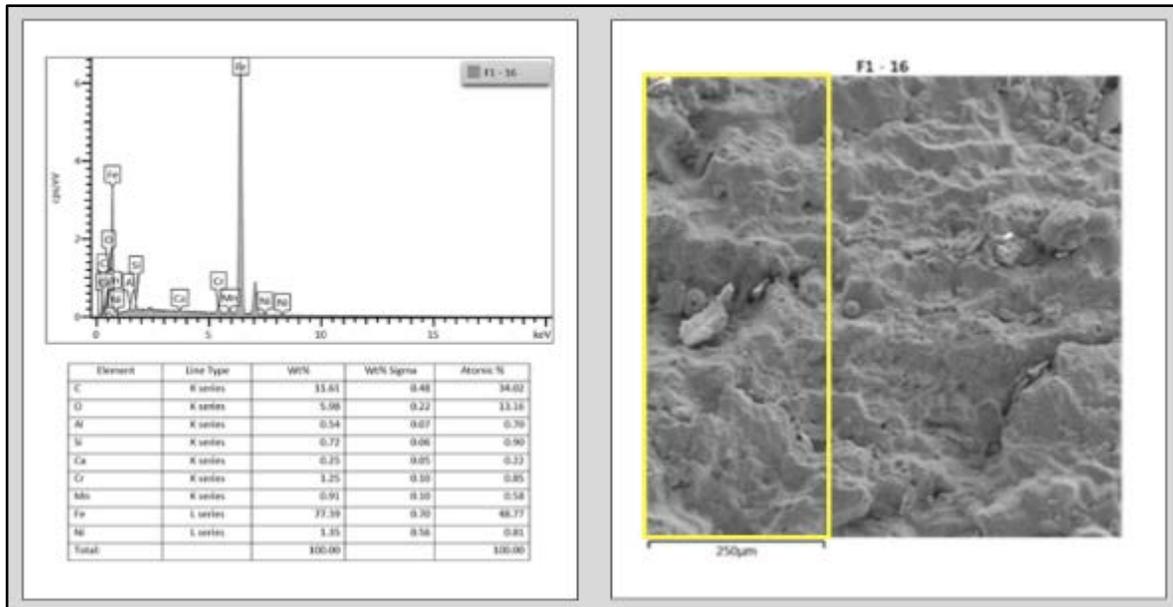
Se identificó una propagación de la grieta sobre la zona trans granular: además se observó un aumento significativo en de la dureza del material, en zonas de crecimiento de la grieta, esto indicó un proceso de fatiga previo a la fractura total.



Fotografía No. 31: Propagación de grietas en la zona trans granular.

1.16.16 Mapeo Atómico del material de biela maestra

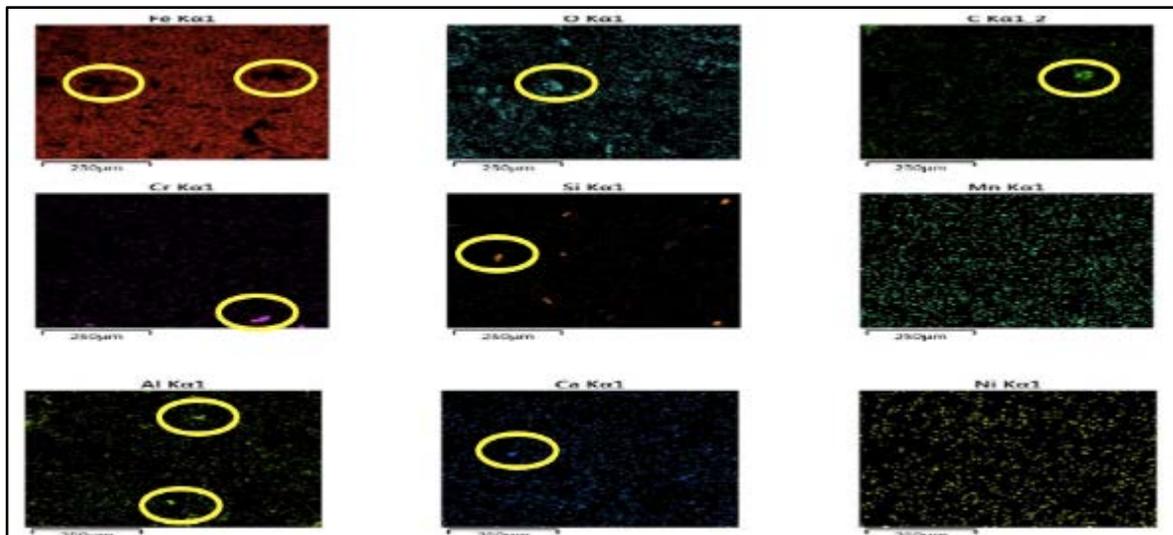
Análisis EDX. Mapeo atómico. No se evidencian elementos que puedan relacionarse con reacciones corrosivas al metal base.



Fotografía No. 32: Análisis de corrosión al material por espectro.

1.16.17 Mapeo Atómico para distribución de elementos de la aleación de la biela maestra

Análisis EDX. Mapeo atómico. Distribución de los elementos en la superficie de falla. Partículas de silicio y aluminio que pueden relacionarse al con el entorno de trabajo y/o residuos de elementos durante el evento de falla.



Fotografía No. 33: Mapeo Atómico distribución de elementos en la superficie de falla.

1.16.18 Ensayos de dureza en la superficie de la biela maestra y pistón

Se utilizó la técnica de dureza Brinell; de allí se adquirieron los datos para la dureza del material de la biela maestra; con estos datos se logró calcular la resistencia mecánica de este elemento.

ENSAYO DE DUREZA BIELA PRINCIPAL POSICIÓN 1							
Ubicación zonas de lectura	 <p>Fig. 23. BIELA PRINCIPAL POSICIÓN 1.</p>						
Lectura en diámetro interno	Escala	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Promedio	Rango
	HRC	31	31	30	31	30.75	30 – 31
Lectura en zona aledaña a la falla	HRC	31.3	31.2	30.8	31.2	31.13	30.8 – 31.3
Comentario:	Dureza rango entre 29.9 – 31.2 HRC en diámetro interno. Dureza rango 30.8 – 31.3 HRC en zona de caracterización.						

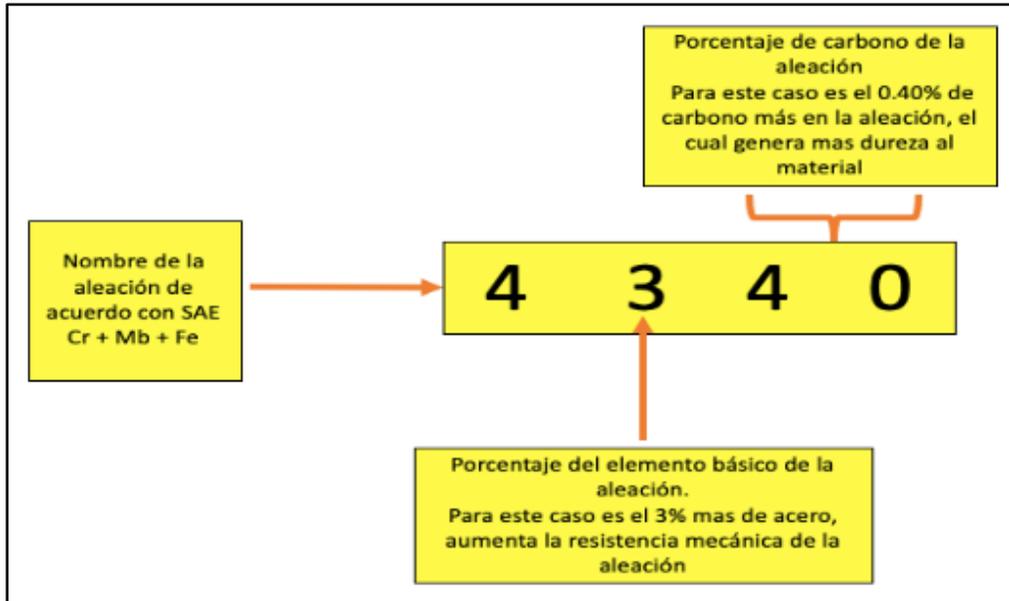
Fotografía No. 34: Prueba de dureza Brinell para la biela maestra.

ENSAYO DE DUREZA PISTÓN POSICIÓN 7							
Ubicación zonas de lectura	 <p>Fig. 24. PISTÓN POSICIÓN 7.</p>						
Lectura en diámetro interno	Escala	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Promedio	Rango
	HB	100	105	100	105	105	100 – 105
Comentario:	Dureza de 100 – 105 Brinell en metal base.						

Fotografía No. 35: Prueba de dureza Brinell para el pistón No.7.

1.16.19 Composición química de la biela maestra

Durante el examen al material, se determinó que pertenecía a una aleación de acero identificada como una aleación de acero **4340** de acuerdo con la norma SAE (Society Automotive Engineering). Entendiéndose que esta aleación se compone por: Hierro, Carbono, Fosforo, Silicio, Níquel, Cromo y Cobre.



Gráfica No. 5: Identificación del número SAE.

COMPOSICIÓN QUÍMICA BIELA PRINCIPAL POSICIÓN 1						
Aleación de acero						
	ESPECTROMETRO OPTICO DE EMISION THERMO SCIENTIFIC ARL-EASYSARK 040					
	Elemento		Resultado	Elemento		Resultado
	Fe	(%)	96,2376	V	(%)	0,0026
	C	(%)	0,3497	Ti	(%)	0,0028
	Mn	(%)	0,7664	Al	(%)	0,0377
	P	(%)	0,0119	Sn	(%)	0,0066
	S	(%)	0,0165	Mo	(%)	0,0662
	Si	(%)	0,2899	Co	(%)	0,0166
	Ni	(%)	1,2821	W	(%)	0,0016
	Cr	(%)	0,8550	Nb	(%)	0,0026
	Cu	(%)	0,0479	B	(%)	0,0028
	Composición química Acero grado 4340 de acuerdo con la NORMA SAE.					
	C	(%)	0.38 – 0.43	Si	(%)	0.15 – 0.35
	Mn	(%)	0.60 – 0.80	Cr	(%)	0.70 – 0.90
P	(%)	0.035 Max	Ni	(%)	1.65 – 2.00	
S	(%)	0.040 Max	Mo	(%)	0.20 – 0.30	
Comentarios: Composición química equivalente a la de un acero grado 4340 2340 de acuerdo con la norma ASTM.						
Temperatura registrada en el momento del ensayo: 17°C a 22°C						
Humedad registrada en el momento del ensayo: 40% RH a 60% RH						

Fotografía No. 36: Identificación química del material para la aleación.

La composición química es equivalente a la de un acero grado 4340 o 2340, de acuerdo con la norma ASTM.

Temperatura registrada en el momento del ensayo: 17C° a 22C° con una Humedad absoluta registrada para el momento del ensayo del 40% RH a 60% RH.

1.17 Información orgánica y de dirección

El explotador aéreo es una empresa de Trabajos Aéreos Especiales - Aviación Agrícola, con una gran experiencia en el sector aeronáutico.

La aeronave cumplía con los requisitos descritos en la Parte 4 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia, RAC 4, y con los requisitos especiales de aeronavegabilidad para aeronaves de aviación de trabajos aéreos especiales de fumigación aérea, RAC 137.

Durante la inspección de campo se determinó que la empresa contaba con manuales de operación propios aceptados por Autoridad de aviación civil y que realizaba su operación con base en los manuales del fabricante, POH.

Las operaciones de la aeronave son coordinadas por el aérea de despacho de acuerdo con las necesidades comerciales adquiridas.

Se logró identificar que el explotador llevaba directamente el cumplimiento del programa de mantenimiento a sus aeronaves, con la participación de talleres autorizados por la casa fabricante y la entidad reguladora de la aviación civil.

Se logró identificar la implementación de un sistema de gestión de calidad y de un sistema de gestión de seguridad operacional por parte de la empresa, enfocado al mejoramiento de la operación y mantenimiento de sus aeronaves.

La empresa posee SOPs (Procedimientos estándares de Operación) enfocados al cumplimiento estricto de procedimientos estándares, alineados con la norma aeronáutica y los fabricantes actual.

1.18 Información adicional

1.18.1 Funcionamiento de un motor radial

El motor radial es un tipo de motor de combustión interna, en el cual los cilindros y pistones se encuentran ubicados alrededor del cigüeñal; esta configuración de motor es muy utilizada en la aviación agrícola o de fumigación.

Los pistones van conectados por un mecanismo de biela-manivela, distinto de los motores en línea. Uno de los pistones está conectado a una biela más grande que las demás, llamada biela principal o “maestra”, que a su vez está conectada directamente con el cigüeñal.

Los otros pistones están conectados a bielas más pequeñas que están conectadas a la biela principal o biela maestra. Al conjunto de pistones, biela maestra y bielas secundarias se le conoce como “estrella”.

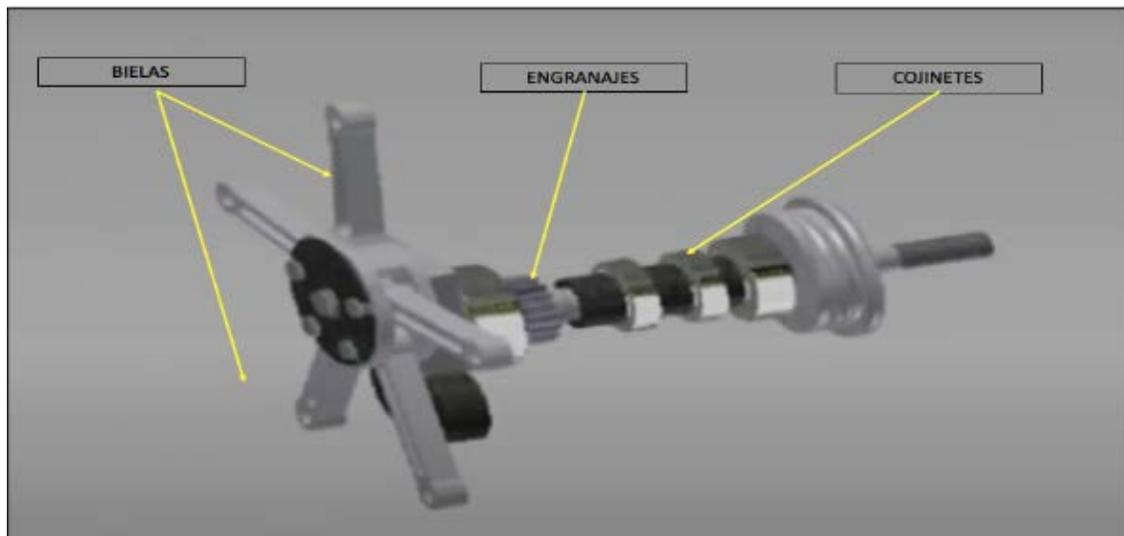
El número de pistones de un motor radial es generalmente impar, pues así el orden de encendido minimiza las vibraciones del motor sobre la estructura de la aeronave.

El motor radial, a diferencia del motor rotativo, tiene ubicado el cigüeñal dentro del bloque del motor. En otros motores, el cigüeñal es largo, mientras que en el motor radial es corto y todas las bielas del pistón están unidas al cigüeñal.



Fotografía No. 37: Funcionamiento general de un motor radial.

En este motor existe una biela más grande que las demás, unida directamente al cigüeñal, que se conoce como biela maestra. El resto de las bielas flotan libremente y van girando alrededor del cigüeñal instaladas sobre cojinetes que se conectan con unos pines de seguridad directamente a la barra principal.



Gráfica No. 6: Componentes internos del motor.

1.18.2 Grados de libertad de la biela maestra

Los grados de libertad representan el número de parámetros que se necesita conocer para determinar completamente la posición, velocidad o aceleración de cualquier punto del mecanismo.

En el caso de los Motores de Combustión Interna Alternativos, MCIA existe una única entrada en el sistema que es la fuerza equivalente a la presión de los gases sobre la cabeza del pistón, por lo que el mecanismo debe tener tan solo un grado de libertad para poder definir la posición de todos los pistones para cada instante del ciclo.

Este aspecto cobra relevancia en los motores radiales por la complejidad de su mecanismo.

Para entender el movimiento del mecanismo de los motores radiales y comprobar que tienen un grado de libertad, se analizarán sus grados de libertad en base al mecanismo convencional de biela-maestra.

En un mecanismo biela-manivela maestra, el número de grados de libertad es 1, ya que se podría conocer la posición del pistón en cualquier momento en función del ángulo de giro de la manivela.

Esto se puede demostrar con el criterio de Grübler para mecanismos de 2 dimensiones:

$$G=3(N-1) -2PI - PII$$

Siendo G los grados de libertad, N el número de elementos rígidos del sistema mecánico (Elemento fijo incluido) y PI y PII pares de clase I, y II pares cinéticos, restringen 2 y 1 grados de libertad respectivamente, de los 3 grados de movimiento posibles en el plano).

En el mecanismo de la biela maestra, N=4 (Biela maestra, deslizadera y elemento fijo), P = 4 (3 pares de rotación y un par prismático) y P = 0. Por lo tanto:

$$G=1$$

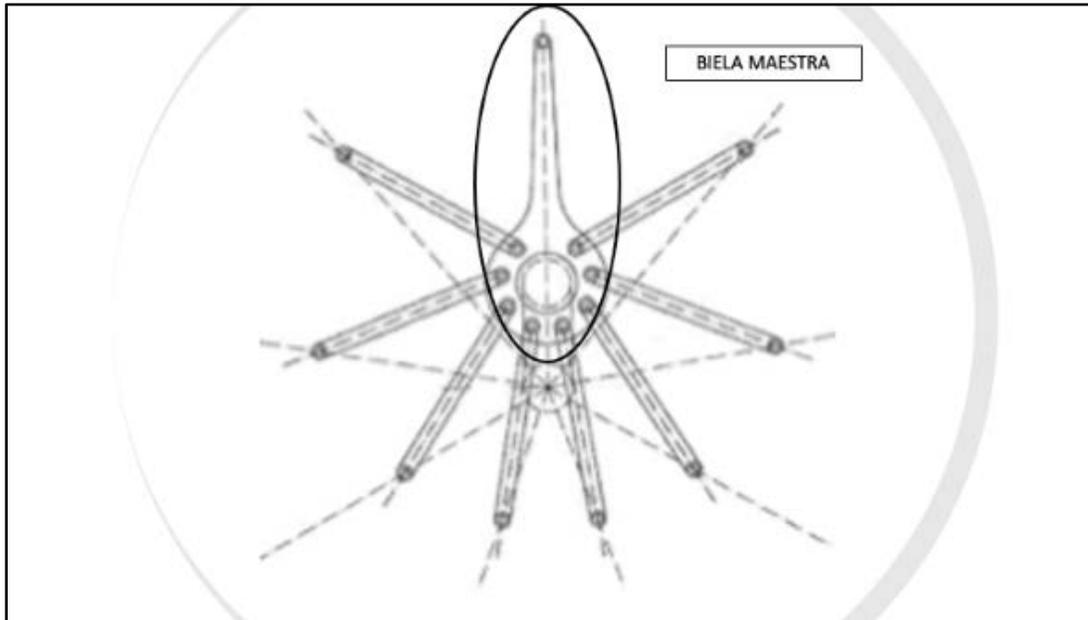
En el caso del mecanismo de los motores radiales, partiendo de un mecanismo biela-manivela, se le unen más bielas en el mismo plano hasta disponer de tantas bielas como cilindros se pretendan utilizar.

Como resulta evidente, no sería físicamente posible conectar todas las bielas a la manivela en un mismo plano manteniendo para cada una de ellas un par de rotación respecto a la manivela, por lo que se opta por conectar las bielas restantes (es decir, las ya mencionadas bielas secundarias) al extremo conectado a la manivela de la primera biela (biela maestra).

La forma óptima para colocar dichas bielas sería lo más cerca posible de la manivela, siempre y cuando se pueda garantizar el giro previsto de ambos elementos a lo largo de todo el recorrido de la manivela.

Por otro lado, partiendo de un mecanismo biela-manivela, añadir otra biela con su correspondiente pistón (simplificado como deslizadera en un análisis cinemático) supondría añadir 2 elementos rígidos más y 3 pares cinemáticos de clase 1 (2 pares de rotación y uno prismático), manteniéndose así el grado de libertad ($G = 1$) del mecanismo completo para cualquier número de bielas adicionales que se quisieran añadir. Esto se comprueba con la fórmula de Grübler anteriormente enunciada, esta vez con $N = 4 + 2n$, $P1 = 4 + 3n$ y $P11 = 0$.

$$G = 3(4 + 2n - 1) - 2(4 + 3n) \quad G=1$$

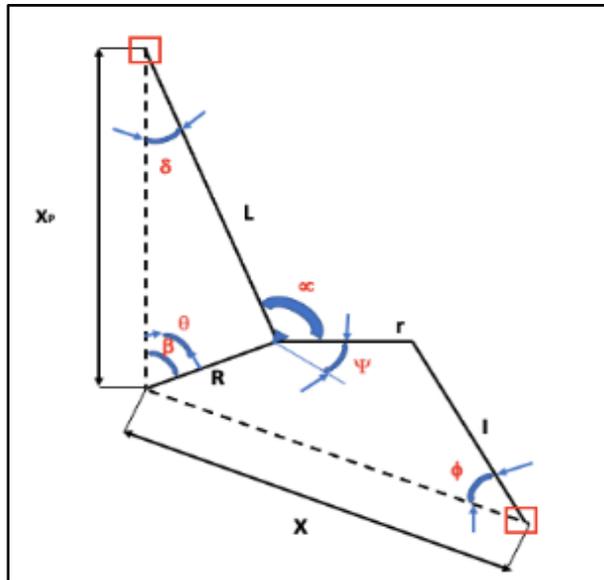


Gráfica No. 7: Representación básica del mecanismo de bielas en el motor rotatorio.

1.18.3 Cálculos de longitud para punto muerto superior e inferior de los pistones, y la afectación en la operación del motor

Para conocer algunos parámetros del motor durante su operación con algún tipo de falla de sus partes internas, se hace necesario conocer la posición del punto muerto superior y punto muerto inferior de todos los pistones.

En la representación se pueden apreciar los siguientes parámetros del mecanismo principal:



Gráfica No. 8: Representación gráfica de los mecanismos de biela.

- $\alpha \rightarrow$ Ángulo fijo entre el brazo de la biela principal y el agujero donde se inserta cada biela secundaria.
- $\beta \rightarrow$ Ángulo fijo entre la dirección en la que se mueve el pistón correspondiente a la biela principal y la dirección en la que se mueve el pistón de la biela secundaria.
- $R \rightarrow$ Longitud de la manivela del mecanismo.
- $L \rightarrow$ Longitud entre el centro del agujero de inserción de la manivela y el centro del agujero de inserción del pistón en la biela maestra.
- $r \rightarrow$ Distancia entre el centro del agujero de inserción de la manivela y el centro de los agujeros de inserción de las bielas secundarias en la biela maestra.

El procedimiento por seguir, de forma simplificada, es el siguiente: Se obtiene una ecuación vectorial para cada lazo y cada una de ellas se descompone en dos ejes perpendiculares para obtener la ecuación de posición en cada caso.

Ecuación de la biela principal:

$$\longrightarrow \quad \longrightarrow \quad \longrightarrow$$

$$XP = R + L$$

$$R \sin \theta = L \sin \varphi \rightarrow \varphi = \sin^{-1} \left(\frac{R \sin \theta}{L} \right)$$

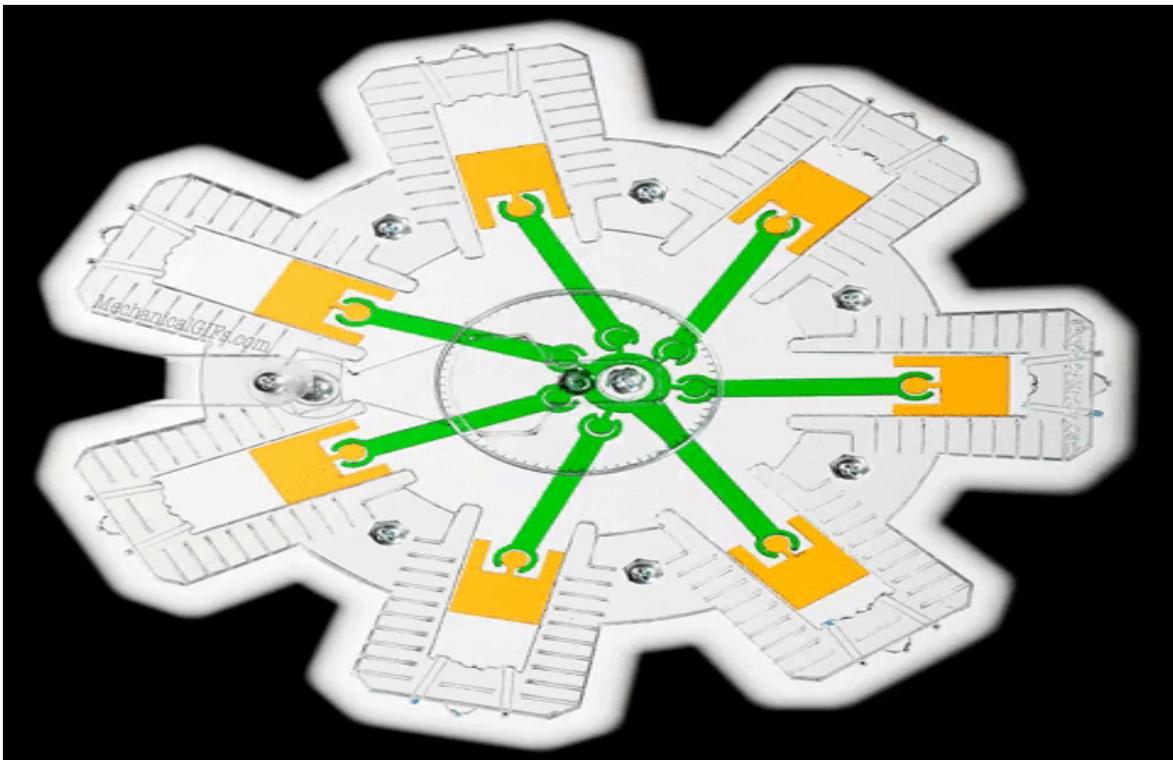
$$XP = R \cos \theta + L \cos \varphi$$

1.18.4 Ventajas de los motores radiales

La principal ventaja del motor radial es que presenta un área frontal grande, lo cual facilita su refrigeración, ya que el enfriamiento lo suministra el aire que impacta sobre el motor (como resultado del desplazamiento). Esto no ocurre con los motores en V o W, que necesitan enfriarse por un fluido, lo que implica más peso.

Es por ello por lo que el motor radial tiene una relación potencia / peso mayor que los motores enfriados con líquido. La ausencia del sistema de refrigeración hace que la construcción y el mantenimiento de un motor radial, o estrella, sea más fácil que en los motores lineales.

Por otro lado, el número de componentes que se requieren para ensamblar este motor es menor. Esto aumenta la fiabilidad, puesto que, a mayor cantidad de componentes, mayor es la posibilidad de que suceda alguna falla en el sistema. La simplicidad del motor radial hace que sea un motor confiable y más resistente a daños.



Gráfica No. 9: Funcionamiento interno de un motor radial.

1.19 Técnicas útiles o eficaces de investigación

Para el desarrollo de la investigación, fueron empleadas las técnicas contenidas en el Documento 9756 de la OACI, así como el análisis de las evidencias físicas y testimoniales, recopiladas durante las labores de campo.

Adicionalmente, y conociendo la naturaleza del accidente se efectuó el análisis de falla para la biela maestra ubicada en la posición No.1 del motor radial la cual se encontró fracturada durante la realización de la inspección de campo.

2. ANÁLISIS

El análisis de la presente investigación se basó en la información factual recopilada durante las actividades de campo adelantadas, así como la información contenida en los registros documentales y pruebas especializadas realizadas durante el proceso de investigación.

2.1 Operaciones de vuelo

El Piloto, contaba con una buena experiencia en el equipo Air Tractor y en actividades de fumigación aérea; además se encontraba apto psicofísicamente para el vuelo, y cumplía con los chequeos de proeficiencia de acuerdo con la normatividad vigente.

Durante el procedimiento de investigación se demostró que el Piloto tuvo continuidad en la operación en este tipo de aeronave relacionadas a las actividades de aspersión aérea.

Para día del accidente el Piloto se presentó a las 5:00 AM en las instalaciones de la empresa para realizar la programación de vuelo. Y efectuó su primer vuelo de aspersión agrícola sobre plantaciones de plátano y retornó a la empresa sin novedad alguna.

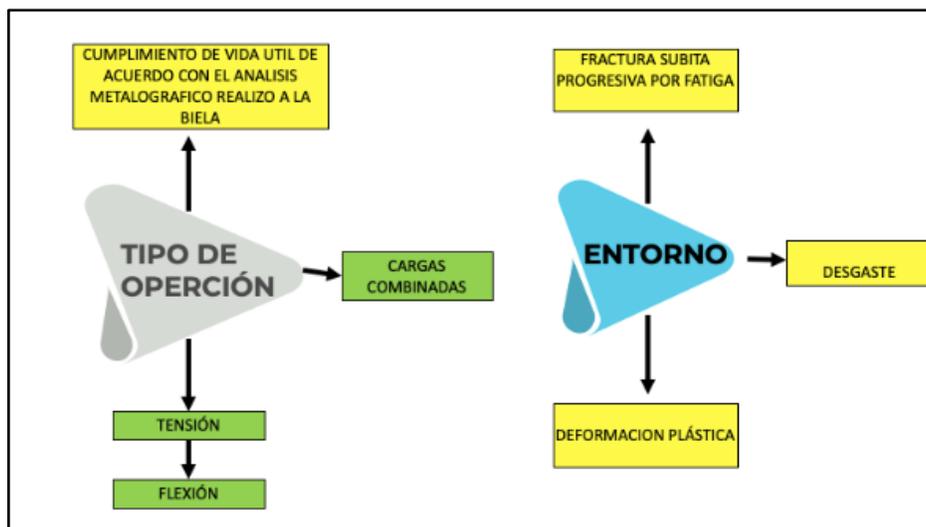
Durante el sexto vuelo, y después de volar durante un minuto aproximadamente, después de alcanzar una altura máxima de 300 ft, el motor perdió sustancialmente la potencia de manera periódica, situación que estuvo acompañada de fuerte ruido, alta vibración y humo blanco saliendo de la parte interna del motor; pocos segundos después, el motor se apagó.

De acuerdo con los manuales de procedimientos para la empresa, el piloto controló correctamente la aeronave durante el procedimiento de emergencia, e inmediatamente seleccionó un campo para aterrizar la aeronave.

El Piloto aplicó los procedimientos descritos en los manuales de la empresa (MGO, SOPs, MPO, manual de entrenamiento) para este tipo de emergencia.

2.2 Análisis de falla fractura biela maestra

El análisis de falla realizada para la biela maestra fue realizado en un laboratorio de metalurgia especializado, el cual tuvo en cuenta 3 aspectos importantes de material, así:



Gráfica No. 10: Árbol de hipótesis de falla para la biela maestra.

- ✓ **Tipo y características de operación.**
- ✓ **Medio ambiente o entorno de operación**
- ✓ **Reparación “overhaul” del motor**

De acuerdo con la información obtenida durante la inspección de campo, los registros de mantenimiento y, finalmente, en el análisis de falla para la biela maestra, se logró evidenciar un crecimiento prolongado de grieta intergranular.

La fractura fue ocasionada por una fatiga del material (evento súbito), a partir de un progresivo cambio de esfuerzos generados en la sección inferior de la biela maestra.

El cilindro ubicado en la posición No. 1, la biela No.4, el pistón No. 5 y el pistón / biela No. 7, presentaron daños relacionados con fracturas y deformaciones plásticas que no es posible relacionar con el evento inicial de falla, y que probablemente se originaron como consecuencia de una falla principal previa.

Los múltiples defectos relacionados con la fractura total están relacionados directamente con las deformaciones plásticas y agrietamientos en cambios de sección de la biela maestra.

Las zonas de fractura 1 y 2 indicaron un comienzo progresivo, además de una propagación periódica de grieta a partir de la cara externa de la biela, afirmando una concentración de esfuerzos inusual en los motores radiales.

Las grietas sobre la biela maestra se propagan por fatiga del material; esta grieta se generó a partir del diámetro externo de la biela.

Se evidenciaron marcas de playa, las cuales indican los diferentes procesos cíclicos a los cuales estuvo expuesto el material de la biela durante la operación mecánica del motor.

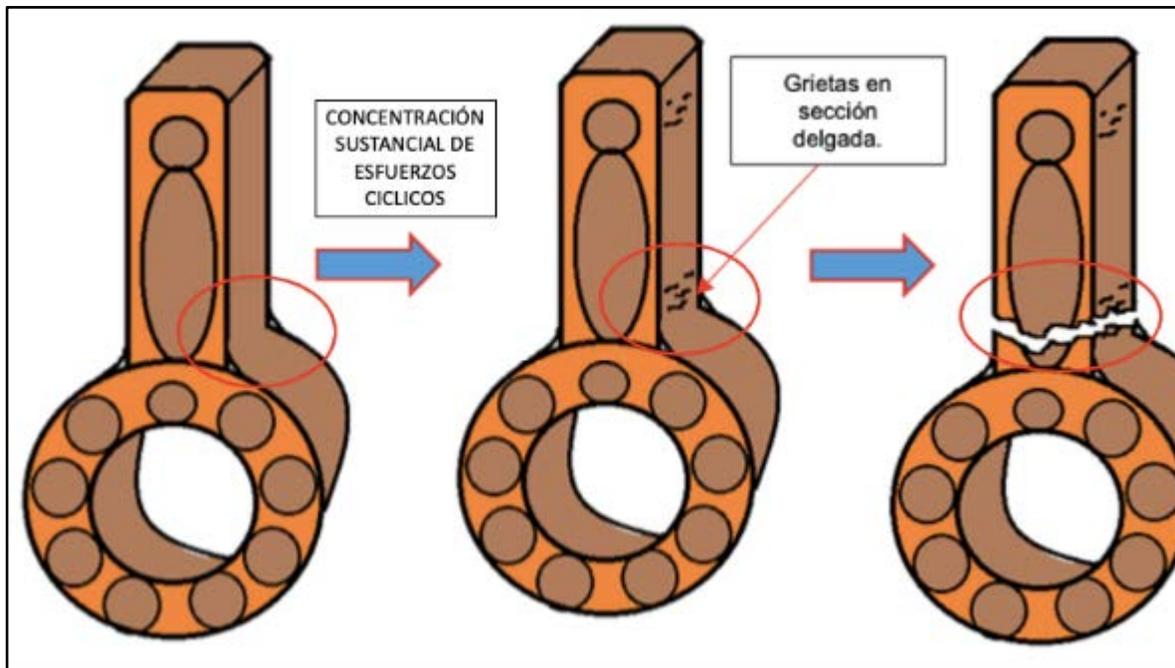
Se evidenciaron múltiples grietas paralelas a los inicios de fractura, las cuales confirmaron que la biela maestra presentaba fatiga de material viejas.

Las grietas se presentaron en las zonas de cambios de sección de la biela, justo en donde se identificaron las reducciones de área; lo cual permite, por su diseño, potenciales concentradores de esfuerzos durante la operación.

La caracterización de material indicó que la biela estaba fabricada en un material equivalente al acero grado 4340 con una dureza de 30 – 32 HRC. La microestructura estaba conformada por martensita revenida en el metal base, indicando procesos de temple y revenidos previos.

Las microgrietas paralelas a los inicios de fractura, con una micro dureza levemente elevada en las zonas de punta de propagación de grieta, indicaban, efectivamente, su crecimiento por fatiga.

Teniendo en cuenta las evidencias obtenidas durante el proceso de investigación y los ensayos realizados, se puede determinar que la falla del motor se originó en la biela principal, por múltiples eventos de fatiga distribuidos en varias partes de esta, afectando sustancialmente su resistencia mecánica a la transferencia de energía.



Gráfica No. 11: Esquema de proceso de fractura en la biela.

La acumulación de esfuerzos en un solo punto de la biela maestra se debió a una posible operación incorrecta del motor, que pudo inducir sustancialmente a un envejecimiento prematuro de los materiales de la biela, teniendo en cuenta la variación de la temperaturas presión y transferencia mecánica a los componentes internos del motor.

De otra parte, para el día del accidente el motor registraba 540:15 horas después de su último *overhaul*; es decir, que el motor estuvo en operación un poco menos del 60% de la operación esperada, teniendo en cuenta que este tipo de motores están diseñados para ser reparados a las 1000 horas de operación.

Dentro de la investigación a Reparaciones Mayores del motor, no se encontró un documento que especificara que se hubiera reemplazado el kit de bielas.

El manual de reparación para el motor Pratt and Whitney especifica que el reemplazo de los componentes internos para el motor debe realizarse cada 7000 horas de operación aproximadamente.

Sin embargo, el manual de reparaciones del motor Pratt and Whitney especifica que mientras son cumplidas las horas de operación total de los componentes internos del motor, se deben realizar varios tipos de pruebas no destructivas, para garantizar la correcta operación del motor.

Adicionalmente, es importante tener en cuenta que la comercialización de cualquier componente para los motores radiales es difícil, debido a que, estos componentes dejaron de ser fabricados por el fabricante del motor hace varios años.

Esto hace que los componentes del motor Pratt and Whitney para el avión Air Tractor sean de difícil adquisición, ya que son muy escasos los proveedores en Estados Unidos que fabrican estos componentes para la comercialización, y que los operadores de este tipo de motores acudan a conseguir componentes con métodos alternos permitidos tales como la

remano facturación, con el riesgo de que se utilicen componentes no aptos para el uso en este tipo de motores.

De otra parte, es posible que, si los motores son operados de manera incorrecta por parte de las tripulaciones, al no mantener la temperatura de cabeza de cilindros, o la presión de aceite, o la presión de manifold en límites, o en “arco verde” pero al límite permanentemente, o no tener en cuenta la estabilización térmica, se generan esfuerzos mayores y desgaste a los componentes.

Por último, hay que tener en cuenta que este tipo de motores radiales, al ser operados en una aeronave de fumigación está sometido a una operación más exigente, en comparación con otras actividades aéreas; por lo tanto, las actividades de mantenimiento que requiere el motor y una aeronave dedicados a la fumigación deberían ser más estrictas y restrictivas.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

3. CONCLUSIÓN

3.1 Conclusiones

El Piloto se encontraba psicofísica y técnicamente apto, sin ninguna restricción para ejercer las actividades propias de vuelo.

Los manuales de operación de la empresa, procedimientos estándar de operación, listas de chequeo y manual de entrenamiento para las tripulaciones, contenían procedimientos operacionales para la tripulación, en caso de pérdida del motor en vuelo.

La aeronave se encontraba aeronavegable y cumplía con los requerimientos establecidos para efectuar este tipo de operación.

Dentro de la inspección a los documentos de mantenimiento de la aeronave, no se hallaron registros de mal funcionamiento en los sistemas del avión, motor o hélice que hubiera contribuido en el accidente.

No obstante, se había desarrollado una grieta en el pistón en la parte inferior de la biela maestra de la planta motriz, probablemente como consecuencia del envejecimiento prematuro de los componentes, que produjo una fatiga del material, debido a una concentración de esfuerzos combinados no usuales debido a la naturaleza funcional de la biela.

Es probable que en el envejecimiento prematuro de las partes internas del motor y en el desarrollo de la grieta hubiese contribuido una probable operación incorrecta del motor, continua en el tiempo, por parte de las tripulaciones, al no cumplir con los tiempos de enfriamiento o estabilización térmica del motor, u operar frecuentemente el motor en sus límites superiores.

El sistema de registro de mantenimiento del explotador no permitió determinar el origen, el tiempo de operación, ni el tiempo de vida útil de la biela maestra.

La carencia de controles efectivos por parte del operador a los componentes internos del motor, no permitieron que se ejerciera una vigilancia continua de los procesos de reparación mayor de la planta motriz efectuados por terceros especializados.

Al iniciar el sexto vuelo de aspersión del día, durante el ascenso, la grieta presente en la biela maestra causó la fractura total de la misma, en la parte inferior por la continua concentración de esfuerzos combinados ocasionando una pérdida de transferencia mecánica y posterior la falla del motor.

Los intentos del Piloto para reiniciar el motor fueron infructuosos y seleccionó entonces un sembradío de plátano para efectuar un aterrizaje de emergencia.

El Piloto mantuvo el control de la aeronave. No obstante, a baja altura, la aeronave impactó contra un templete (cable) que le hizo perder control y causó daños sustanciales en la sección de motor.

El avión cayó al terreno, y durante la carrera de desaceleración se causaron daños sustanciales por el impacto con las matas de plátano posteriormente al desprendimiento del motor de la estructura primaria.

El análisis del motor indicó que las zonas de fractura 1 y 2 tuvieron un comienzo progresivo, además de una propagación periódica de grieta a partir de la cara externa de la biela, afirmando una concentración de esfuerzos inusual en los motores radiales.

3.2 Causa probable

Falla del motor originada por la fractura de la biela maestra, que ocasionó pérdida de potencia, impidiendo que la aeronave continuara en vuelo, obligando al Piloto a un aterrizaje forzoso en un campo no preparado.

3.3 Factores Contribuyentes

Envejecimiento del material base con el que se construye la biela maestra del motor radial Pratt and Whitney, como consecuencia de una operación periódica en diferentes ambientes atmosféricos, que contribuyeron al desgaste físico e intergranular del material.

Envejecimiento prematuro de los componentes, teniendo en cuenta el tiempo de operación del motor, el cual produjo fatiga del material, debido a una concentración de esfuerzos combinados no usuales afectando la naturaleza funcional de la biela.

Posible operación incorrecta del motor por parte de las tripulaciones, al no cumplir con los tiempos de enfriamiento o estabilización térmica del motor, después de la prendida y antes de la apagada, y, probablemente, operar el motor con límites superiores a los establecidos o permanentemente en los límites superiores.

Carencia en el Manual de Mantenimiento del explotador, de un procedimiento que limite la vida útil de componentes internos del motor, tales como las bielas, teniendo en cuenta el tipo de operación y las restricciones que establece el manual del fabricante.

Carencia en el explotador, de los procedimientos de inspección y de documentación técnica, ya que no se conoce el tiempo real de vida útil para las bielas maestras de los motores radiales.

3.4 Taxonomía OACI

SCF-PP: Falla o mal funcionamiento de sistema o componente – planta motriz.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

4. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD OPERACIONAL

AL OPERADOR AÉREO

REC. 01- 202202 - 1

Implementar un programa de capacitación teórico-práctica permanente a las tripulaciones en relación con el rendimiento y limitaciones de las aeronaves de la compañía, en especial de las plantas motrices, teniendo en cuenta el tipo de operación especial y exigente para el material, de los vuelos de aspersión aérea.

REC. 02 – 202202 -1

Incluir dentro del manual procedimientos estándar de operación “SOPs” un procedimiento de estricto cumplimiento por las tripulaciones, para garantizar la correcta operación de los motores y su estabilización térmica – mecánica, especialmente después de la prendida y antes de la apagad, en cada vuelo.

REC. 03 – 202202 -1

Crear un procedimiento dentro del manual de mantenimiento de la empresa, para realizar la adecuada supervisión de las actividades contratadas, que incluya una detallada inspección de recibo de los trabajos que entregan los talleres reparadores especializados que tienen compromiso comercial con el explotador la para reparación “overhaul” y otras, de los motores radiales Pratt and Whitney.

REC. 04 – 202202 -1

Crear un procedimiento de inspección dentro del Manual General de Mantenimiento con el fin de realizar inspecciones periódicas cada 200 horas de vuelo, a los todos los componentes internos de los motores radiales Pratt and Whitney modelo R1340 AN1, instalados en las aeronaves Airtractor AT301, con el fin de identificar de manera temprana, fracturas superficiales y otras deficiencias del material.

REC. 05 – 202202 -1

Incluir dentro del Manual General de Mantenimiento, en el capítulo de Ingeniería, un procedimiento para efectuar seguimiento de las horas de operación de los componentes internos de los motores radiales, pero utilizando el parámetro de “número de ciclos” del motor, que deben contarse con base en cada encendido y cada apagada del motor.

A LA AERONAUTICA CIVIL DE COLOMBIA

REC. 06-202126-1

Dar a conocer el presente informe de investigación a los operadores de Trabajos Aéreos Especiales, Aviación Agrícola, para que apliquen las recomendaciones, según sea pertinente, y se tenga en cuenta dicho informe para mejorar los sistemas de Gestión de Seguridad Operacional.



DIRECCIÓN TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES

Av. Eldorado No. 103 – 15, Piso 5º.

investigacion.accide@aerocivil.gov.co

Tel. +(57) 601 2963186

Bogotá D.C. – Colombia