

Grupo de Investigación de Accidentes

GRIAA

GSAN-4-5-12-035



AERONÁUTICA CIVIL
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL

INFORME FINAL ACCIDENTE

COL-21-18-GIA

**Falla de planta motriz y
aterrizaje de emergencia
(SCF-PP)**

Cessna 172

Matrícula HK4418G

15 de mayo de 2021

Hacienda El Estanco

Tenjo, Cundinamarca

Colombia



ADVERTENCIA

El presente Informe Final refleja los resultados de la investigación técnica adelantada por la Autoridad AIG de Colombia – Grupo de Investigación de Accidentes, GRIAA, en relación con el evento que se investiga, con el 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, cualquier 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 fines 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	7
1.1 Historia de vuelo	7
1.2 Lesiones personales	10
1.3 Daños sufridos por la aeronave	10
1.3.1 Motor y hélice	10
1.3.2 Fuselaje	11
1.3.3 Plano izquierdo y derecho	12
1.3.4 Estabilizador vertical.....	13
1.4 Otros daños.....	13
1.5 Información personal.....	13
1.5.1 Piloto Instructor.....	13
1.5.2 Piloto Alumno.....	14
1.6 Información sobre la aeronave y el mantenimiento	15
1.6.1 Motor	16
1.6.2 Hélice.....	18
1.6.3 Trazabilidad de los trabajos de mantenimiento efectuados al motor .	18
1.6.4 Vigilancia de las actividades contratadas	19
1.6.5 Control de calidad sobre el mantenimiento propio	19
1.7 Información Meteorológica	19
1.8 Ayudas para la Navegación	19
1.9 Comunicaciones.....	19
1.10 Información del Aeródromo.....	20
1.11 Registradores de Vuelo	20
1.12 Información de impacto y los restos de la aeronave	20
1.13 Información medico patológica	21
1.14 Aspectos de supervivencia	21
1.15 Ensayos e investigaciones.....	21
1.15.1 Análisis falla al material del cigüeñal, de las bielas y del muñón....	26

1.15.2	Evidencia encontrada en la inspección en campo.....	26
1.15.1	Árbol de Hipótesis	27
1.15.2	Análisis de falla de la biela	28
1.15.3	Análisis fractográfico y metalográfico	29
1.15.4	Toma de dureza para el material del cilindro.....	31
1.15.5	Composición química del material.....	32
1.16	Información sobre la organización	33
1.17	Información adicional	33
1.17.1	Funcionamiento de un motor Opuesto	33
1.17.2	Cigüeñal en motor opuesto	34
1.17.3	Par motor.....	35
1.17.4	Pistones.....	36
1.17.5	Ventajas de motores opuestos en comparación con radiales	38
1.18	Técnicas útiles o eficaces de investigación.....	38
2.	ANÁLISIS	39
2.1	Operaciones de vuelo	39
2.2	Mantenimiento.....	39
2.2.1	Análisis secuencial de la falla	40
3.	CONCLUSIÓN	42
3.1	Conclusiones.....	42
3.2	Causa probable	43
3.3	Factores Contribuyentes	43
3.4	Taxonomía OACI	44
4.	RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD OPERACIONAL	45

SIGLAS

AMM:	Manual de mantenimiento de aeronaves
AGL	Por encima del nivel del suelo
ATC	Control de Tránsito Aéreo
CRM	Gestión de Recursos de Cabina
GRIAA	Grupo de Investigación de Accidentes – Autoridad AIG Colombia
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
HL	Hora Local
METAR	Informe Meteorológico Rutinario de aeródromo
MGO	Manual General de Operaciones
MGM	Manual general de mantenimiento
MPI	Manual procedimientos de inspección
NTSB	National Transportation Safety Board – Autoridad AIG de EEUU
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
PCA	Piloto Comercial de Avión
PBMO	Peso Bruto Máximo Operativo
POH	Manual de Operaciones del Piloto
RII	Ítem de inspección requerida
RPM	Revoluciones por minuto
SMS	Sistema de gestión para seguridad operacional
UTC	Tiempo Coordinado Universal
VFR	Reglas de Vuelo Visual
VMC	Condiciones Meteorológicas Visuales

SINOPSIS

Aeronave:	Cessna 172 SkyhawkII
Fecha y hora del Accidente:	15 de mayo de 2021, 07:00 HL
Lugar del Accidente:	Hacienda el Estanco municipio de Tenjo, Cundinamarca
Coordenadas:	N 04°50'5" – W 074°09'6"
Tipo de Operación:	Centro de Instrucción Aeronáutica
Personas a bordo:	2 Ocupantes (1 Piloto instructor, 1 Piloto alumno).

RESUMEN

El 15 de mayo de 2021 la aeronave HK4418G despegó de Guaymaral para cumplir un vuelo de entrenamiento doble comando, en la ruta Guaymaral – Ibagué – Barrancabermeja.

Cuando la aeronave sobrevolaba la población de Tenjo, de manera súbita la aeronave experimentó una pérdida sustancial de potencia. El Piloto Instructor efectuó varios intentos de re-encendido con resultados negativos, ante lo cual tomó la decisión efectuar un aterrizaje de emergencia en un campo no preparado.

El aterrizaje se realizó de manera controlada sobre el campo seleccionado, que resultó ser un cultivo de papa; sin embargo, después del contacto con el terreno la llanta del tren de nariz golpeó contra uno de los surcos del terreno, terminara invertida sobre el terreno. Una vez se detuvo la aeronave, los dos ocupantes abandonaron la aeronave por sus propios medios, sin sufrir lesiones. La aeronave terminó con daños sustanciales.

Como causas probables del accidente, la investigación determinó las siguientes:

Falla del motor originada por la fractura de la biela No. 3, que ocasionó una pérdida de potencia, y que imposibilitó que el avión permaneciera en vuelo.

Falla en el material de la superficie del muñón del cigüeñal, debido a ausencia parcial de la capa nitrurada, que ocasionó fisuras en la parte central del muñón y una inadecuada lubricación. Esta pérdida de material posiblemente ocurrió durante el proceso de rectificado después de la nitruración lo cual hizo que se redujera la resistencia a la fatiga.

Así mismo, como factores contribuyentes, la investigación encontró las siguientes:

Carencia de procedimientos de inspección y documentación técnica del explotador y del taller a cargo de realizar el mantenimiento de la aeronave, ya que no es posible conocer el tiempo de vida real de los componentes internos del motor.

Insuficientes procedimientos de inspección por parte del explotador, ya que no realizó auditorías a los talleres autorizados para realizar trabajos especiales en los motores.

Insuficientes procedimientos de control y calidad del explotador, ya que no se tiene registro y conocimiento real de la trazabilidad del motor, desde que perteneció a otro operador y hasta que fue recibido por el Centro de Instrucción.

Insuficientes procedimientos de inspección escritos en el Manual General de Mantenimiento del explotador, ya que no orientan al personal de control y calidad hacia una apropiada toma de decisiones durante los procesos de inspección y recibo de componentes.

1. INFORMACIÓN FACTUAL

1.1 Historia de vuelo

El 15 de mayo de 2021 la aeronave HK4418G fue programada para efectuar vuelos de entrenamiento desde el aeródromo de Guaymaral (OACI: SKGY). Este consistió en un vuelo doble comando, Instructor y Alumno, para efectuar entrenamiento correspondiente a la fase de Cruceros, en la ruta Guaymaral – Ibagué – Barrancabermeja.

Cumplidos los procedimientos de prevuelo, a las 06:40 HL la aeronave fue autorizada a rodar hasta la cabecera 11, en donde antes del despegue la tripulación ejecutó las correspondientes listas de chequeo y pruebas de motor verificando parámetros normales.

La ruta inicial autorizada fue GYM - CUESTA1A – ABL – IBG – EJA.

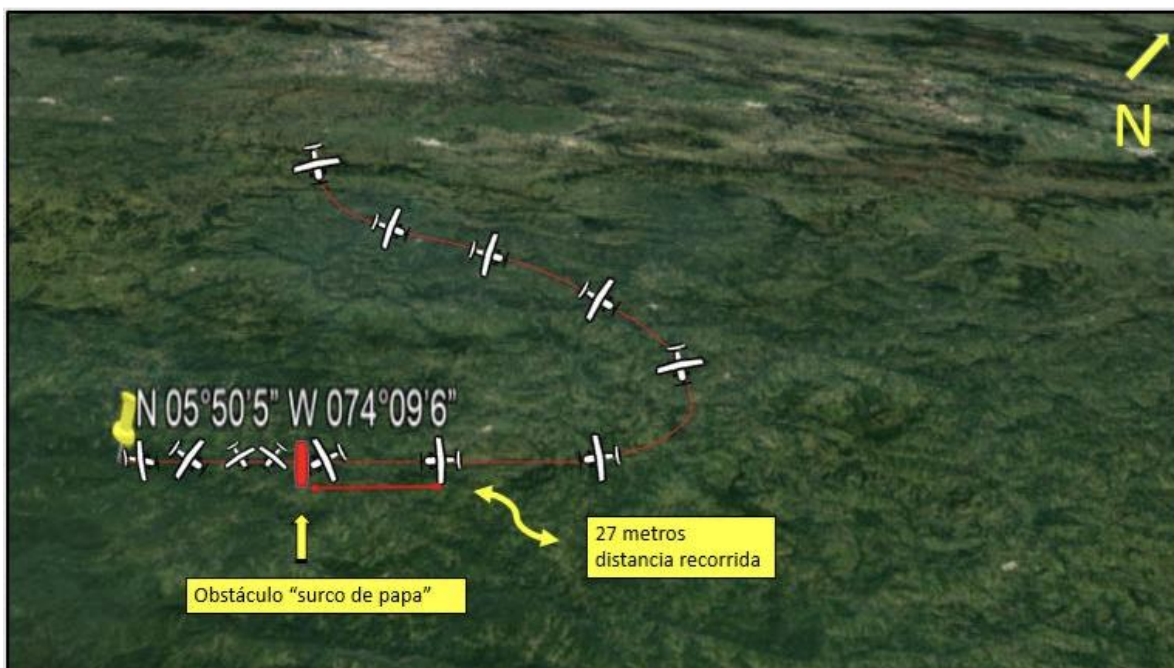
El avión despegó a las 06:45 h. De acuerdo con lo expresado por la tripulación el comportamiento del avión y del motor durante el despegue fueron normales, con indicaciones normales en todos los parámetros.

Una vez en el aire, la tripulación viró hacia la izquierda, para cumplir con la salida visual autorizada.

Cuando sobrevolaban la población de Tenjo, ubicada al NW del aeródromo de Guaymaral, con 10.000 ft de altura, de manera súbita la aeronave experimentó una pérdida sustancial de potencia, acompañada de fuerte ruido y alta vibración. El Piloto Instructor tomó el control de la aeronave e informó la situación a la Torre de Control de Guaymaral.



Gráfica No. 1: Trayectoria de la aeronave antes de la emergencia.



Gráfica No. 2: Aterrizaje controlado en campo no preparado.

El Piloto Instructor efectuó varios intentos de re-encendido al motor con resultados negativos; al calcular que por la altura de la aeronave y la distancia a Guaymaral no les era posible retornar a este aeródromo, tomó la decisión de buscar un campo no preparado para efectuar un aterrizaje de emergencia, y así lo informó a la Torre de Control de Guaymaral, quien alertó a los servicios de reacción del aeródromo.

El Piloto Instructor seleccionó un campo evidentemente plano y con el Alumno preparó la aeronave para realizar el aterrizaje de emergencia.

El aterrizaje se realizó de manera controlada sobre el campo seleccionado, que resultó ser un cultivo de papa; sin embargo, después del contacto con el terreno y haber recorrido aproximadamente 27 metros, la llanta del tren de nariz golpeó contra uno de los surcos del terreno, acción que hizo que la aeronave girara bruscamente sobre su eje trasversal, y que girara 180° (“capoteo”), terminando invertida sobre el terreno.

El Piloto Instructor y el Alumno apagaron todos los interruptores eléctricos y abandonaron la aeronave por sus propios medios, sin lesiones. Al notar que se presentaba un escape de combustible de los planos de la aeronave, los tripulantes decidieron tomar distancia a un lugar seguro; sin embargo, no se presentó fuego.

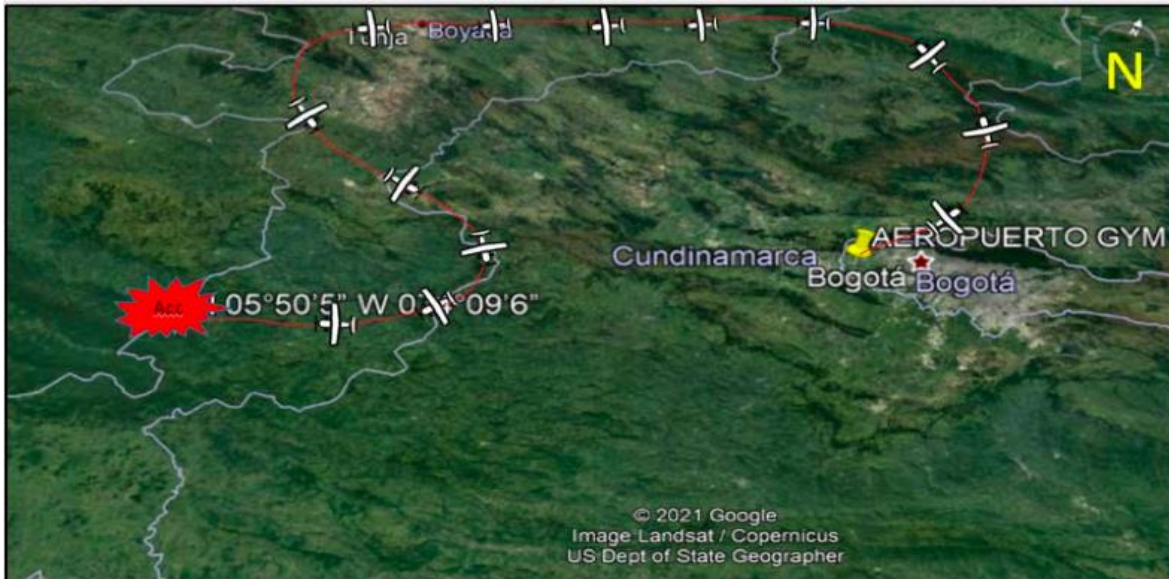
La aeronave terminó el cultivo señalado, en las coordenadas N 05°50'5" W 074°09'6", a una elevación de 2.569 m, con un rumbo final de 88°. El accidente ocurrió a las 06:54 h, en condiciones visuales.

El personal SEI (Servicio extinción de incendios) del aeródromo arribó al sitio del accidente 15 minutos después de recibir la información por parte de la Torre de Control.

La Autoridad de Investigación de Accidentes de Colombia (Grupo de Investigación de Accidentes – GRIAA) fue alertado del accidente por la Torre de Control de Guaymaral desde el momento en que el Piloto reportó la emergencia. Una vez se tuvo confirmación de la

ubicación de la aeronave, se organizó el desplazamiento de dos investigadores para efectuar la investigación de campo.

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 del avión Cessna 172.



Gráfica No. 3: trayectoria del aterrizaje de emergencia de la aeronave.



Gráfica No. 4: Aterrizaje controlado en campo no preparado.



Fotografía No. 1: Estado final de la aeronave.

1.2 Lesiones personales

Lesiones	Tripulación	Pasajeros	Total	Otros
Mortales	-	-	-	-
Graves	-	-	-	-
Leves	-	-	-	-
Ilesos	2	-	2	-
TOTAL	2	-	2	-

1.3 Daños sufridos por la aeronave

Como resultado de la desaceleración sustancial de la aeronave debido al giro sobre su eje transversal, la aeronave sufrió daños en toda su estructura, concentrados principalmente en la parte posterior del fuselaje con múltiples fracturas en largueros, formadores y deformación plástica crítica en la piel.

1.3.1 Motor y hélice

El motor permaneció anclado al soporte principal (bancada). La hélice permaneció sujeta al motor. Las palas de la hélice presentaron deformación leve hacia atrás en las puntas, acción que indicaba que el motor estaba girando al momento de golpear el terreno.



Fotografía No. 2: Daños sufridos por el motor y hélice.

Se comprobó que al hacer girar la hélice instalada en el motor, esta lo hacía libremente, lo cual no es normal en esta clase de motores, y que podía ser indicación de la presencia de un posible daño en los componentes internos del motor.

1.3.2 Fuselaje

Como consecuencia del golpe contra el terreno después del giro sobre su eje transversal ("capoteo"), la aeronave sufrió daños en el fuselaje. Las mayores concentraciones de esfuerzos producidos por la desaceleración se situaron sobre la parte trasera inferior del fuselaje con múltiples fracturas en largueros, formadores, y deformación plástica crítica en la piel, costados superior e inferior.



Fotografía No. 3: Daños en fuselaje central superior e inferior.

1.3.3 Plano izquierdo y derecho

El plano izquierdo tuvo fractura de la viga principal y de las costillas, y una evidente deformación plástica en la piel; sin embargo, el plano permaneció anclado a la estructura principal del avión.



Fotografía No. 4: Daños sustanciales plano izquierdo.

1.3.4 Estabilizador vertical

La aeronave sufrió deformación estructural en todo el estabilizador vertical, afectándose sustancialmente el timón de dirección, debido a las fracturas internas sobre los largueros de este componente.



Fotografía No. 5: Daños sustanciales estabilizador vertical.

1.4 Otros daños

Se presentaron afectaciones al cultivo de papa en un diámetro de 25 metros aproximadamente. Los daños fueron ocasionados por los múltiples golpes de la aeronave con el terreno y por escape de combustible del plano derecho después del impacto.

1.5 Información personal

1.5.1 Piloto Instructor

Edad:	67 años
Licencia:	Instructor de vuelo - Avión (IVA)
Certificado médico:	Categoría de primera
Equipos volados como Piloto:	Mono motores hasta 5700Kg
Último chequeo en el equipo:	11 de mayo de 2021
Total horas de vuelo:	25000 horas registradas
Total horas en el equipo:	15000 horas aprox.
Horas de vuelo últimos 90 días:	267:89 horas
Horas de vuelo últimos 30 días:	90:00 horas

Horas de vuelo últimos 03 días: 03:22 horas

Horas de vuelo últimas 24 horas: 01:36 horas

De acuerdo con la inspección a los documentos de entrenamiento básicos, recurrente, pro-ficiencia y certificado médico, el Piloto cumplía con los requisitos exigidos por el reglamento colombiano para mantener las habilitaciones de su licencia de vuelo.

El último repaso de tierra en el equipo Cessna 172 lo realizó el 3 de marzo de 2021, con una intensidad de 4 horas.

El día 8 de abril el Piloto realizó un entrenamiento de repaso en motores con una intensidad de 2 horas.

El 9 de abril de 2021, realizó un curso repaso en meteorología y aerodinámica con una intensidad de 2 horas.

El 14 de abril de 2021, el Piloto realizó repaso en procedimientos radiotelefónicos, con una intensidad 2 horas.

El 15 de abril de 2021, el Piloto realizó repaso en peso y balance, con una intensidad de 2 horas.

El 20 de abril de 2021, el Piloto realizó un repaso en navegación, con una intensidad de 3 horas.

El 27 de abril de 2021, el Piloto realizó un repaso en normatividad de los reglamentos aeronáuticos de Colombia, y transición a los Reglamentos aeronáuticos latinoamericanos LAR.

1.5.2 Piloto Alumno

Edad: 31 años

Licencia: Piloto Alumno (APA)

Certificado médico: Categoría de primera

Equipos volados como Piloto: Mono motores hasta 5700Kg

Último chequeo en el equipo: 11 de mayo de 2021

Total horas de vuelo: 152 horas registradas

Total horas en el equipo: 152 horas aprox.

Horas de vuelo últimos 90 días: 44:40 horas

Horas de vuelo últimos 30 días: 15:10 horas

Horas de vuelo últimos 03 días: 2:00 horas

Horas de vuelo últimas 24 horas: 00:00 horas

El certificado médico, del Piloto Alumno se encontró vigente y sin restricciones, además de los requisitos exigidos por el reglamento colombiano para mantener las habilitaciones de su licencia como Piloto Alumno.

Para el día del accidente el Alumno registraba 152 horas totales, y había cumplido normalmente el Programa de Entrenamiento aprobado para el Centro de Instrucción.

Había efectuado 43 horas de entrenamiento en entrenador estático.

1.6 Información sobre la aeronave y el mantenimiento

Marca:	Cessna
Modelo:	172N Skyhawk
Serie:	17272642
Matrícula:	HK-4418G
Certificado aeronavegabilidad:	0004347
Certificado de matrícula:	R0008949
Fecha de fabricación:	1996
Fecha último servicio:	Mayo de 2021, servicio de 200 horas.
Total horas de vuelo:	19972:42 horas.
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 hacía utilizando el número de horas voladas.

De acuerdo con la inspección que se realizó a los documentos de mantenimiento, se encontró que, para el 14 de mayo de 2021, se le realizó un servicio de 200 horas al avión, ejecutado por el equipo de mantenimiento de el Centro de Instrucción.

Para el mantenimiento de las aeronaves, el Centro de Instrucción cuenta con una organización contratada, autorizada y aprobada por autoridad de aviación civil de Colombia.

Se encontró que el Grupo de Mantenimiento que realizó el servicio a la aeronave contaba con el entrenamiento básico, recurrente y adoctrinamiento en el equipo y sus licencias vigentes, cumpliendo con las atribuciones de las mismas para el momento del accidente.

Dentro de las acciones de mantenimiento realizadas a la aeronave, se identificó el cumplimiento los siguientes trabajos de mantenimiento, el 14 de mayo de 2021, durante un servicio de 200 horas:

- **Fuselaje exterior:** Inspección por daños en la piel, remaches flojos, condición general de la pintura, chequeo a orificios de drenajes de las tomas estáticas.
- **Fuselaje interior:** Inspección por condición a mamparos, montantes de las puertas. Vigas por dobladuras, corrosión, fracturas, deformaciones, pernos y tuercas sueltas.
- **Antenas y cables:** Inspección por condición seguridad de sujeción, correcto enrutamiento e instalación de cables.

- **Soportes amortiguadores del panel de instrumentos:** Inspección a las masas de tierra y coberturas por correcta instalación, deterioro, posibles fracturas, y seguridad en la sujeción.
- **Ventanas, parabrisas, puertas y sellos:** Chequeo por condición general y seguridad.
- **Columna de control:** Inspección a las poleas, cables, ruedas dentadas, balineras, cadenas, amortiguadores auxiliares y barriletes por condición y seguridad.
- **Inspección a planos y empenaje:** Se inspecciono superficies y puntas de plano, montantes, estructura general de los planos, Vigas, montantes y conexiones de los planos, estructura del estabilizador horizontal, vertical y cono de cola; por condición en general, correcta instalación, posible corrosión y fracturas en puntos esenciales de la estructura.
- **Inspección a trenes de aterrizajes y frenos:** Se inspecciono cilindros maestros de los frenos, estructural tubular del tren principal, líneas de freno cilindros de rueda, mangueras abrazaderas, conexiones, tren de nariz, mecanismo de dirección, por condición general, posible corrosión, correcta instalación, escapes de fluidos, y daños ocultos sobre la estructura de los trenes.

1.6.1 Motor

Marca:	Lycoming
Modelo:	O-320-H2AD
Serie:	RL7757-76T
Total horas de vuelo:	2642:48 horas
Total ciclos de vuelo:	Desconocidos
Total horas D.U.R.G:	751:18 horas
Fecha último servicio:	14 de mayo de 2021

Los ciclos del motor son desconocidos, ya por el tipo de operación y registros de mantenimiento, el control de vida del motor y sus componentes se hizo utilizando el número de horas voladas.

En la inspección a los documentos de mantenimiento, se encontró que el 14 de mayo de 2021, se le realizó un servicio de 200 horas, en donde se cumplieron los siguientes trabajos de mantenimiento:

- **Cubiertas:** Inspección por roturas, abolladuras, y otros daños, seguridad e integridad a los pasadores del montante.
- **Motor:** Inspección por evidencia de escape de aceite o combustible del motor.
- **Motor y controles:** Se chequeó por condición general, libre movimiento, fricción, desgaste de los controles en todo su recorrido.
- **Estructura y pared de fuego:** Inspección por abolladuras, daños, fracturas, remaches cortados.

- **Caja aire de inducción:** Se inspeccionaron las válvulas, puertas y controles por correcta instalación y ajuste. Inspección por desgaste y seguridad.
- **Arranque, solenoide de arranque y conexiones:** Inspección por condición a las escobillas del arranque, Inspección visual a las conexiones eléctricas por correcta instalación y enrutamiento.
- **Bomba de combustible:** Chequeo a la integridad de la bomba, uniones por correcta sujeción.
- **Carter, sumidero de aceite y sección de accesorios:** Inspección por fracturas en las líneas de aceite y escapes, inspección a los pernos y tuercas por correcta instalación. Inspección por obstrucción al respiradero del cárter de aceite.
- **Aceite de motor con filtro:** Se drenó el sumidero y radiador de aceite del motor, para inspección visual de limallas dentro del sistema.

El 15 de mayo de 2021, con orden de trabajo 2021-113, se realizó un cambio de filtro de succión de aceite, de acuerdo con el manual de mantenimiento del motor.

El día 16 de mayo de 2021, se realizó una prueba a los cilindros del motor por compresión, arrojando los siguientes resultados:

Para el cilindro No.1	Presión total 80psi de acuerdo a manual. Indicación con equipo especial 74 psi. Pérdida total 6 psi.
Para el cilindro No2.	Presión total 80psi de acuerdo a manual. Indicación con equipo especial 78 psi. Pérdida total 2 psi.
Para el cilindro No.3	Presión total 80psi de acuerdo a manual. Indicación con equipo especial 78 psi. Pérdida total 2 psi.
Para el cilindro No. 4	Presión total 80psi de acuerdo a manual. Indicación con equipo especial 76 psi. Pérdida total 4 psi.

El 29 de diciembre de 2020, se dio cumplimiento al Boletín de Servicio SB388C, el cual fue realizado en el taller reparador de motores en Colombia, debidamente autorizado por la autoridad de aviación civil de Colombia. En este se realizó una toma de medidas a las guías de escape del motor que se encontraron dentro de límites de acuerdo con el SB388C; sin embargo, fue necesario realizar un procedimiento de rimado y pulimiento a las guías de los 4 cilindros, utilizando una herramienta especial aprobada por el fabricante.

Dentro del procedimiento de inspección a los documentos del motor se encontró que, en el año 2018, se le realizó un overhaul, al motor Lycoming con S/N RL7757-76T, en un taller

ubicado en los Estados Unidos; sin embargo, para ese año, el motor no era de propiedad del Centro de Instrucción.

1.6.2 Hélice

Marca:	McCauley.
Modelo:	1C160/DTM7557
Serie:	79822
Total horas de vuelo:	3203:12 horas
Total ciclos de vuelo:	Desconocidos
Total horas DURG:	1476:18 horas
Fecha último servicio:	14 de mayo de 2021

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

En la inspección que se realizó a los documentos de mantenimiento, se encontró que el 14 de mayo de 2021, se le realizó el cumplimiento de un servicio de 200 horas, en donde se cumplieron los siguientes trabajos de mantenimiento:

- Se chequeó el montante de la hélice por seguridad y correcta instalación.
- Inspección por fracturas, picaduras, abolladuras, ralladuras, erosión, corrosión u otros daños.
- Inspección a los pernos del spinner, por seguridad, y correcta instalación.

Durante la inspección a los registros de mantenimiento como el libro de vuelo no encontró un reporte relacionado con un mal funcionamiento del motor o sus accesorios en los últimos 2 meses que tuvieran relación con la naturaleza del accidente.

1.6.3 Trazabilidad de los trabajos de mantenimiento efectuados al motor

La investigación encontró que en el año 2017 el motor Lycoming, Modelo O-320-H2AD, con número de serie RL7757-76T, se encontraba operando en aeronaves de una empresa ubicada en la república de Panamá.

Desde allí, el motor fue enviado, en el año 2017, a un taller reparador en los Estados Unidos, en donde se le efectuó una reparación mayor, “overhaul”.

No se encontró documentación alguna en la que constara que se haya efectuado alguna inspección por parte del Centro de Instrucción o por el Operador Panameño al taller reparador de los Estados Unidos, que permitiese verificar, entre otras cosas, la idoneidad del taller norteamericano para realizar el overhaul del motor.

El citado motor regresó al operador ubicado en Panamá a comienzos del año 2018, en donde estuvo operando hasta finales del 2019.

A finales del 2019, el motor fue enviado a Colombia, al Centro de Instrucción, empresa que efectuó todos los trámites legales de entrada al país.

No obstante, cuando se dio ingreso al motor al Almacén de Componentes del Centro de Instrucción, no se solicitaron los documentos necesarios para legalizar en su totalidad el ingreso del dicho componente. No se encontró el formato que tiene la empresa para realizar auditorías a los proveedores de servicio. Tampoco se encontraron documentos de la última reparación del motor; y tampoco se encontró un formato de trazabilidad del motor que fuese claro.

Fue así como la investigación encontró que el contenido del documento que indicaba la trazabilidad del motor no era claro sobre los trabajos de Overhaul realizados al motor en el taller de Estados Unidos. Adicionalmente, en los documentos constaban reparaciones al cigüeñal del motor, no obstante que el fabricante no permitía ningún tipo de reparación sobre este componente.

1.6.4 Vigilancia de las actividades contratadas

El Manual de Procedimientos de Mantenimiento del Centro de Instrucción dispone la realización de auditorías que deben realizarse a talleres u otro proveedor de servicios, antes de contratar con ellos cualquier trabajo de mantenimiento que pueda causar afectación a los productos aeronáuticos; sin embargo estas auditorías, para el caso del overhaul del motor del HK4418G, no fueron realizadas por el Centro de Instrucción, acción que debió cumplir el Grupo de Control Calidad o ingeniería.

Los trabajos mayores cumplidos al motor overhaul, no fueron auditados, ni controlados por personal del Centro de Instrucción; adicionalmente, en los documentos del overhaul realizado al motor, se encontró un ítem relacionado con la reparación del cigüeñal, acción que fue cumplida por un taller ajeno al contratado inicialmente, sin que, evidentemente, se hubiera realizado supervisión alguna sobre esa instalación de reparación.

1.6.5 Control de calidad sobre el mantenimiento propio

Se determinó que el Centro de Instrucción no tenía un control calidad sobre las acciones de mantenimiento propias, teniendo en cuenta que no tiene mantenimiento propio. Todos los servicios de mantenimiento realizados a las aeronaves del Centro de Instrucción son cumplidos por un taller contratado por el Centro de Instrucción.

1.7 Información Meteorológica

Las condiciones meteorológicas eran visuales y no fueron factores contribuyentes para el accidente.

1.8 Ayudas para la Navegación

No aplicable.

1.9 Comunicaciones

El Piloto mantuvo comunicaciones todo el tiempo con la torre de control; la información en ambos sentidos fue precisa y clara.

1.10 Información del Aeródromo

La aeronave despegó del Aeródromo de Guaymaral. No obstante el accidente ocurrió por fuera de esta instalación aeronáutica. No hubo injerencia del aeródromo en el suceso. se ubicado en la coordenada ARP: 04 48 45,00 N 074 03 54,30 W

1.11 Registradores de Vuelo

La aeronave, no tenía instalados sistemas de grabación de datos o de voz.

1.12 Información de impacto y los restos de la aeronave

La aeronave fue aterrizada de manera controlada, después de efectuar un adecuado planeo, con baja velocidad y bajo ángulo; después de aterrizar y haber recorrido aproximadamente 28 m, el tren de aterrizaje colisionó con un desnivel del terreno (surco del sembradío) obstáculo que hizo que la aeronave girara sobre su eje transversal provocando su volcamiento, quedando en posición completamente invertida.

El golpe de la aeronave al caer invertida contra el terreno afectó sustancialmente la estructura del fuselaje, comprometiendo el rendimiento estructural en sus componentes principales largueros, formadores y piel.

La hélice y el motor permanecieron anclados al soporte principal (bancada). Las palas de la hélice presentaron deformación leve hacia atrás en las puntas, acción que indicaba que el motor estaba girando con pocas revoluciones al momento de golpear el terreno.

Durante la desaceleración y movimientos laterales el plano izquierdo sufrió una deformación y múltiples fracturas, comprometiendo costillas, larguerillos, y vigas principales. La aeronave sufrió deformación estructural en el estabilizador vertical, afectándose sustancialmente el timón de dirección, debido a las fracturas internas sobre sus largueros.

La aeronave se detuvo en las coordenadas N 04°50'5" – W 074°09'6", una elevación de 2.569 m, con un rumbo final de 88°.



Fotografía No. 6: Posición final de la aeronave HK4418G.

Luego de haberse terminado la inspección de campo, la aeronave, hélice y motor fueron removidos del sitio del accidente, siendo ubicados en los hangares del Centro de Instrucción sobre una zona segura, quedando en custodia de la Autoridad AIG.

1.13 Información medico patológica

No se encontraron antecedentes médico - patológicos en los tripulantes, que hubieran podido incidir en el accidente.

1.14 Aspectos de supervivencia

La aeronave volaba la población de Tenjo, ubicada al NW del aeródromo de Guaymaral a una altura de 10.000 ft, cuando experimentó la pérdida sustancial de potencia, situación que fue informada por el Piloto a la Torre de Control de Guaymaral.

Cuando los procedimientos para solucionar la emergencia resultaron infructuosos, el Piloto tomó la decisión de efectuar un aterrizaje de emergencia en un campo no preparado, y así lo informó a la Torre de Control quien alertó a los servicios de reacción del aeródromo.

Siendo las 6:52 HL, los servicios de Extinción de Incendios SEI y de Búsqueda y Salvamento SAR, fueron informados por el Controlador de turno de la emergencia reportada por el HK-4418G.

Sobre las 7:00 HL el Grupo SEI, realizó un llamado a la Torre de Control, confirmando la ubicación de la aeronave HK-4418G, accidentada en un cultivo de papa, ubicado cerca de la población de Tenjo.

Una vez que el Grupo SEI llegó a sitio de ubicación de la aeronave, informó a la Torre de Control de la condición de la tripulación, la cual había abandonado la aeronave, por sus propios medios e ilesa.

El Centro de Instrucción inmediatamente reaccionó tan pronto fue notificado por la Torre de Control y dispuso de un grupo de reacción para llegar al sitio de la aeronave; los dos tripulantes fueron llevados a un centro médico cercano para realizarle una valoración física y las pruebas toxicológicas.

1.15 Ensayos e investigaciones

Teniendo en cuenta la naturaleza del suceso, y con base en los hallazgos iniciales encontrados en el trabajo de campo (libre movimiento -inusual en el motor-, acompañado de sonidos no propios de un motor en buenas condiciones) se determinó realizar inspecciones especializadas al motor y a sus accesorios en un taller autorizado y aprobado por la Aeronáutica Civil de Colombia.

Para la inspección visual al motor Lycoming Modelo O-320-H2AD, con número de serie RL7757-76T se siguieron con los pasos dados por el manual del fabricante del motor para su desensamble total.

Se inició con una inspección exterior del motor por golpes, fracturas o partes faltantes, encontrándose en buenas condiciones.



Fotografía No. 7: Motor Lycoming soportado en banco de inspección.

Se removieron las bujías superiores e inferiores de cada cilindro, las cuales fueron inspeccionadas por condición y funcionamiento, utilizando un banco de prueba, en donde se logró evidenciar el buen funcionamiento de cada bujía.

Seguidamente, se realizó una prueba de rotación del motor para verificar si existía alguna obstrucción del cigüeñal, situación que no se presentó ya que el motor giró libremente; sin embargo, se detectó un sonido inusual en la parte interna del motor.

Se removieron las láminas deflectoras, que protegen el motor de los tubos de gases de salida del motor, toma de aire y carburador, sin encontrar daños.

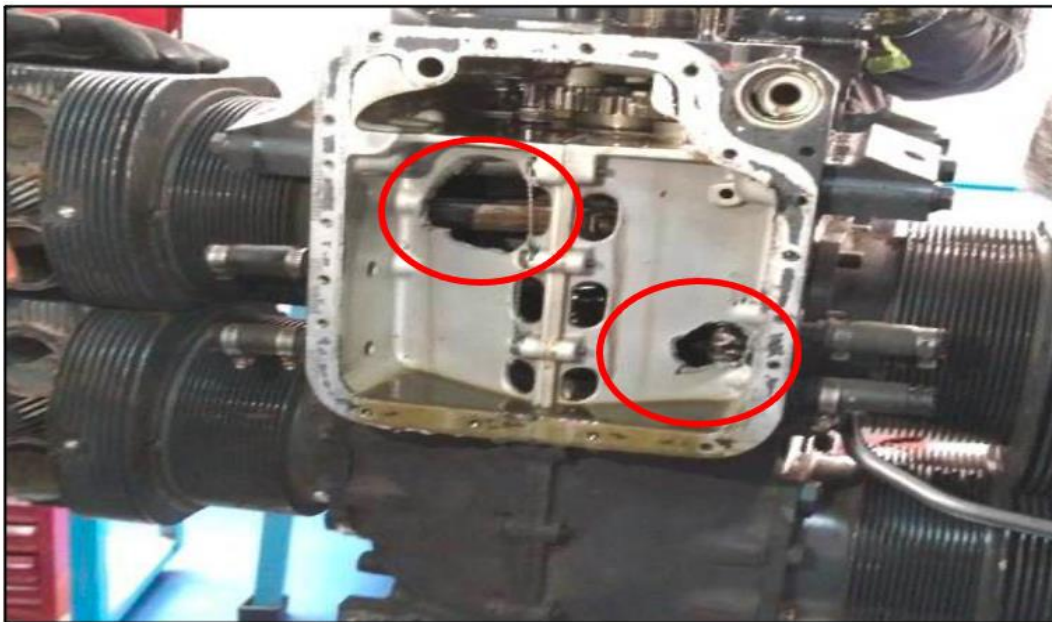
Se removieron los accesorios del motor, (bomba de aceite, bomba de combustible, carburador) hasta llegar a los magnetos; una vez removidos del "housing" se encontraron partículas metálicas, que no pertenecían a los magnetos, ni tampoco a la caja de accesorios.

Ante este hallazgo se decidió remover el filtro principal de aceite, en donde se encontraron partículas metálicas mucho más grandes y abundantes, condición que no es normal dentro del sistema de aceite, condición que llevó a seguir profundizando en la inspección para encontrar el metal fracturado y su ubicación.

Una vez removida la mayoría de los accesorios del motor, se logró remover la tapa del cárter de aceite (parte baja del motor); allí se encontró fracturada parte del cárter de potencia del motor que corresponde al sumidero de aceite de ambas caras.



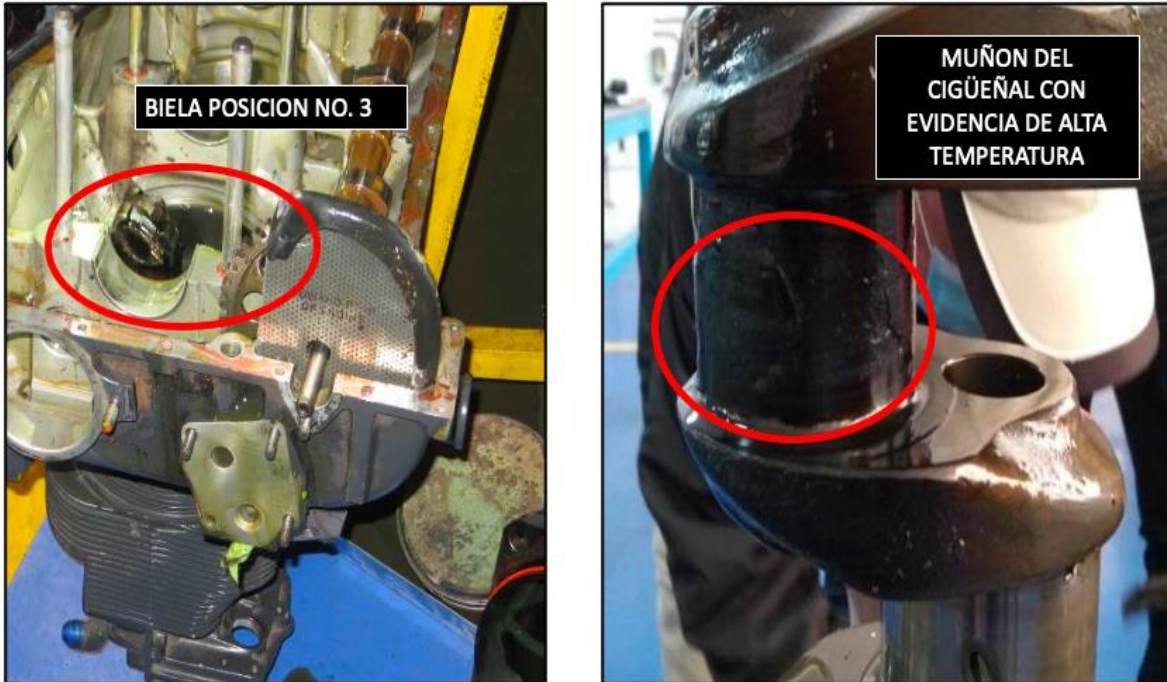
Fotografía No. 8: Filtro de aceite del motor con presencia de limallas.



Fotografía No. 9: Cáster de aceite fracturado.

Durante la remoción de los cilindros No. 1, 2, 4, no se evidenciaron daños; sin embargo, cuando se observó la parte interior del motor, se identificó que la biela ubicada en la posición No. 3, estaba suelta, debido a una fractura en su parte inferior; adicionalmente, se evidenció una decoloración en el material, como evidencia de que el motor había soportado altas temperaturas.

Por los daños encontrados en la biela del cilindro No. 3, fue muy difícil separar el cilindro No. 3, y esto hizo aún más complicado la separación del pistón con el cilindro. Para lograr esta separación se hizo necesario golpear desde el interior la falda del cilindro, para poder extraer el pistón.



Fotografía No. 10: Muñón y biela No. 3 con evidentes daños.



Fotografía No. 11: Daños en cilindro y pistón por sobre temperatura.

En el pistón se encontraron las marcas dejadas por el movimiento de las válvulas de admisión y escape, como indicación de que el motor continuó operando después de la fractura, y que el pistón alcanzó a pasar del punto muerto superior (PMS), maltratando la cámara de combustión; por este motivo, las válvulas alcanzaron a impactar con el pistón.



Fotografía No. 12: Marcas dejadas por las válvulas en la cabeza del pisto.

Al desensamblar la biela se encontró que el pasador que une la biela con el pistón sufrió alta temperatura; sin embargo, no había señal de deformación de este, aunque se encontraron ralladuras profundas resultantes de la fracción entre los componentes.



Fotografía No. 13: Marcas dejadas por rozamiento y alta temperatura.

El muñón número 3 del cigüeñal y su correspondiente biela estuvieron sometidos a alta temperatura, y en consecuencia la biela sufrió una fractura frágil separándose del cigüeñal, liberando limalla y afectando el ciclo normal del motor causando una pérdida de potencia. Así mismo, el pistón fue empujado al punto muerto superior, situación que no puede darse en una operación normal.

Sin embargo no es probable que la falla haya comenzado en este punto del cilindro, si no que comenzara desde el muñón.

1.15.1 Análisis de falla al material del cigüeñal, de las bielas y del muñón

El objetivo del análisis del cigüeñal, biela, y muñón, del motor Lycoming, Modelo O-320-H2AD, con número de serie: RL7757-76T, fue establecer los factores contribuyentes a la falla, durante la operación, el mantenimiento, considerando el medio ambiente de operación o fallas en el diseño o en la fabricación.



Fotografía No. 14: Análisis a partes afectados del motor, Modelo O-320-H2AD.

El cigüeñal fue sometido a los siguientes análisis:

- Fractografía
- Micro-fractografía(SEM)
- Toma de dureza.
- Toma de micro dureza
- Composición química del material
- Análisis metalográfico
- Análisis de resultados y concepto de fallas

1.15.2 Evidencia encontrada en la inspección en campo

En el Informe Preliminar de accidente COL-21-28-GIA se indica que: “Durante la inspección al motor efectuada en campo, se encontró una fractura sobre la biela ubicado en la posición 3”.

1.15.1 Árbol de Hipótesis

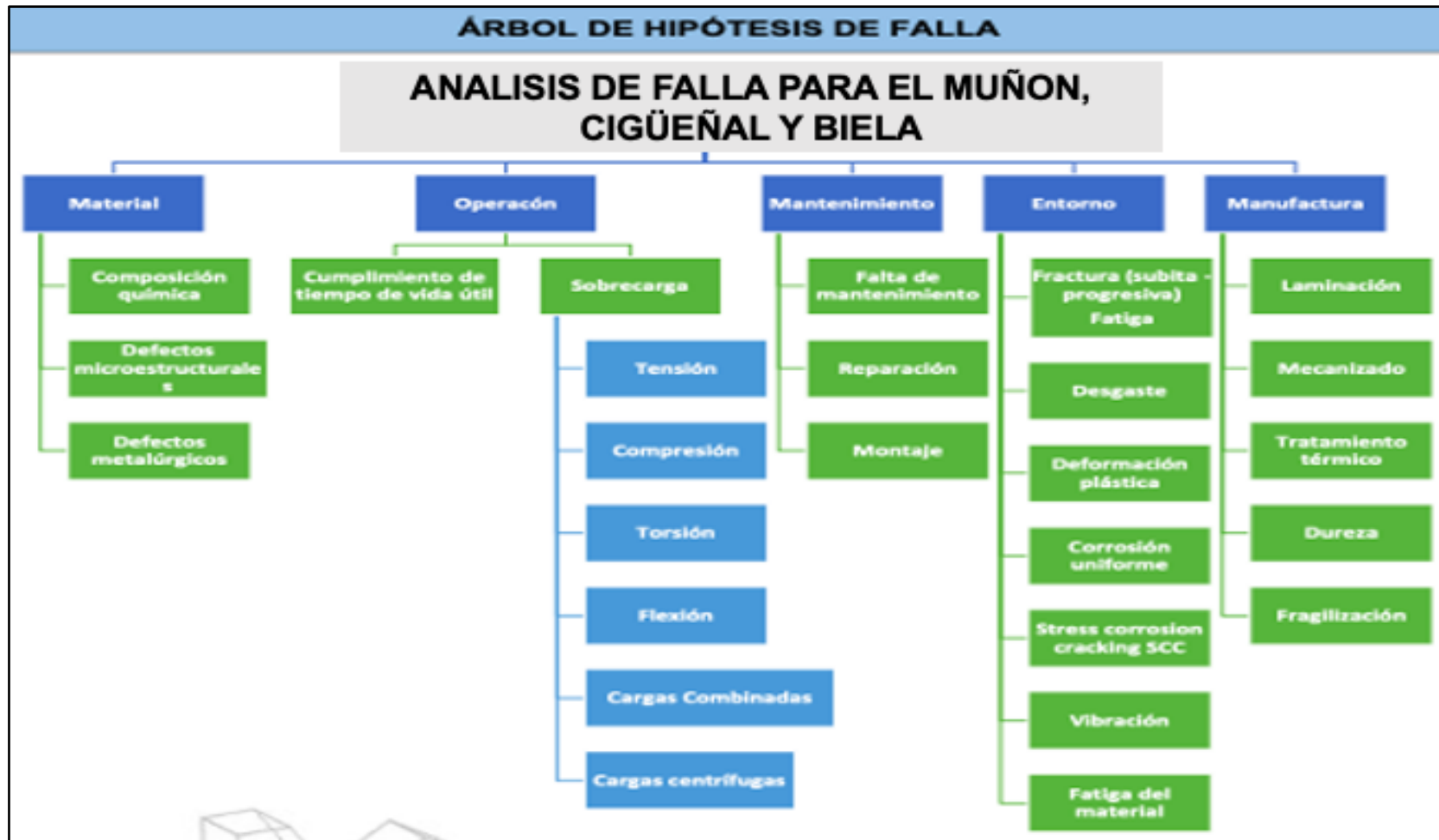


Figura No. 1: Árbol de hipótesis.

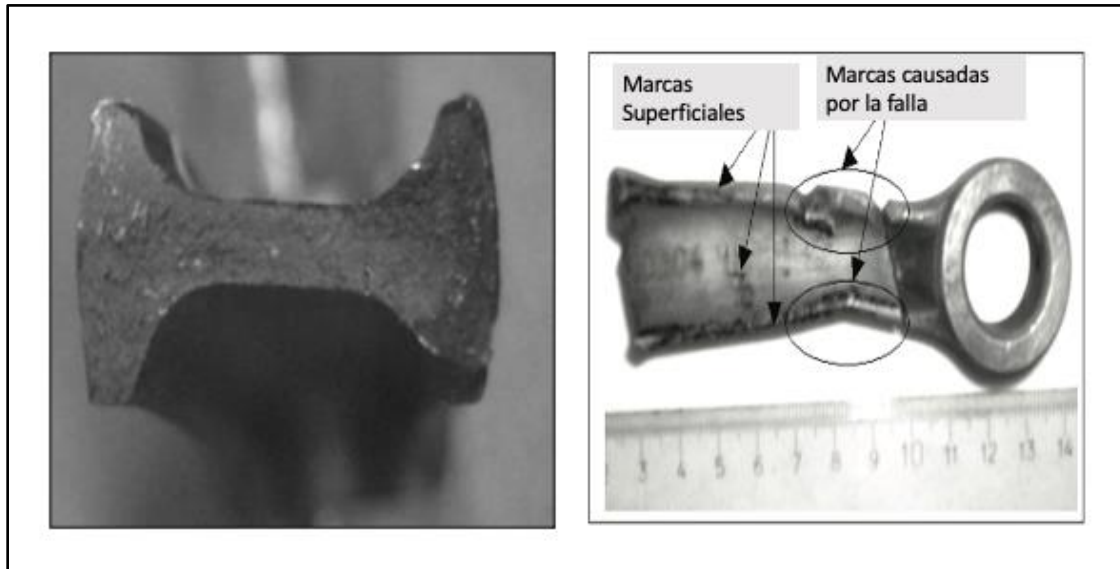
1.15.2 Análisis de falla de la biela



Fotografía No. 15: Fractura frágil biela No.3.



Fotografía No. 16: Partes de biela del motor combustión interna.

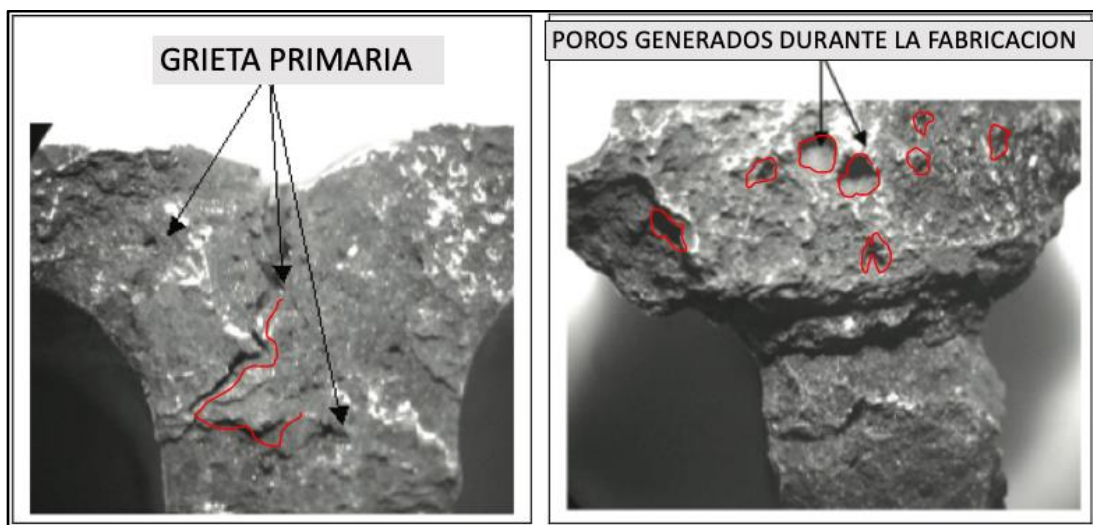


Fotografía No. 17: identificación de inicio de fractura.

Se efectuó un análisis macroscópico de la biela, utilizando la vista frontal y la vista lateral del elemento mecánico. En este estudio preliminar se pudieron evidenciar algunos defectos superficiales típicos de este tipo de piezas, originados en el proceso de fabricación, y marcas ocasionadas por golpes en la pieza en el momento de la falla. En ambas figuras se puede apreciar claramente una marca en forma de cuña justo en la fractura de la biela.

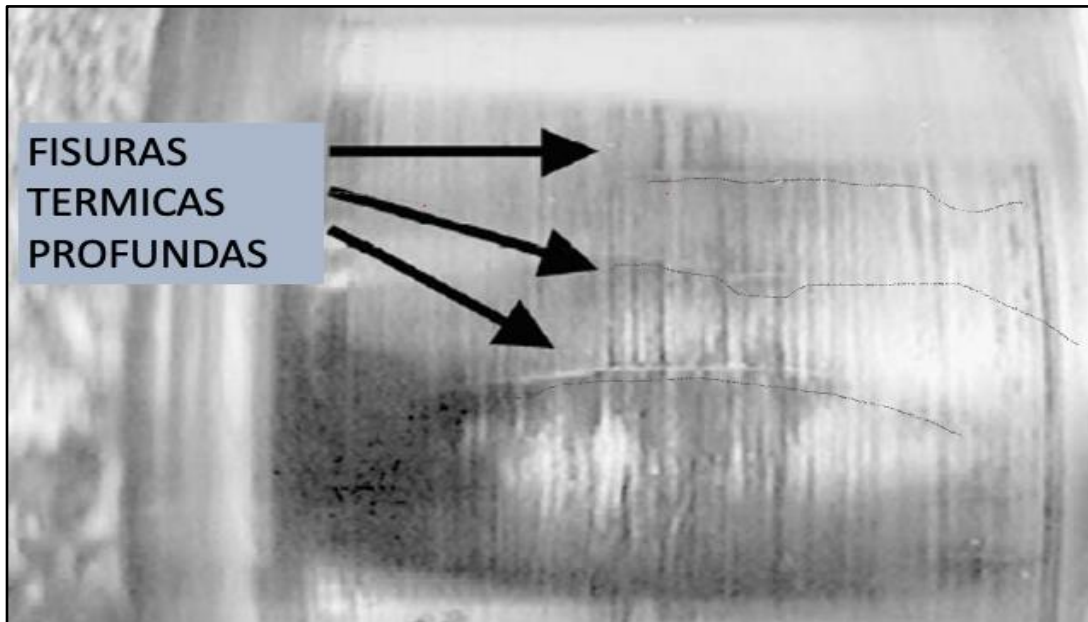
1.15.3 Análisis fractográfico y metalográfico

Las superficies de fractura se analizaron en el microscopio estereoscópico, y se encontró la superficie de falla de la sección 1; la apariencia es de fractura frágil, es decir, perpendicular a la carga aplicada, y sin deformación plástica macroscópica. Además se pueden ver poros macroscópicos y una grieta profunda. Además se registró la superficie de falla de la sección 2; con la apariencia típica de fractura dúctil (con deformación plástica) y presenta poros originados en el proceso de fabricación.



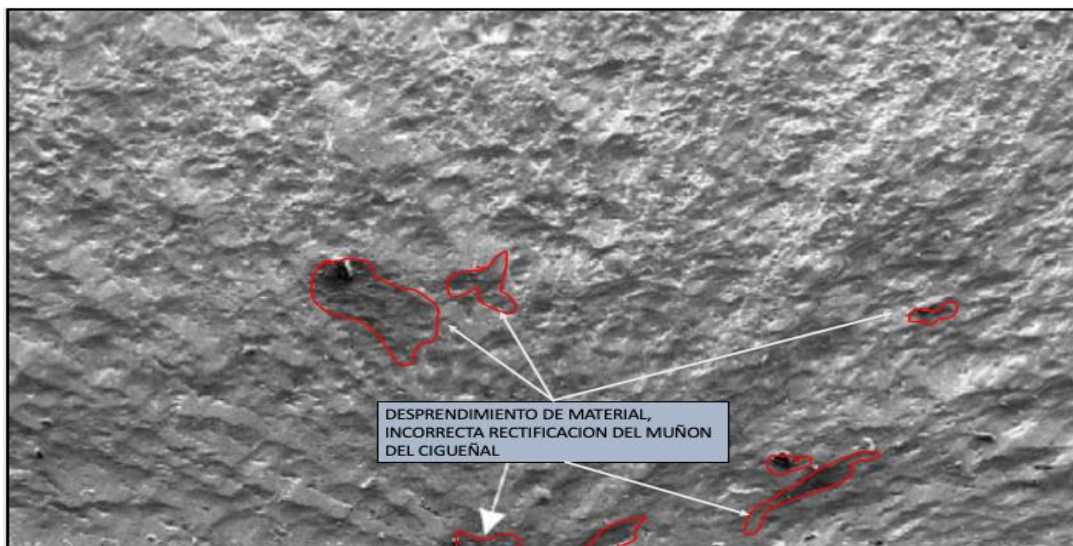
Fotografía No. 18: Tipos de fracturas y deformación microscópica.

Al utilizar equipos especializados de visualización en el laboratorio, se encontró excesiva profundidad de corte en la superficie de los muñones; (marcas resultantes por inadecuada lubricación durante el funcionamiento del motor). Se generaron fisuras en el material del muñón ubicadas en la parte central.



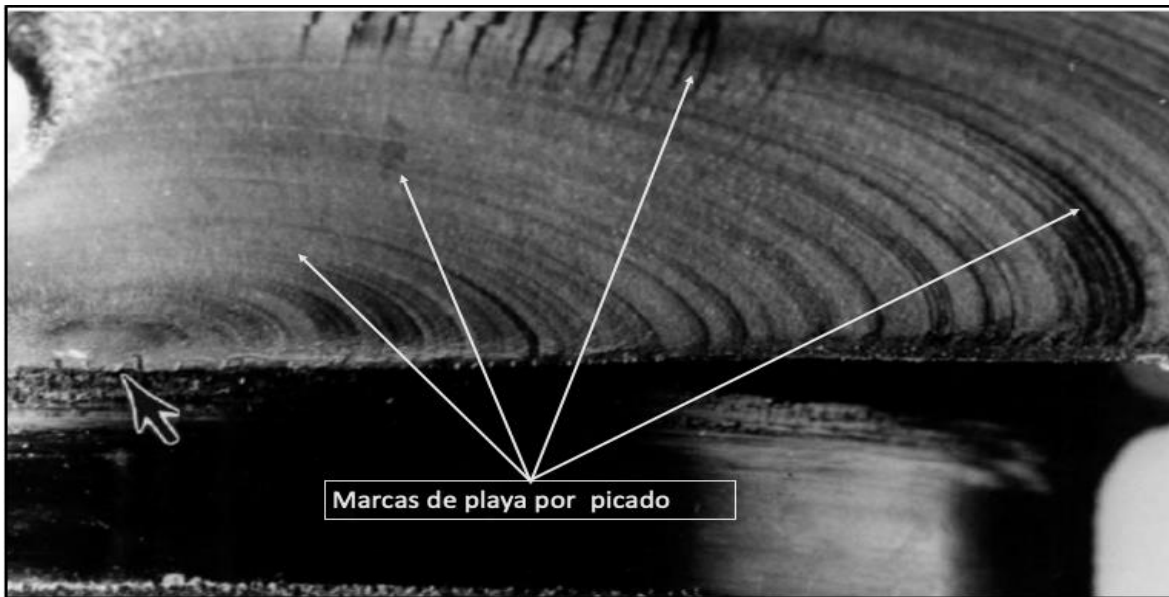
Fotografía No. 19: Fisuras encontradas sobre el muñón del cigüeñal.

Se encontró que la falla en el muñón del cigüeñal analizado se debió a la ausencia parcial de la capa nitrurada (debido a un sobre rectificando después de la nitruración), lo cual hace que se reduzca la resistencia a la fatiga dejando una región débil para que se propague la fractura prematura por fatiga y permita desprendimiento y acumulación de material en la zona de movimiento durante la operación cíclica del motor.



Fotografía No. 20: Desprendimiento de material por incorrecta rectificación.

En este caso, los esfuerzos de contacto se presentaron a causa de la fricción (debido al taponamiento del ducto de lubricación del cojinete, como consecuencia del material perdido por un incorrecto procedimiento de rectificación, perdiendo capa nitrada).



Fotografía No. 21: Desprendimiento de material por incorrecta rectificación.

Se observan marcas de playa originadas por picado, desprendimiento de material y fisuras, ocurridas después de muchas repeticiones de carga y debido a la falta de lubricación.

El análisis de falla del cigüeñal que se realizó se ha reportado en trabajos previos, ya que habitualmente la falla se presenta por: ensamble inadecuado, fatiga de contacto, pequeños radios de los filetes, incorrecto maquinado y rectificado.

Por tal motivo es un caso particular, que es conveniente conocer para evitar que esta falla se presente en cigüeñales y en otros componentes mecánicos; se debe tener en cuenta que el cigüeñal instalado en el motor Lycoming Modelo O-320-H2AD, con número de serie: RL7757-76T, no alcanzó a las 200 horas de operación, después de su último overhaul.

1.15.4 Toma de dureza para el material del cilindro

Utilizando como referencia el método de Brinell, se logró identificar la dureza del material, con el fin de calcular los esfuerzos mecánicos capaces de soportar el material del cigüeñal, biela, y muñón; adicionalmente, permite observar los límites de elasticidad, plasticidad y resistencia mecánica.

Los datos obtenidos fueron los siguientes:

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

PROPIEDADES MECÁNICAS					
	Fuerza de rendimiento Rp0.2, MPa	Fuerza de tensión Rm, MPa	Elongación [%]	Dureza [HRC]	Impacto, Charpy-V, -32°C [J]
60 ksi	≥ 414	≥ 586	≥ 18	22 MAX	≥ 42
75 ksi	≥ 517	≥ 655	≥ 17	22 MAX	≥ 42

Tabla No. 1. Datos dureza Brinell propiedades mecánicas.

1.15.5 Composición química del material

COMPOSICIÓN QUÍMICA ACERO CROMO MOLIBDENO NIQUEL							
Peso	C	Si	Mn	Cr	Mo	S	P
Min.	0,28	0,15	0,40	0,80	0,15		
Max.	0,33	0,35	0,60	1,10	0,25	0,035	0,025

Tabla No. 2. Composición química del material aleado.

El brazo de biela es uno de los primeros elementos que absorbe la energía mecánica, por lo cual necesita de estabilidad mecánica para obtener dicha resistencia; las bielas para los motores de aviación son fabricadas generalmente de aceros templados, estos son, aceros semiduros y aceros aleados.

Para este caso de estudio, las bielas están constituidas de acero al carbono, aleado con níquel y cromo, ya que este tipo de biela es la más común en la industria de motores aeronáuticos. El brazo de biela soporta altas cargas compresivas; por ello el elemento que ayuda a cumplir con las exigencias de trabajo es el cromo cuya propiedad mecánica es aumentar la dureza y dar un alto grado de resistencia al calor en el proceso cíclico térmico del motor, además de dar una mejora en la templabilidad y alta resistencia al desgaste.

Otro de los componentes constitutivos en el brazo de biela es el níquel que aleado con el acero permite obtener alta tenacidad en la biela, pero cuya desventaja sería la fragilidad de Krupp, que a temperaturas entre 450 y 550°C, tiene como consecuencia la disminución de la tenacidad provocando fragilidad en el brazo de biela.

Por tal motivo la aleación está conformada de otro componente como el molibdeno, cuya propiedad mecánica ayuda a disminuir dicha fragilidad y a soportar las temperaturas generadas en el proceso del motor.

El material del cigüeñal, del muñón y de la biela es una aleación de acero al carbón, molibdeno, níquel y cromo. La espectrometría por fluorescencia de rayos X, permitió comparar las características de este material como equivalentes a las características de una fundición de acero, tomando como referencia el “Metal Handbook”.

1.16 Información sobre la organización

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

Durante la investigación se determinó que el Centro de Instrucción contaba con manuales de operación propios y realiza su operación con base en los manuales del fabricante, POH y los manuales de instrucción propios del Centro de Instrucción aeronáutica.

Se encontró que el Centro de Instrucción Aeronáutica cumple con un programa de mantenimiento a sus aeronaves, mediante la contratación 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 seguridad operacional por parte del Centro de Instrucción, enfocado al mejoramiento de la operación e instrucción y mantenimiento de sus aeronaves.

El Centro de Instrucción posee SOPs (Procedimientos estándares de Operación) enfocados al cumplimiento estricto de procedimientos estándares, alineados con la norma aeronáutica para la instrucción y formación de personal aeronáutico.

Dentro del proceso investigativo de evidenció que el Gerente general y representante legal del Centro de Instrucción, son la misma persona para el taller de mantenimiento aprobado, quien realiza los servicios de mantenimiento a las aeronaves del Centro de Instrucción. Aclarando que son dos entidades diferentes, ante la autoridad de aviación civil de Colombia.

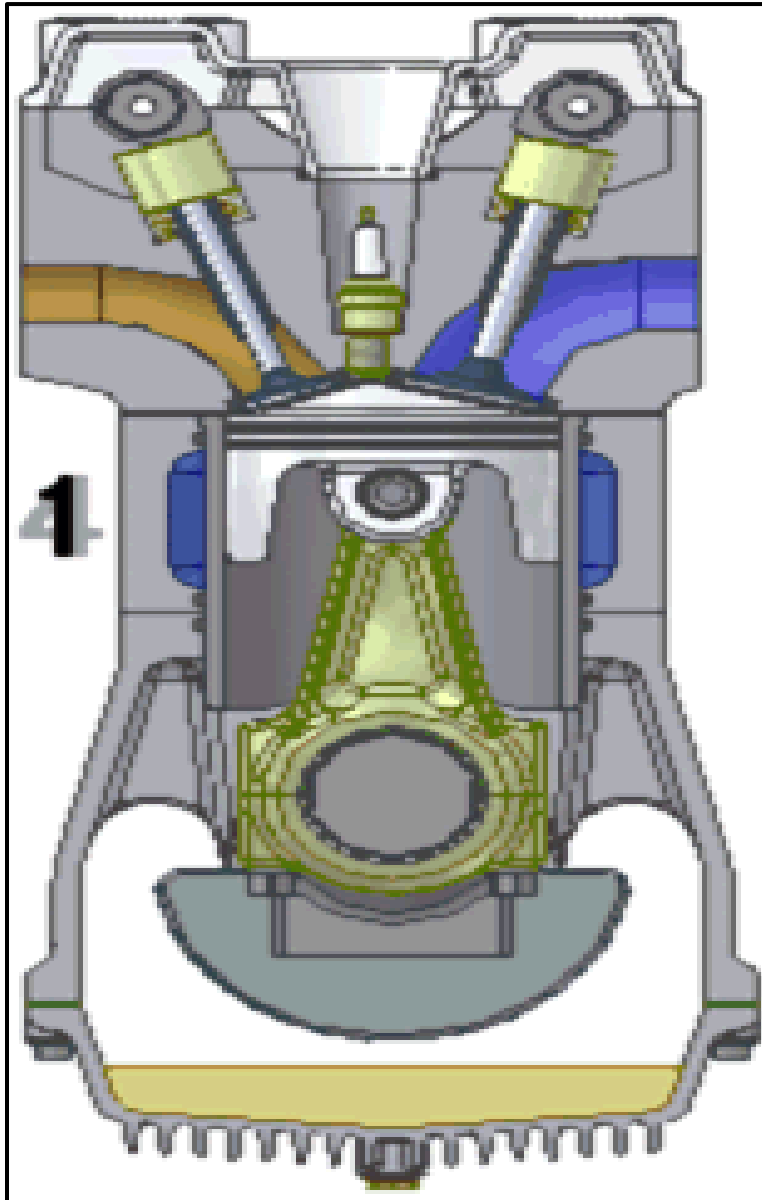
1.17 Información adicional

1.17.1 Funcionamiento de un motor Opuesto

Un motor opuesto, también conocido como motor con cilindros horizontales, es un propulsor en el cual los pistones están ubicados opuestos, dos a dos, a cada lado del cigüeñal central.

La configuración más común de los motores opuestos es en los pistones de cada para opuesto de cilindros se mueven hacia adentro y hacia afuera al mismo tiempo.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

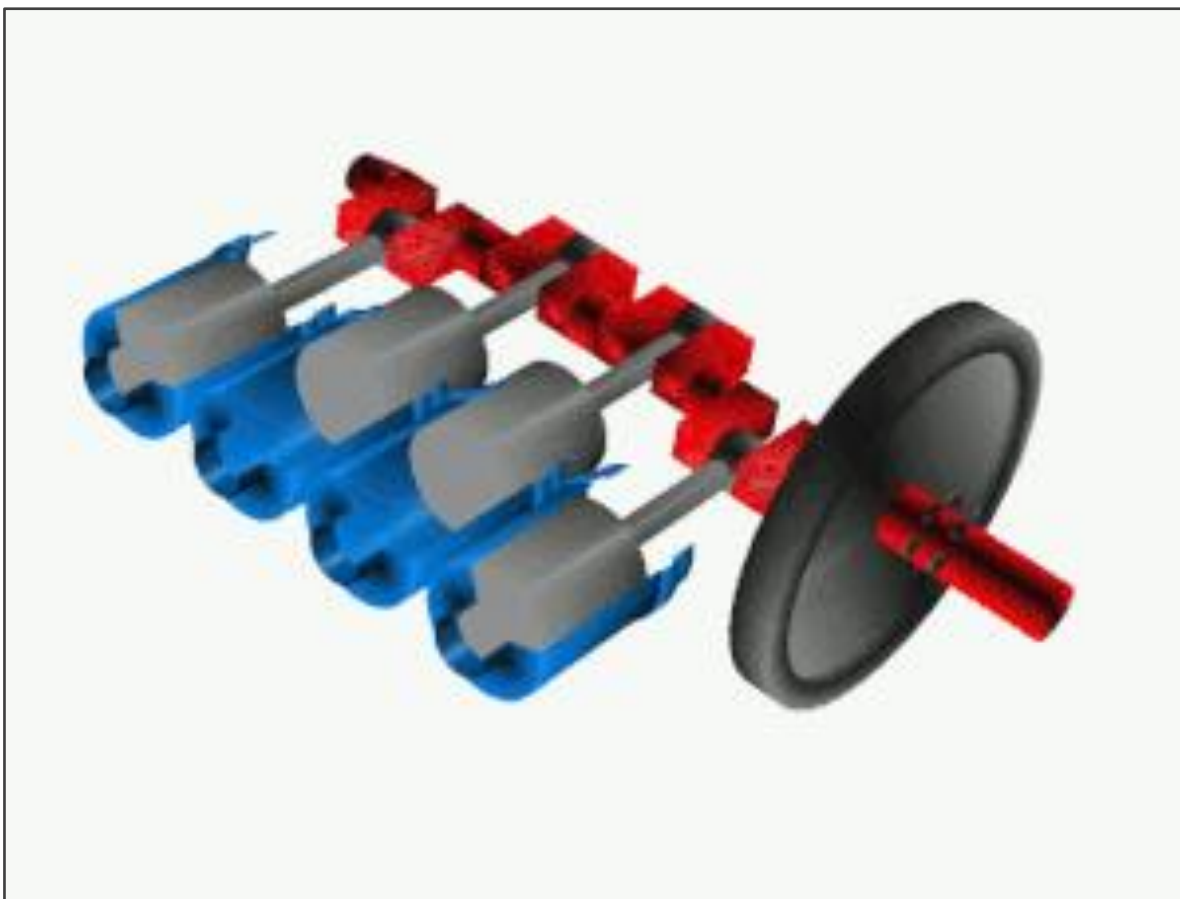


Animación No. 1: Vista frontal del funcionamiento del motor opuesto.

1.17.2 Cigüeñal en motor opuesto

Es un eje acodado con contrapesos presente en ciertas maquinas que, aplicando el principio de mecanismo de biela y manivela, transforma el movimiento rectilíneo alternativo en circular uniforme y viceversa.

En los motores el extremo de la biela opuesta al bulón del pistón (cabeza de biela) conecta con la muñequilla y es la parte que se une al cigüeñal, la cual junto con la fuerza ejercida por el pistón sobre el otro extremo (pie de biela) genera el par motor instantáneo, que está acoplado un casquillo antifricción para la unión con el pistón, a través de un eje llamado bulón. El cigüeñal va sujeto en los apoyos, siendo el eje que une los apoyos el eje del motor.



Animación No. 2: Funcionamiento del cigüeñal en un motor opuesto.

1.17.3 Par motor

El **par motor** es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia o, dicho de otro modo, la tendencia de una fuerza para girar un objeto alrededor de un eje, punto de apoyo, o de pivote. La potencia desarrollada por el par motor es proporcional a la velocidad angular del eje de transmisión, viniendo dada por la formula:

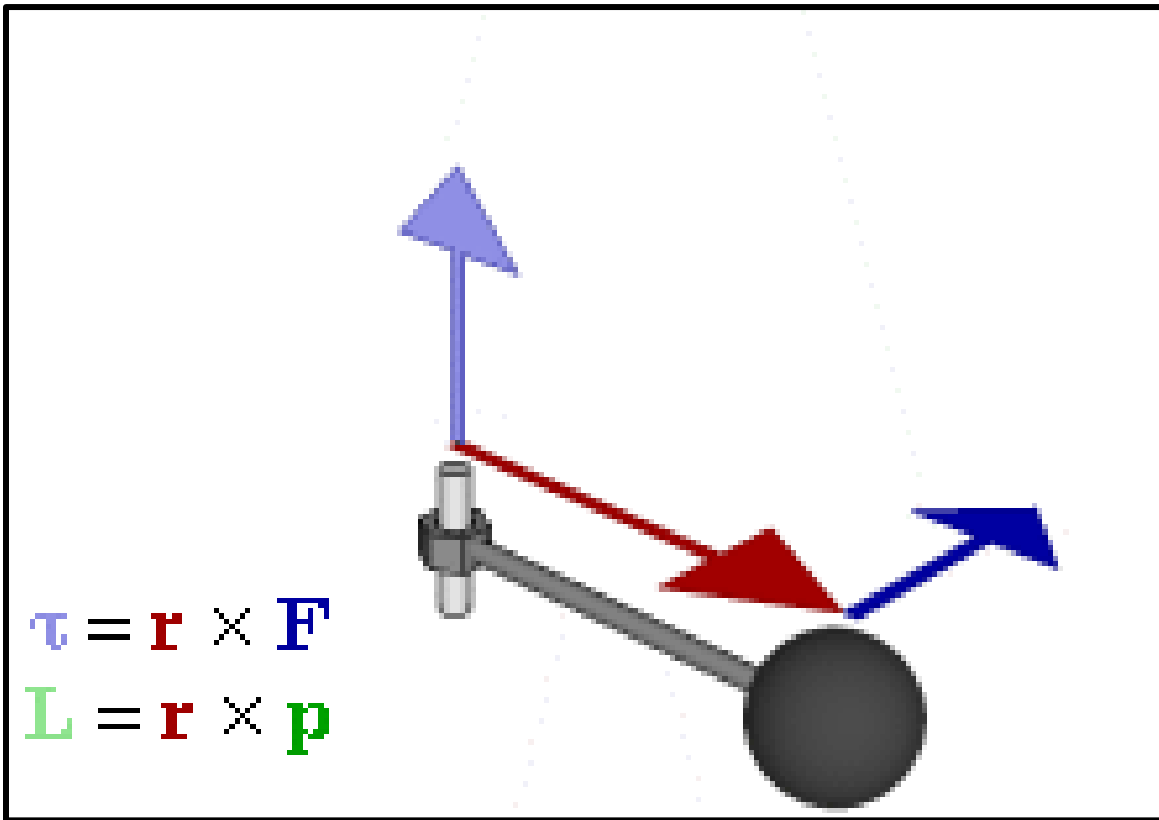
$$P = M\omega$$

En donde:

P: Es la potencia generada por el trabajo del motor.

M: Es el par motor dados en N.m

ω : La velocidad angula dada en radianes.



Animación No. 3: Descripción Gráfica de la deducción de par motor.

Normalmente se fabrican de aleaciones capaces de soportar los esfuerzos a los que se ven sometidos y pueden tener perforaciones y conductos para el paso de lubricante. Sin embargo, estas aleaciones no pueden superar una dureza a 40 Rockwell «C» (40 RHC), debido a que cuanto más dura es la aleación más frágil se hace la pieza, y se podría llegar a romper debido a las grandes fuerzas a las que está sometida.

1.17.4 Pistones

El pistón funciona de una manera sencilla en el interior del cilindro que se ubica en el bloque del motor. Es una pieza metálica, está cerrado en la parte de arriba, pero abierto en la zona inferior. Se encuentra sujeto a la biela en la zona del medio.

Las partes de un pistón son: cabeza, anillo superior, perno del pistón y seguro, falda, brazo de la biela, cojinetes y tornillos tapa de la biela.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

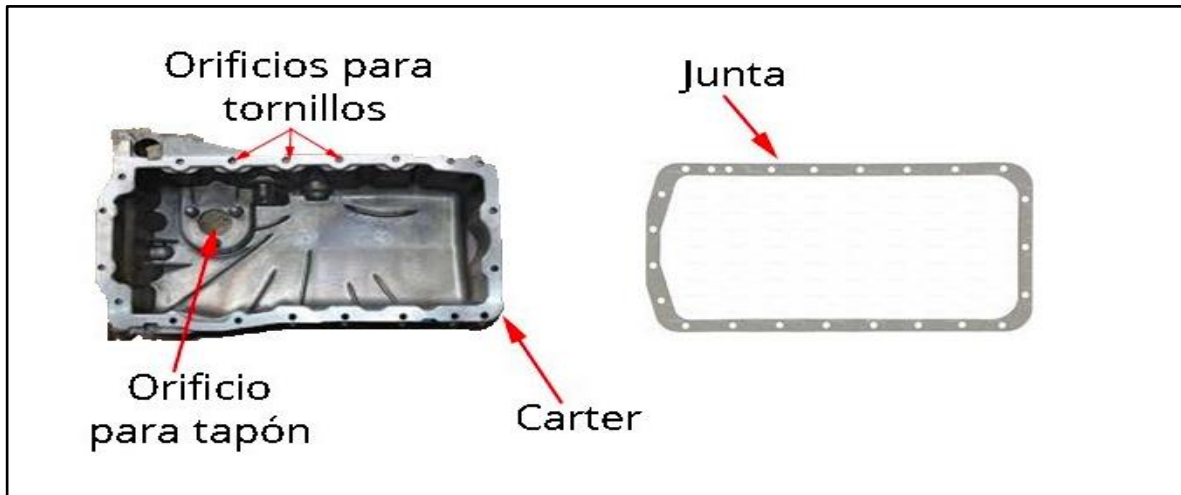


Fotografía No. 22: Partes de un pistón.

Luego de encender el motor, la señal eléctrica hace que el cigüeñal gire. En este giro los pistones comienzan a subir y a bajar comprimiendo la mezcla aire/ combustible. La chispa que genera la bujía ayuda a que ocurra una explosión en la mezcla que empuja al pistón para que comience un nuevo ciclo funcional.

El movimiento que adquiere el pistón es de arriba hacia abajo dentro del cilindro. Va comprimiendo la mezcla al mismo tiempo que transmite presión por combustión al cigüeñal por medio de la biela. También se produce la salida hacia el escape de gases residuales de la combustión, esto produce un vacío que aspira la mezcla.

Unos anillos de compresión ubicados en la cabeza impiden que los gases se fuguen por la holgura presente entre pistón y paredes del cilindro. El anillo de aceite se encarga de raspar el excedente de lubricante en las paredes de los cilindros, el cual fluye retornando al cárter de aceite. Justo por debajo de la cabeza se haya la biela, unida al pistón por un hoyo que contiene cojinetes, tornillos y tapa.



Fotografía No. 23: Partes del cárter de aceite, sistema de lubricación del motor.

1.17.5 Ventajas de los motores opuestos en comparación con los motores radiales

Es más corto, es un motor más compacto, centrando todos los componentes internos en espacios más reducidos.

Evita vibraciones fuertes a la estructura de la aeronave.

Proporciona equilibrio dinámico sin necesitar contrarrestar peso

Da confort y suavidad en vuelo de crucero

No genera ruido mucho ruido

Mejora el rendimiento de la aeronave, teniendo en cuenta que a la refrigeración es da por aire impacto.

1.18 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 utilizó el análisis de falla al material del cigüeñal, muñón y biela, el cual se encontró fractura durante la inspección realizada en el taller autorizado.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

2. ANÁLISIS

2.1 Operaciones de vuelo

La tripulación estaba compuesta por dos (02) tripulantes, Piloto Instructor y Piloto Alumno; el análisis de sus certificaciones, licencias, capacitación y entrenamiento permite determinar que la tripulación no fue un factor para la ocurrencia del accidente.

Los procedimientos aplicados por el Piloto Instructor durante la emergencia fueron los correctos en vista de las características de la misma.

2.2 Mantenimiento

Para el análisis de mantenimiento se tuvieron en cuenta las tareas de reemplazo, inspección y mantenimiento; las verificaciones de campo; los resultados del desensamble del motor; los resultados del laboratorio metalúrgico; los registros de mantenimiento del operador; la trazabilidad de los trabajos de mantenimiento efectuados al motor; los manuales del fabricante; el catálogo de partes y alguna documentación adicional del fabricante de la aeronave.

No se encontró documentación alguna en la que constara que se haya efectuado alguna inspección por parte del Centro de Instrucción o por el Operador Panameño al taller reparador de los Estados Unidos, que permitiese verificar, entre otras cosas, la idoneidad del taller norteamericano para realizar el overhaul del motor.

El citado motor regresó al operador ubicado en Panamá a comienzos del año 2018, en donde estuvo operando hasta finales del 2019.

Para finales del 2019, el motor fue enviado a Colombia, al Centro de Instrucción, empresa que efectuó todos los trámites legales de entrada al país.

Los trabajos mayores cumplidos al motor overhaul, no fueron auditados, ni controlados por personal del Centro de Instrucción; adicionalmente, en los documentos del overhaul realizado al motor, se encontró un ítem relacionado con la reparación del cigüeñal, acción que fue cumplida por un taller ajeno al contratado inicialmente, sin que, evidentemente, se hubiera realizado supervisión alguna sobre esa instalación de reparación.

Se determinó que el Centro de Instrucción no tenía un control calidad sobre las acciones de mantenimiento propias, teniendo en cuenta que no tiene mantenimiento propio. Todos los servicios de mantenimiento realizados a las aeronaves del Centro de Instrucción son cumplidos por un taller contratado por el Centro de Instrucción.

Al no tener control y supervisión a las tareas de manteniendo realizadas al motor, no se logro evidenciar la capacidad del taller para realizar tareas de manteniendo relacionadas con el cigüeñal directamente, ya que no se logro evidenciar el tipo de trabajos que debio cumplirse a este componente.

2.2.1 Análisis secuencial de la falla

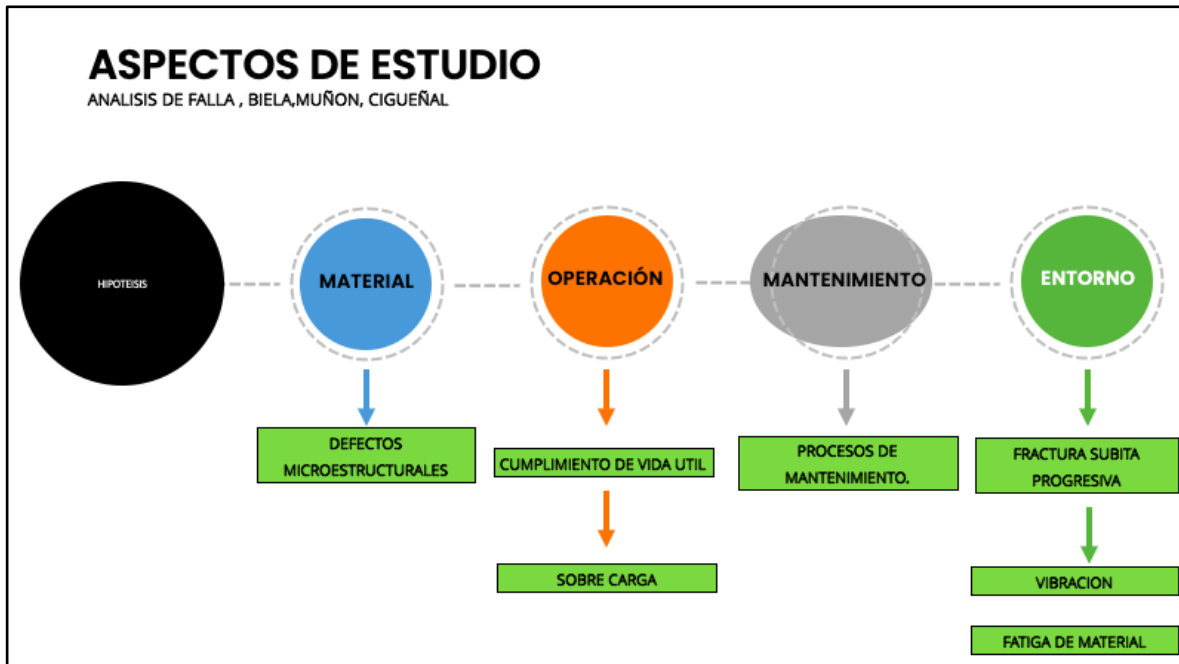


Figura No. 2: Árbol de hipótesis descartadas.

Una vez desensamblado el motor en el taller, se evidenciaron daños en el muñón número 3 del cigüeñal y su correspondiente biela, los cuales estuvieron sometidos a altas temperaturas.

Como consecuencia, la biela sufrió una fractura dúctil separándose del cigüeñal, evitando el movimiento mecánico entre la biela y el cigüeñal.

Al quedar mecánicamente libre el cigüeñal, impactó con el lado izquierdo de la potencia causando la fractura súbita en este lado.

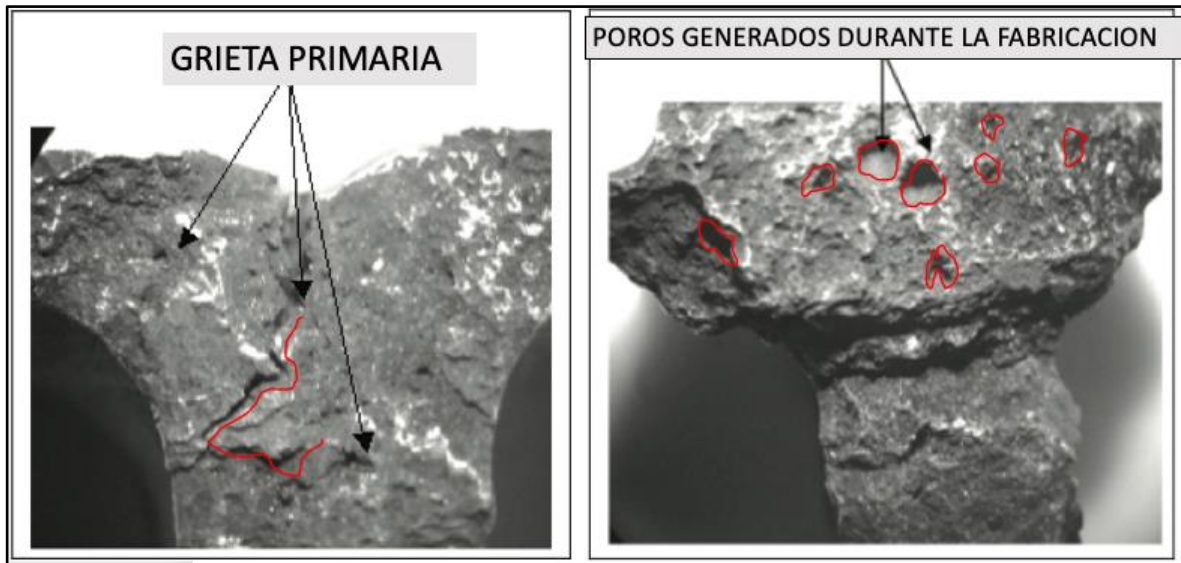
La línea de lubricación del cigüeñal se encontró parcialmente obstruida, por la limalla del material del cigüeñal debido a la pérdida de capa nitrurada, impidiendo una lubricación correcta, causando al aumento de temperatura y el agarrotamiento de los componentes, hasta ocasionar una fractura dúctil y la posterior separación de la tapa de la biela.

En el análisis de falla realizada al cigüeñal, al muñón y a la biela se tuvieron en cuenta 4 aspectos para el estudio de los materiales:

- Tipo de material
- Tipo y características de la operación
- Acciones de mantenimiento
- Medio ambiente o entorno de operación

Las superficies de fractura se analizaron en el microscopio estereoscópico. Y de esta forma se logró evidenciar que en la superficie de falla de la sección 1, la apariencia era de fractura frágil, es decir, perpendicular a la carga aplicada, y sin deformación plástica macroscópica.

Además se pudieron ver poros macroscópicos y una grieta profunda, con la apariencia típica de fractura dúctil (con deformación plástica) y poros originados en el proceso de fabricación.



Fotografía No. 24: Análisis fractográfico.

En la superficie de los muñones se encontró excesiva profundidad de corte: marcas resultantes por inadecuada lubricación durante el funcionamiento del motor.

Se encontró que la falla en el material muñón del cigüeñal analizado se debió a la ausencia parcial de la capa nitrurada, posiblemente causada durante el proceso de rectificado, acción que se realiza al cigüeñal durante el Overhaul.

Al no existir es capa nitrurada en el material, se debilitan las zonas de mayor concentración de esfuerzos y de esta manera se ocasiona que la propagación de la fisura interna, que termina en una fractura prematura por fatiga, con desprendimiento y acumulación de material.

Como consecuencia, se obstruyó el conducto de lubricación, haciendo que se aumentara la fricción ente los materiales durante la operación cíclica del motor.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

3. CONCLUSIÓN

3.1 Conclusiones

La tripulación, compuesta de un Piloto Instructor y un Alumno, se encontraba psicofísica y técnicamente apta para el vuelo.

La aeronave estaba reportada como aeronavegable para realizar el vuelo, de conformidad a su historial técnico, y no tenía reportes relacionados con el motor o sus componentes.

No obstante, el muñón del cigüeñal instalado en el motor de la aeronave se encontraba en mal estado como consecuencia, probablemente, de la ausencia parcial de la capa nitrurada. Esta deficiencia, pudo generarse, probablemente, durante el proceso de rectificado después de la nitruración, reduciendo la resistencia a la fatiga.

A la planta motriz de la aeronave se le efectuó un overhaul en facilidades de mantenimiento ubicadas en los Estados Unidos, en el año 2017.

Aunque el Manual de General de Mantenimiento del explotador contaba con procedimientos de auditorías externas, no ejerció una vigilancia sobre esas facilidades ni sobre los trabajos realizados.

Los defectos del material en el muñón del cigüeñal, y su operación durante varios años, dieron origen al crecimiento de fisuras y a la generación de fatiga y pérdida de material, que se acumuló en los ductos de lubricación, ocasionando bloqueos parciales.

La pérdida de lubricación ocasionó altas temperaturas en las zonas de pivotes, es decir, en las partes móviles del muñón y de las bielas.

El explotador no llevaba un registro de ciclos del motor, que permitiera efectuar un mejor seguimiento de su operación, de su desgaste y anticiparse a posibles fallas.

El explotador no contaba con un sistema de calidad efectivo que garantizara el recibo de componentes con la documentación requerida.

El motor había acumulado aproximadamente el 20% de su tiempo de operación para overhaul; sin embargo, este dato no es preciso teniendo en cuenta que no se conocían los ciclos del motor.

El vuelo fue programado, y se estaba realizando de acuerdo con la normatividad vigente y los estándares establecidos.

La aeronave despegó, normalmente, de la cabecera 11 del Aeropuerto Guaymaral, para efectuar entrenamiento correspondiente a la fase de Cruceros, en la ruta Guaymaral – Ibagué – Barrancabermeja.

Aproximadamente cuatro (4) minutos después del despegue, la sección baja de la biela (PIE) no pudo soportar las cargas excesivas aplicadas, generadas por la resistencia que existía entre el muñón del cigüeñal y el pie de biela, debido a la ausencia de lubricación.

Se presentó entonces, una fractura súbita por desgarre en la base del brazo de la biela No. 3, cerca de la unión con el muñón principal.

La fractura de la biela No. 3 ocasionó la falla súbita e irremediable del motor, de manera que cualquier intento que el Piloto hiciera para reiniciar el motor, resultaría infructuoso.

El Piloto reportó la situación a la Torre de Control y solicitó regresar al aeródromo de Guaymaral, mientras intentaba recuperar el motor.

Al notar que el motor no se recuperaba y que no alcanzaría a regresar al aeródromo, el Piloto Instructor se declaró en emergencia y seleccionó un campo no preparado, ubicado en cercanías del municipio de Tenjo, para aterrizar.

El Piloto declaró sus intenciones a la Torre de Control de Guaymaral, que activó el Plan de Emergencia.

El Piloto mantuvo el control de la aeronave y efectuó el aterrizaje controlado con bajo ángulo y baja velocidad, en el campo seleccionado, ubicado a 01 NM del aeropuerto de Guaymaral, y que resultó ser un cultivo de papas.

Después de aterrizar, y mientras desaceleraba, el tren de nariz de la aeronave golpeó contra un desnivel del terreno (surco) ocasionándose el giro de la aeronave sobre el eje transversal (capoteo), terminando en posición invertida.

Los dos ocupantes abandonaron la aeronave por sus propios medios, ilesos.

El personal SEI (Servicio extinción de incendios) del aeródromo arribó al sitio del accidente 15 minutos después de recibir la información por parte de la Torre de Control.

La aeronave terminó con daños sustanciales.

No se presentó fuego.

El accidente ocurrió con luz del día y en condiciones visuales.

3.2 Causa probable

- Falla del motor originada por la fractura de la biela No. 3, que ocasionó una pérdida de potencia, y que imposibilitó que el avión permaneciera en vuelo.
- Falla en el material de la superficie del muñón del cigüeñal, debido a ausencia parcial de la capa nitrurada, que ocasionó fisuras en la parte central del muñón y una inadecuada lubricación. Esta pérdida de material posiblemente ocurrió durante el proceso de rectificado después de la nitruración lo cual hizo que se redujera la resistencia a la fatiga.

3.3 Factores Contribuyentes

- Carencia de procedimientos de inspección y documentación técnica del explotador y del taller a cargo de realizar el mantenimiento de la aeronave, ya que no es posible conocer el tiempo de vida real de los componentes internos del motor.
- Insuficientes procedimientos de inspección por parte del explotador, ya que no realizó auditorías a los talleres autorizados para realizar trabajos especiales en los motores.

- Insuficientes procedimientos de control y calidad del explotador, ya que no se tiene registro y conocimiento real de la trazabilidad del motor, desde que perteneció a otro operador y hasta que fue recibido por el Centro de Instrucción.
- Insuficientes procedimientos de inspección escritos en el Manual General de Mantenimiento del explotador, ya que no orientan al personal de control y calidad hacia una apropiada toma de decisiones durante los procesos de inspección y recibo de componentes.

3.4 Taxonomía OACI

SCF-PP: Falla o mal funcionamiento del motor en vuelo.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

4. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD OPERACIONAL

AL CENTRO DE INSTRUCCIÓN AERONAUTICA

REC 01-202118-1

Establecer en el Manual General de Mantenimiento un procedimiento RII (elementos de inspección requerida) para los trabajos de mantenimiento que sean críticos para la operación, con el fin que dichos trabajos puedan ser evaluados por el representante técnico del Centro de Instrucción de manera eficaz, y así se pueda garantizar el retorno seguro de las aeronaves al servicio.

REC 02-202118-1

Crear un procedimiento en el Manual General de Mantenimiento del Centro de Instrucción, para efectuar una inspección detallada durante el proceso de instalación de componentes en los motores durante los servicios mayores.

REC 03-202118-1

Incluir dentro del Manual General de Mantenimiento del Centro de Instrucción, en el capítulo de Ingeniería, un procedimiento que asegure el seguimiento de las horas de operación de los motores utilizando el concepto de **ciclos** del motor, entendiéndose como ciclo cada encendido y apagado de motor.

REC 04-202118-1

Incluir dentro del Manual General de Mantenimiento del Centro de Instrucción, en el capítulo de Ingeniería, un procedimiento para que se lleve el control estricto de los ciclos de los motores, de manera que estén alineados con el control de componentes del motor y de la aeronave, para que de esta manera se lleve un programa estricto de desgaste de partes.

REC 05-202118-1

Aunque el Sistema de Gestión de Seguridad Operacional del Centro de Instrucción contempla la realización de auditorías externas a proveedores de servicio de mantenimiento, se debe crear un procedimiento de estricto cumplimiento para garantizar la entrega cabal de aeronaves, motores, y componentes después de un servicio de mantenimiento; este debe estar alineado con las políticas de mantenimiento del Centro de Instrucción.

A LA AERONÁUTICA CIVIL DE COLOMBIA

REC 06-202118-1

A través de la Secretaria de Autoridad Aeronáutica, enfatizar la vigilancia sobre los procesos de mantenimiento de los explotadores, principalmente en los siguientes aspectos:

- Trazabilidad de componentes mayores de las aeronaves, cuando sean reparados o adquiridos en el exterior.

- Procedimientos de mantenimiento realizados a los componentes internos de los motores radiales, en los talleres ubicados tanto en Colombia, como en otros países.
- Supervisión y control del operador sobre las actividades de mantenimiento contratadas.

REC 07-202118-1

A través de la Secretaria de Autoridad Aeronáutica, dar a conocer el presente informe de investigación a los operadores que la utilizan aeronaves equipadas con motores recíprocos, para que apliquen s recomendaciones, según sea pertinente, y se tenga en cuenta dicho informe para mejorar los Sistemas de Gestión de Seguridad Operacional.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

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



Grupo de Investigación de Accidentes

GRIAA

GSAN-4.5-12-052



AERONÁUTICA CIVIL
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL