

MAUT-8.0-12-029



INFORME FINAL

INCIDENTE GRAVE

COL-21-78-DIACC

Aterrizaje forzoso en campo no preparado por falla total de motor

Taxonomía SCF-PP

Cessna 188B

HK-2014

Fecha 29 de diciembre de 2022

Yopal, Casanare, 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	7
1.1 Reseña del vuelo	7
1.2 Lesiones personales.....	9
1.3 Daños sufridos por la aeronave.....	10
1.4 Otros daños.....	11
1.5 Información personal	11
1.6 Información sobre la aeronave y el mantenimiento	12
1.6.1 Aeronave.....	12
1.6.2 Último servicio de 50 horas	12
1.6.3 Motor.....	14
1.7 Información Meteorológica	14
1.8 Ayudas para la Navegación.....	14
1.9 Comunicaciones y Tránsito Aéreo.....	15
1.10 Información del Aeródromo	15
1.11 Registradores de Vuelo	15
1.12 Información sobre los restos de la aeronave y el impacto.....	15
1.13 Información médica y patológica	16
1.14 Incendio.....	16
1.15 Aspectos de supervivencia	16
1.16 Ensayos e investigaciones	16
1.17 Información orgánica y de dirección.....	23
1.18 Información Adicional	24
1.18.1 Funcionamiento del motor opuesto.....	24
1.18.2 ¿Qué es un cojinete y cual es función en el motor?.....	25
1.18.3 Función de los cojinetes del motor.....	27
1.18.4 Clases de cojinetes del motor	27
1.18.5 Tipos de cojinetes.....	28
1.18.6 Características de los materiales para la fabricación de los cojinetes.....	29
1.19 Técnicas útiles o eficaces de investigación	29

2. ANÁLISIS	30
2.1 Operaciones de vuelo.....	30
2.2 Mantenimiento	30
3. CONCLUSIÓN	36
3.1 Conclusiones.....	36
3.2 Causa probable.....	37
3.3 Factores Contribuyentes.....	37
3.4 Taxonomía OACI	37
4. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD OPERACIONAL	38

SIGLAS

GPS	Sistema de Posicionamiento Global
HL	Hora Local
MGO	Manual General de Operaciones
NTSB	National Transportation Safety Board – Autoridad AIG de EE. UU.
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
PCA	Piloto Comercial de Avión
RII	Ítem de inspección requerida
SAE	Sociedad de ingenieros automotrices

SINOPSIS

Aeronave:	Cessna A188B, HK-2014
Fecha y hora del Incidente Grave:	29 de diciembre de 2021, 07:00 HL
Lugar del Incidente Grave:	Yopal - Casanare
Coordenadas:	N 05° 25' 1.48" W 072° 12' 57.80"
Tipo de Operación:	Trabajos Especiales de Aspersión Agrícola
Número de ocupantes:	01 Piloto
Taxonomía OACI:	SCF-PP

RESUMEN

El 29 de diciembre de 2021, mientras la aeronave tipo Cessna A188B de matrícula HK2014, operada bajo la modalidad de Trabajos Aéreos Especiales, Aviación Agrícola, efectuaba una aspersión agrícola sobre un lote de cultivo de arroz, el motor experimentó una explosión y pérdida súbita de potencia, con fuerte vibración y emisión de humo blanco.

El Piloto aterrizó de emergencia, en un campo no preparado, de manera controlada, detuvo la aeronave y la abandonó por sus propios medios, ileso. Se encontraron daños sustanciales en el motor, producto de una explosión interna ocurrida en vuelo.

La causa probable del incidente grave se determinó como, el aterrizaje de emergencia en campo no preparado por falla total del motor, ocasionada por la fractura de las bielas ubicadas en la posición 4 y 5, debida, probablemente, a una incorrecta instalación de los cojinetes.

Como factores contribuyentes se encontraron los siguientes:

Deficientes procedimientos de orientación al personal de mantenimiento, en el Manual de Procedimientos de Inspección del taller especializado, para una apropiada toma de decisiones durante los procesos de instalación y ajustes de los cojinetes, ya que esta actividad no se clasifica como "trabajo especial en el motor", pues este tipo de inconformidades son frecuentes durante la instalación de estos componentes.

Falta de claridad del Manual General de Mantenimiento, el cual, aunque contempla un procedimiento escrito para la entrega de los motores después de un mantenimiento programado - no programado, no discrimina un procedimiento efectivo que garantice la operación y funcionalidad del sistema de la aeronave de manera técnica controlada, para casos especiales como la remoción e instalación de los cojinetes.

Envejecimiento prematuro del material base con el que se construye las bielas a causa de las altas temperaturas soportadas por el material y las fuertes fricciones que soportaron los componentes.

Posible incorrecta instalación de los cojinetes de las bielas 4 y 5 dando a lugar a una migración de estos, ocasionando un bloqueo al sistema de lubricación del motor.

Ausencia de las prácticas estándar para mantenimiento durante las acciones de instalación y remoción de componentes internos del motor, al no realizarse los ajustes correctos durante la instalación de los cojinetes.

La investigación arrojó cuatro (4) recomendaciones de seguridad operacional.

1. INFORMACIÓN FACTUAL

1.1 Reseña del vuelo

El 29 de diciembre de 2021, la aeronave tipo Cessna A188B de matrícula HK2014, operada bajo la modalidad de Trabajos Aéreos Especiales, Aviación Agrícola, fue programada para efectuar trabajos de aspersión agrícola, sobre un lote de cultivo de arroz, perteneciente a la finca Sucesión Esquivel, ubicada cerca de Yopal, departamento de Casanare.



Imagen No. 1. Ubicación del lote de aspersión.

La operación inicial constaba de 04 vuelos de aspersión sobre, sobre 120 hectáreas de arroz.

La aeronave despegó a las 06:20 HL, con 140 galones de producto químico, para realizar el primer vuelo, en el cual realizó 3 pasadas de aspersión sobre el cultivo, abarcando un total de 30 hectáreas, sin que se registrara mal funcionamiento del motor o de otros sistemas de la aeronave.

Durante el segundo vuelo, y pasados aproximadamente 15 minutos después del despegue, el motor de la aeronave experimentó una explosión, acompañado de una fuerte vibración, humo blanco, y la pérdida de potencia de manera súbita.

El Piloto al identificó el mal funcionamiento del motor, y seleccionó un campo no preparado, hacia el cual se dirigió con el fin de efectuar un aterrizaje de emergencia.

El Piloto aterrizó la aeronave de manera controlada, de acuerdo con lo descrito en el Manual de Operaciones de la empresa, sin que la aeronave experimentara daños ni en su estructura, ni en los trenes de aterrizaje.



Imagen No. 2. Patrones de aspersion realizados por el HK-2014.



Imagen No. 3. Secuencia de la emergencia y aterrizaje de emergencia del HK-2014.

El Piloto no sufrió lesiones, abandonó la aeronave por sus propios medios e informó a la empresa sobre lo ocurrido; personal del operador acudió de inmediato al sitio del evento.

El sitio del aterrizaje correspondía a un terreno no preparado, en ubicado en las coordenadas N 05° 25'1.48" W 072° 12' 57.80", a una elevación de 214 metros a nivel del mar, un lugar de fácil acceso. La aeronave terminó con rumbo de 034°,



Fotografía No.1. Estado y ubicación final de la aeronave HK-2014.

En atención a las disposiciones contenidas en los Reglamentos Aeronáuticos Colombianos, especialmente de conformidad con el Numeral 114.300 del RAC 114, se efectuó la Notificación del evento a la National Transportation Safety Board (NTSB) de Estados Unidos, como Estado de Diseño y de Fabricación de la aeronave.

Durante el trabajo inicial de la investigación de campo se evidenciaron daños preliminares en el cárter del motor, como consecuencia de la explosión experimentada durante el vuelo.

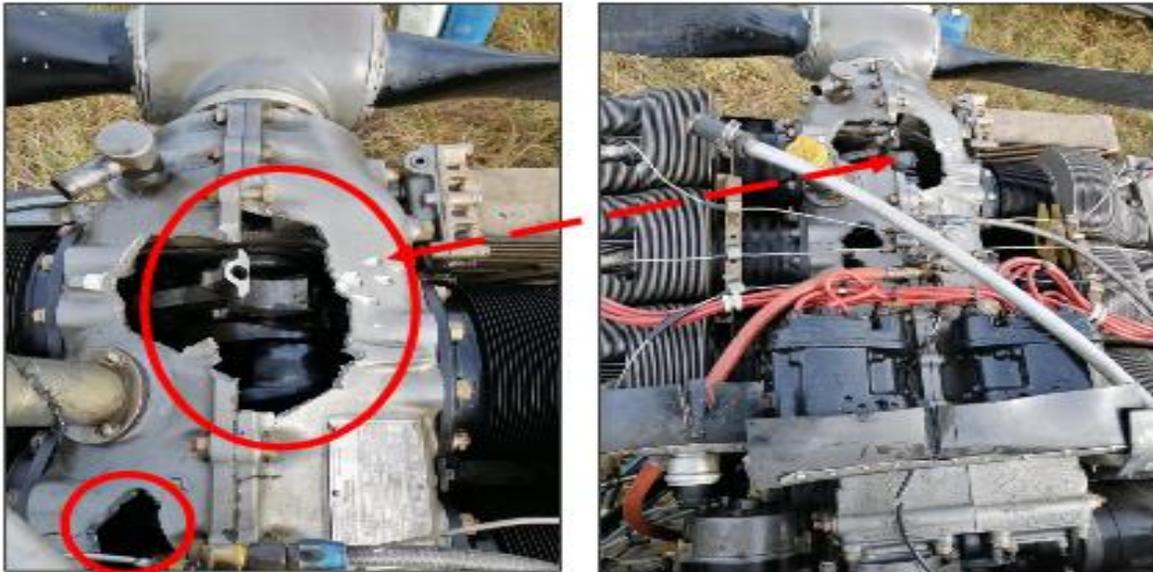
1.2 Lesiones personales

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

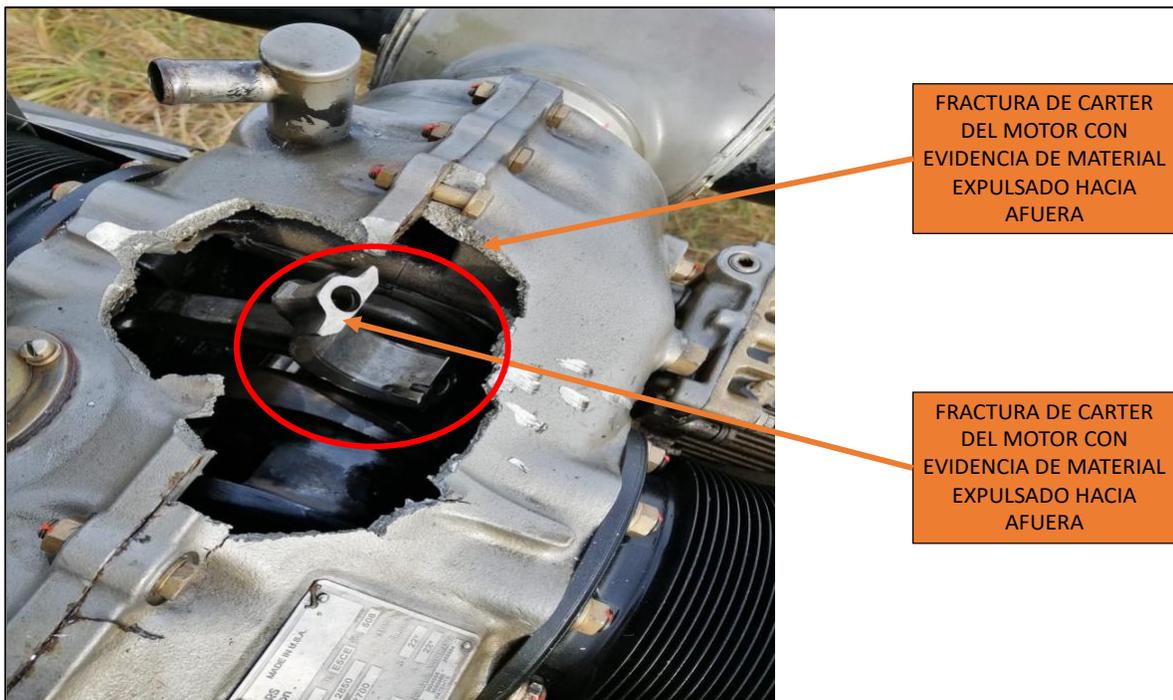
1.3 Daños sufridos por la aeronave

La aeronave no sufrió daños en su estructura de planos, ni el fuselaje, empenaje ni en los trenes de aterrizaje.

Sin embargo, durante la inspección de campo, se hizo evidente una fractura total en el cárter de aceite del motor, debido a un posible daño de los accesorios internos.



Fotografía No. 2. Daños en el cárter del motor instalado en la aeronave HK-2014.



Fotografía No. 3. Cárter del motor fracturado.



Fotografía No. 4. La aeronave no presentó daños en su estructura.

1.4 Otros daños

No se presentaron daños en otras áreas, ni a la vegetación del lote donde aterrizó la aeronave HK-2014.

1.5 Información personal

Piloto

Edad:	66 años.
Licencia:	PCA (Piloto Comercial de Avión).
Certificado médico:	Vigente, primera clase.
Equipos volados como Piloto:	Cessna A188,180, PA25-235, PA300.
Último chequeo en el equipo:	06 de diciembre de 2021.
Total horas de vuelo:	6500 horas aproximadamente.
Total horas en el equipo:	3254:56 horas.
Horas de vuelo últimos 90 días:	67:15 horas
Horas de vuelo últimos 30 días:	28:05 horas
Horas de vuelo últimos 03 días:	12:16 horas
Horas de vuelo últimas 24 horas:	3:32 horas

El Piloto para el día del accidente contaba con certificado médico vigente, con limitaciones visuales, especificando el uso permanente de los lentes correctores formulados.

Era poseedor de una licencia PCA (Piloto Comercial de Avión), vigente, e inscrita en el sistema de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil de Colombia.

De acuerdo con los registros documentales proporcionados por la empresa, el Piloto, realizó un curso recurrente de avión C188 el 17 de diciembre de 2021, con una intensidad horaria de 2 horas, en modalidad virtual.

El Piloto también realizó Curso de Repaso en los equipos PA25-235 y 260, el 29 de septiembre de 2021, en un Centro de Instrucción autorizado y certificado por la Aeronáutica Civil.

El Piloto había cumplido con los períodos de descanso, de acuerdo con los turnos dispuestos por el operador.

1.6 Información sobre la aeronave y el mantenimiento

1.6.1 Aeronave

Marca:	Cessna
Modelo:	188 B
Serie:	C18802872T
Año de fabricación:	1969
Matrícula:	HK-2014
Certificado aeronavegabilidad:	0000163
Certificado de matrícula:	R000802
Fecha de fabricación:	1974
Fecha último servicio:	21 de agosto de 2021
Total horas de vuelo:	9162:36 horas
Total ciclos de vuelo:	N/A

1.6.2 Último servicio de 50 horas

De acuerdo con el programa de mantenimiento del Cessna 188B, a la aeronave se le había realizado oportunamente el servicio de 50 horas, durante el cual se inspeccionaron por condición, seguridad, escapes y correcta operación, los siguientes ítems:

1. Estado general del motor
 - Aceite del motor, filtro de malla, tapas de llenado, varilla medidora, tapón de drenaje y filtro externo.
 - Filtro de aire de inducción.
 - Deflectoras del motor
 - Mangueras, líneas metálicas y conexiones.
 - Sistema de admisión y escape.
 - Controles de motor y uniones articuladas.

2. Sistema de combustible

- Vaso filtro de combustible, válvula y control de drenaje.
- Depósito de combustible / salidas de ventilación, tapas y avisos.
- Válvula de cierre de combustible y avisos.
- Bomba eléctrica de combustible (auxiliar), switch de operación y conexiones eléctricas.

3. Tren de aterrizaje

- Ruedas del tren principal
- Montante de la ballesta (pierna) del tren principal.

4. Estructura

- Exterior del avión.
- Ventanas, parabrisas, puertas y sellos.
- Cinturones de seguridad y arneses de hombro.
- Instrumentos y marcaciones.
- Sistema y controles de calefacción y ventilación.
- Alarma eléctrica, luces, interruptores e interruptores de circuitos (*circuit breakers*).
- Luces exteriores.
- Batería, caja y cables de batería.

5. Sistemas de control

Dentro de los sistemas de control se comprobó la correcta dirección, libre movimiento y correcta instalación de:

- Rueda de control del compensador, indicador y actuador.
- Palanca de control, rodillos y guías de flaps.
- Sistema resorte-abajo del elevador.
- Grietas en aleta compensadora o flojedad donde el actuador asegura la compensadora.
- Pieles de las superficies de control y compensadora.

Se inspeccionaron los documentos de peso y balance, que fue realizado a la aeronave por un taller autorizado, y certificado por la entidad reguladora de la aviación.

1.6.3 Motor

Marca:	Continental
Modelo:	IO-520-D
Serie:	579096
Total horas de vuelo:	3694:30 horas
Total ciclos de vuelo:	Desconocidos
Total horas D.U.R.G:	228:24 horas
Fecha último servicio:	21 de agosto de 2021 – 200 hs

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

Dentro de los documentos de mantenimiento se encontró que el 04 de marzo de 2021, el motor con S/N 579096, fue instalado en la aeronave HK-2014; este motor provenía del taller especializado de reparación con 0 cero horas D.U.R.G.

El 13 de julio de 2021 se le realizó al motor un servicio de 200 horas, cumpliendo con el programa de mantenimiento del fabricante.

De acuerdo con los documentos de mantenimiento, se encontró que el 21 de agosto de 2021, se le realizó al motor el servicio de 50 horas IO-520-D, con las siguientes actividades:

- Se inspeccionó por escapes de fluidos tales como combustible o aceite.
- Se efectuó limpieza al motor, de acuerdo con lo descrito en el programada de mantenimiento.
- Se inspeccionaron la tapa de aceite y los drenajes de motor por condición y correcta instalación; adicionalmente se reemplazó el aceite del motor de acuerdo con lo descrito al manual de mantenimiento del motor.
- Se reemplazó el filtro principal de aire, cumpliendo con el procedimiento de mantenimiento.
- Se inspeccionó por condición el radiador de aceite, teniendo cuenta las aletas por condición, escapes de aceite y operación correcta.
- Se inspeccionaron por condición, los cilindros, las tapas de balancines y tubos guarda varillas por grietas, golpes, corrosión y de correcta instalación.

1.7 Información Meteorológica

Las condiciones meteorológicas eran visuales y no fueron un factor contribuyente para el evento.

1.8 Ayudas para la Navegación

No aplicable.

1.9 Comunicaciones y Tránsito Aéreo

N. aplicable

1.10 Información del Aeródromo

La pista desde donde operaba la aeronave se encuentra ubicada en Araguaney, en las coordenadas, N 05 24 46,90 W 072 17 05,90. Es un campo dispuesto para la operación de aeronaves de fumigación ubicada

La pista tiene una longitud de 800 metros, un ancho de 14 metros y una elevación de 214 metros sobre el nivel medio del mar. Esta acondicionada para soportar un peso máximo bruto operacional (PMBO) de 2152 kg,

La pista está construida en una superficie de grava, apisonada con riego asfáltico. Posee las indicaciones mínimas de operación, designación de cabeceras y manga veletas.



Imagen No. 4. Ubicación geográfica de la pista Araguaney.

1.11 Registradores de Vuelo

De acuerdo con los requisitos de configuración exigidos, la aeronave no posee sistemas de grabación de datos de vuelo o de voz. Sin embargo, la empresa equipó a la aeronave con un sistema GPS, como ayuda para el procedimiento de aspersión aérea.

1.12 Información sobre los restos de la aeronave y el impacto

El contacto de la aeronave con el terreno ocurrió con baja velocidad y bajo ángulo de aproximación. el Piloto mantuvo el control de la aeronave.

La aeronave mantuvo su integridad, sin desprendimiento de partes o componentes; el motor permaneció instalado en su soporte.

El motor mostraba la fractura del cárter de aceite y evidentes daños en sus componentes internos.



Fotografía No. 5. Estado final de la aeronave, sin daños.

1.13 Información médica y patológica

El Piloto, abandonó la aeronave por sus propios medios sin lesiones.

1.14 Incendio

No hubo fuego antes ni después del accidente.

1.15 Aspectos de supervivencia

El incidente grave ocurrió en un campo no preparado, con condiciones apropiadas para realizar un aterrizaje seguro. Una vez que la aeronave se detuvo, el Piloto salió por sus propios medios, con sin lesiones; una vez afuera de la aeronave, fue atendido por moradores de la zona.

La empresa del operador fue informada de la situación, reaccionó y dispuso de un grupo para proceder al sitio del suceso y asistir al Piloto, quien fue llevado a un centro de salud cercano, en donde se le realizó una valoración física y las pruebas toxicológicas.

1.16 Ensayos e investigaciones

Con el fin de identificar la condición de funcionamiento anormal que se presentó en la planta motriz durante el vuelo, se realizó la inspección del motor Continental IO-520D, S/N 579096, en un Taller Aeronáutico de Reparación (TAR) certificado por la Autoridad Aeronáutica.

Se realizó inspección visual, verificando la ausencia de golpes, deformaciones o fracturas, comprobándose la correcta instalación de los componentes eléctricos y mecánicos (coronas de encendido, mangueras y deflectoras).

Se realizó una prueba funcional por libre movimiento la cual resultó no satisfactoria, al encontrarse el motor bloqueado mecánicamente.

Se inspeccionó el filtro principal de aceite junto con el cárter de aceite, encontrándose contaminación de residuos metálicos (limallas gruesas). El aceite contenido presentaba viscosidad, color, y olor normal.

Inicialmente se realizó una inspección preliminar a todo el motor y sus accesorios en sus partes externas después de ser instalado en un banco de prueba y desensamblado.

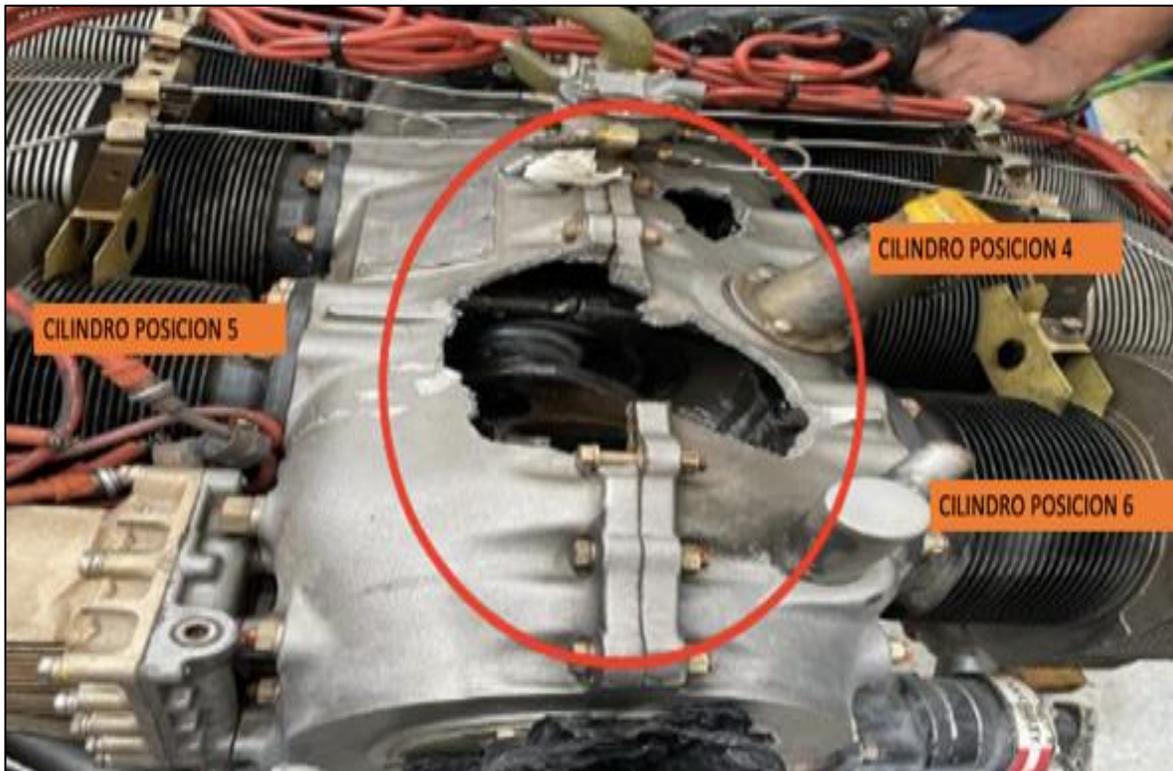


Fotografía No. 6. Inspección motor Continental instalado en el HK-2014.

El cárter de potencia con S/N: F289614R se encontró fracturado en la parte superior, entre los cilindros número 4, 5 y 6.

Dentro de los principales hallazgos se encontraron:

- Casquetes con picaduras y desgaste.
- Desgaste de los lóbulos del eje de levas.
- Cigüeñal con los cojinetes de bancada contaminados con presencia de limalla.
- Bielas con sus cojinetes fracturados y presencia de limalla.



Fotografía No. 7. Fractura del cárter motor Continental, entre los cilindros No. 4, 5, 6.

Una vez ubicada la fractura del cárter, se identificó también la presencia de fracturas frágiles en las bielas de los cilindros número 5 y 6, y una pérdida de material inusual en estos componentes.

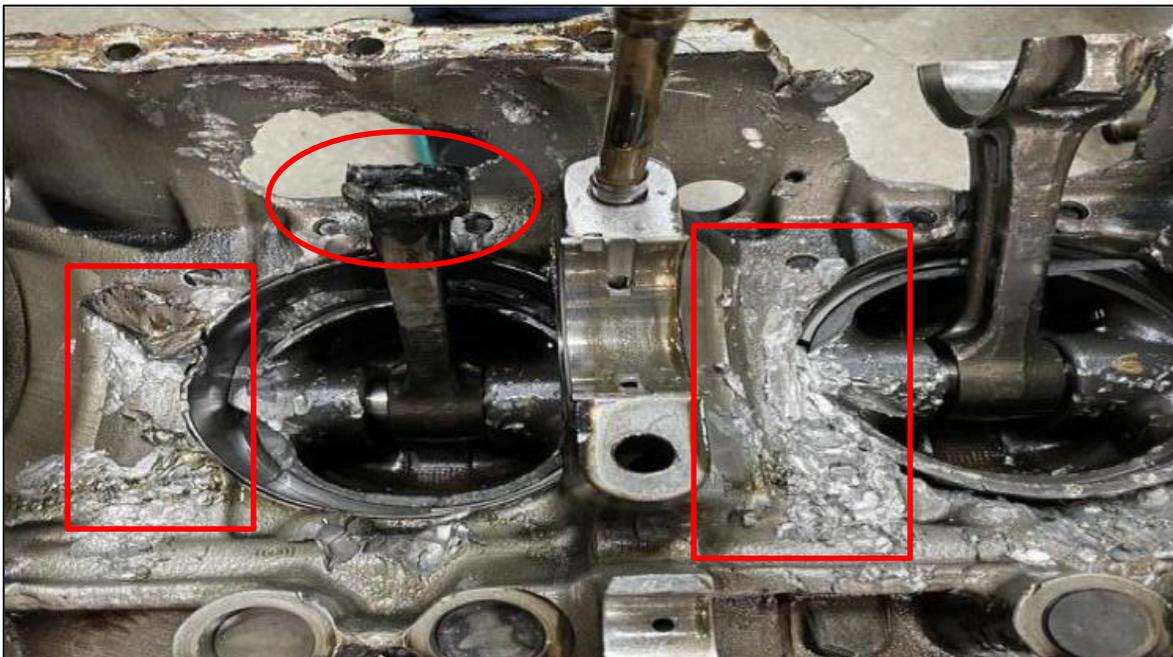


Fotografía No. 8. Fractura de bielas en las posiciones No. 5, 6.

Después del desensamble de potencia de los cárteres superior en inferior, se evidenció que, en el barril y cárter de potencia de los cilindros No. 5 y 6, hubo pérdida de material, posiblemente por un rozamiento inusual, al fracturarse una parte de las bielas o cigüeñal.



Fotografía No. 9. Deformación plástica de bielas y cojinetes.



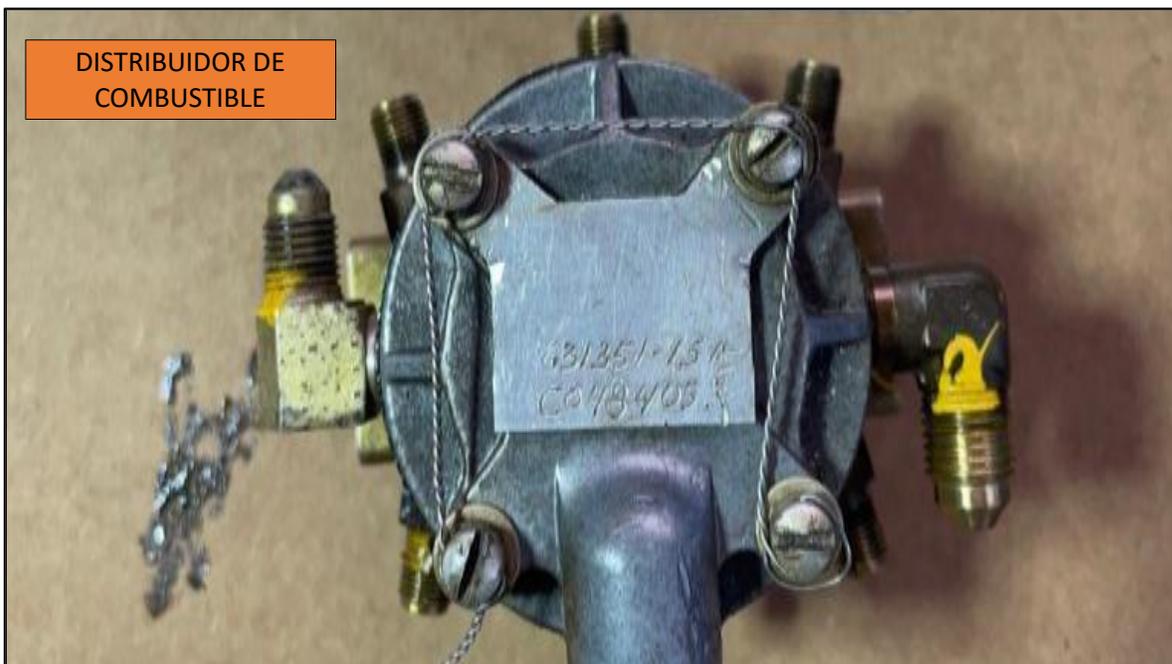
Fotografía No. 10. Deformación plástica en el cárter de potencia del motor Continental.

Durante el desensamble de los accesorios se identificaron componentes de sistema eléctrico tales como los magnetos:



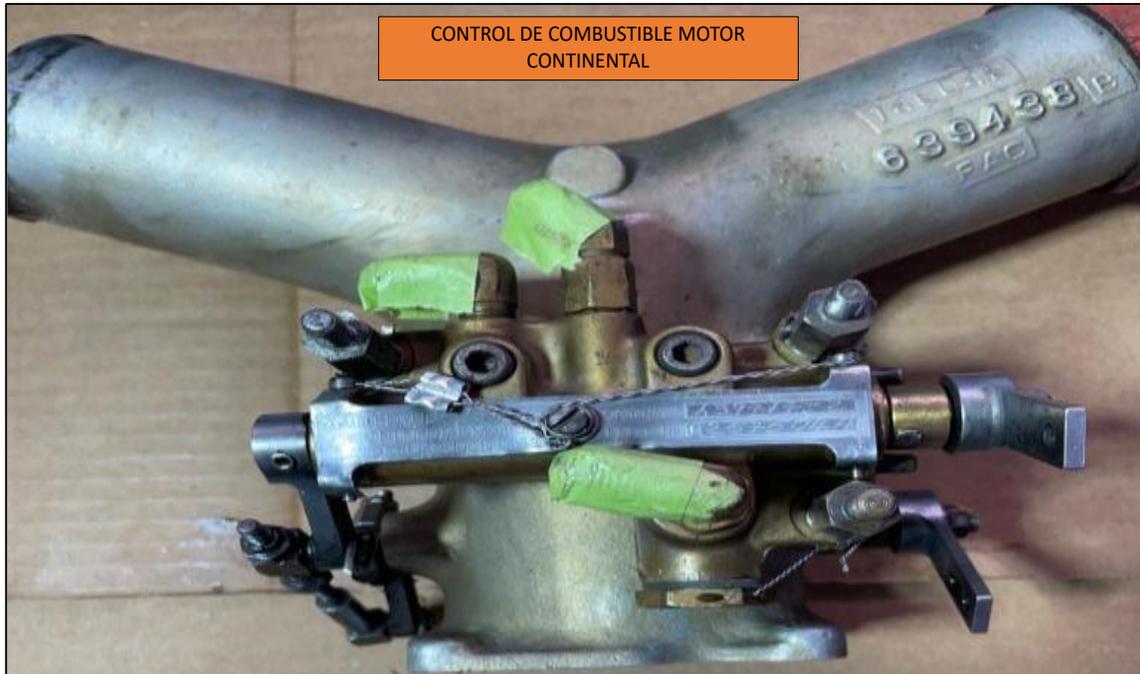
Fotografía No. 11. Componentes del sistema eléctrico del motor.

Se removió el distribuidor de combustible S/N: C048405R con sus respectivos tubos distribuidores e inyectores; se realizó prueba funcional a este componente resultando satisfactoria.

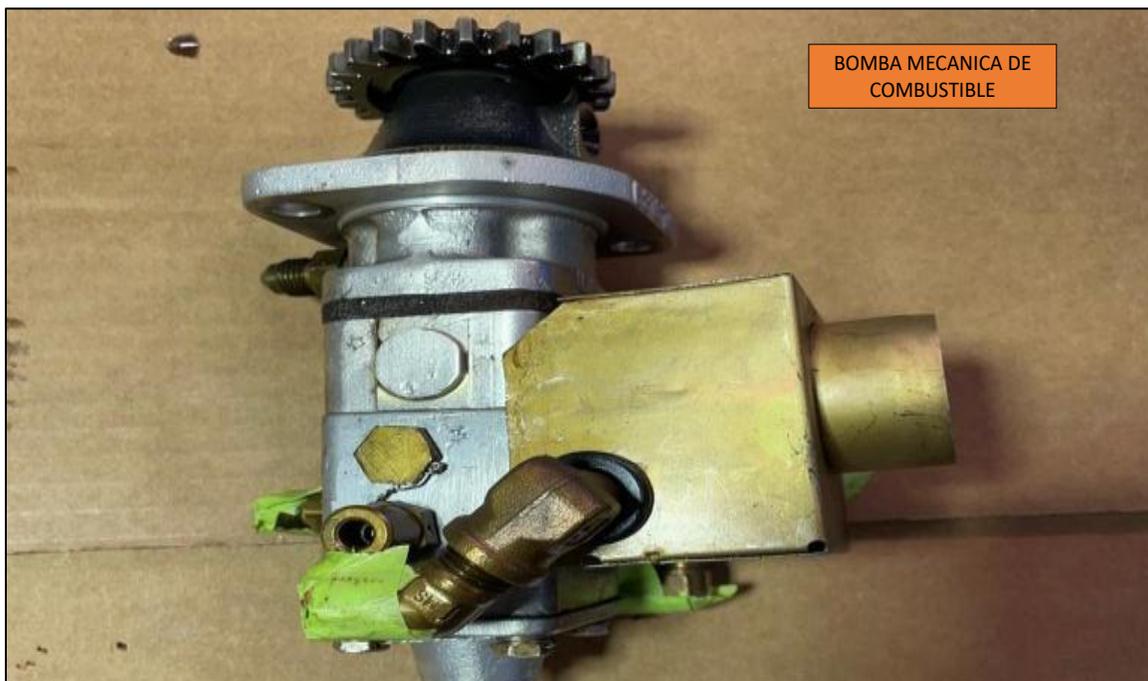


Fotografía No. 12. Componentes del sistema combustible del motor.

El control de combustible y la bomba mecánica del motor fueron removidos del motor; el control de combustible se instaló en el banco de pruebas, en donde fue sometido a diferentes pruebas de acuerdo con el manual de fabricante; estas pruebas tuvieron resultados satisfactorios.



Fotografía No. 13. Control de combustible instalado en el motor Continental.



Fotografía No. 14. Bomba mecánica de combustible.

Una vez removidos todos los accesorios del motor, se removió el sumidero de aceite y, además, el filtro principal de aceite; allí se encontraron restos de limalla metálica gruesa, resultado de la desintegración de componentes internos del motor.



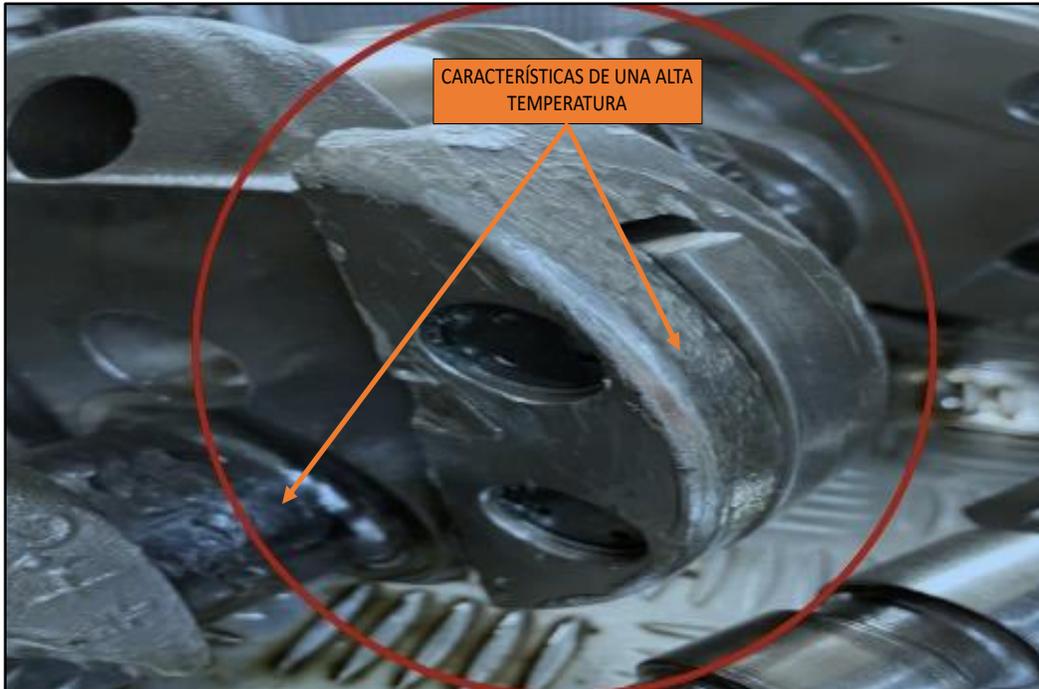
Fotografía No. 15. Sumidero de aceite con limallas gruesas.

El eje de levas presentaba abolladuras en diferentes partes; también se identificaron, microfracturas adyacentes a las abolladuras.



Fotografía No. 16. Estado del eje de levas.

Se observó que los muñones del cigüeñal tenían una apariencia de pérdida de material sobre sus pivotes, ocasionado posiblemente por un sobre esfuerzo en estos puntos, teniendo en cuenta que allí se concentran las cargas mayores de esfuerzos, de acuerdo con el diseño del material.



Fotografía No. 17. Deformación plástica y decoloración del material por altas temperaturas.

De acuerdo con el manual de fabricante del motor, la repartición mecánica de los piñones se encontró correcta, con una apariencia correcto funcionamiento.

En conclusión, el cigüeñal a la altura de los muñones de biela en la posición 4 y 5, se encontró con evidencia de alta temperaturas, debida a una posible obstrucción en los orificios de lubricación del cigüeñal; los cojinetes de las bielas 4 y 5 no se lograron evidenciar ya que, posiblemente, estos desaparecieron debido al rozamiento mecánico interno posterior a las rupturas de los componentes del motor.

1.17 Información orgánica y de dirección

El operador es una organización aeronáutica Trabajos Especiales de Aviación Agrícola. Sus operaciones se centralizan en la pista Arguaney; su base principal está ubicada en Yopal Casanare. Cuenta con una organización acorde con lo contemplado en el Manual General de Operaciones (MGO) capítulo 1, políticas y administración de la empresa.

Las operaciones aéreas que se ejecutan en la base son controladas por el coordinador de la base.

Las reparaciones mayores de los motores se realizan en un taller certificado, en Bogotá Colombia.

La empresa cuenta con registros de auditorías efectuadas a los proveedores de servicio, según lo dispuesto para un Sistema de Gestión de Seguridad Operacional (Documento 9859 de la OACI).

La organización cuenta con una Dirección de Operaciones y Mantenimiento, un jefe de Mantenimiento, un Representante Técnico y un Almacenista. La Seguridad Operacional depende directamente del Gerente; el día del evento el Sistema de Gestión de Seguridad Operacional se encontraba en fase de aceptación.

La empresa cuenta con un Manual de Estándares de Operación aceptado por la Autoridad de Aviación Civil.

La empresa cuenta con mantenimiento propio, aprobado para el cumplimiento del programa de mantenimiento del fabricante.

Se evidenció, durante la investigación, que el operador contaba con un programa de reportes para la identificación de peligros y gestión de riesgos de seguridad operacional.

1.18 Información Adicional

1.18.1 Funcionamiento del motor opuesto

El motor Continental IO-520D, es un motor de avión de seis cilindros opuestos horizontalmente producido por Teledyne Continental Motors.

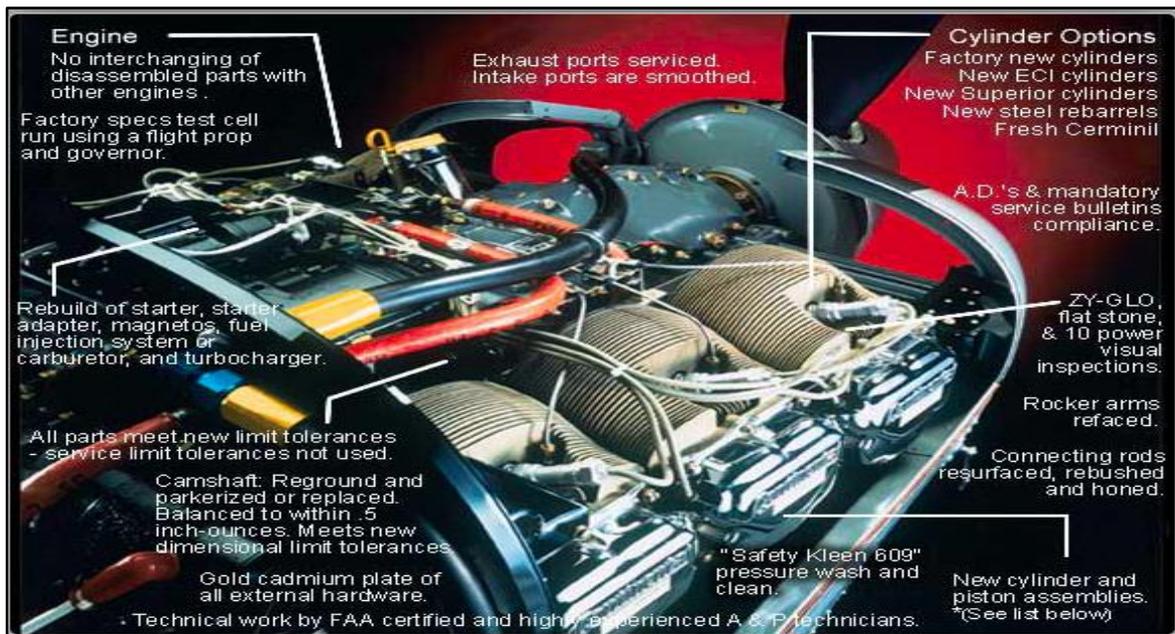


Imagen No. 5. Partes y accesorios del motor.

Un motor de pistones opuestos es un propulsor de combustión interna y movimiento alternativo, en el que cada cilindro tiene dos pistones (uno en cada extremo) y carece de una culata.

La característica de los motores opuestos radica en que cada pistón tiene su propia biela y además tiene una muñequilla en el cigüeñal, de forma que cada pareja de pistones, en su

movimiento, se aleja o se acerca al eje del motor de forma simultánea, y, por tanto, llega al mismo tiempo al punto muerto superior.

Las ventajas de un motor con los cilindros horizontales opuestos es que tiene un centro de gravedad más bajo, y en el caso de los motores bóxer, también son más cortos que los motores en línea. Además, debido al movimiento alternativo de los pistones, se contrarrestan las fuerzas, y son motores que tienen un buen equilibrio dinámico, y no necesitan contrapesos en el cigüeñal.

La desventaja es que son más anchos, y su fabricación es más costosa, ya que tienen más partes (se duplica el número de las culatas, por ejemplo).

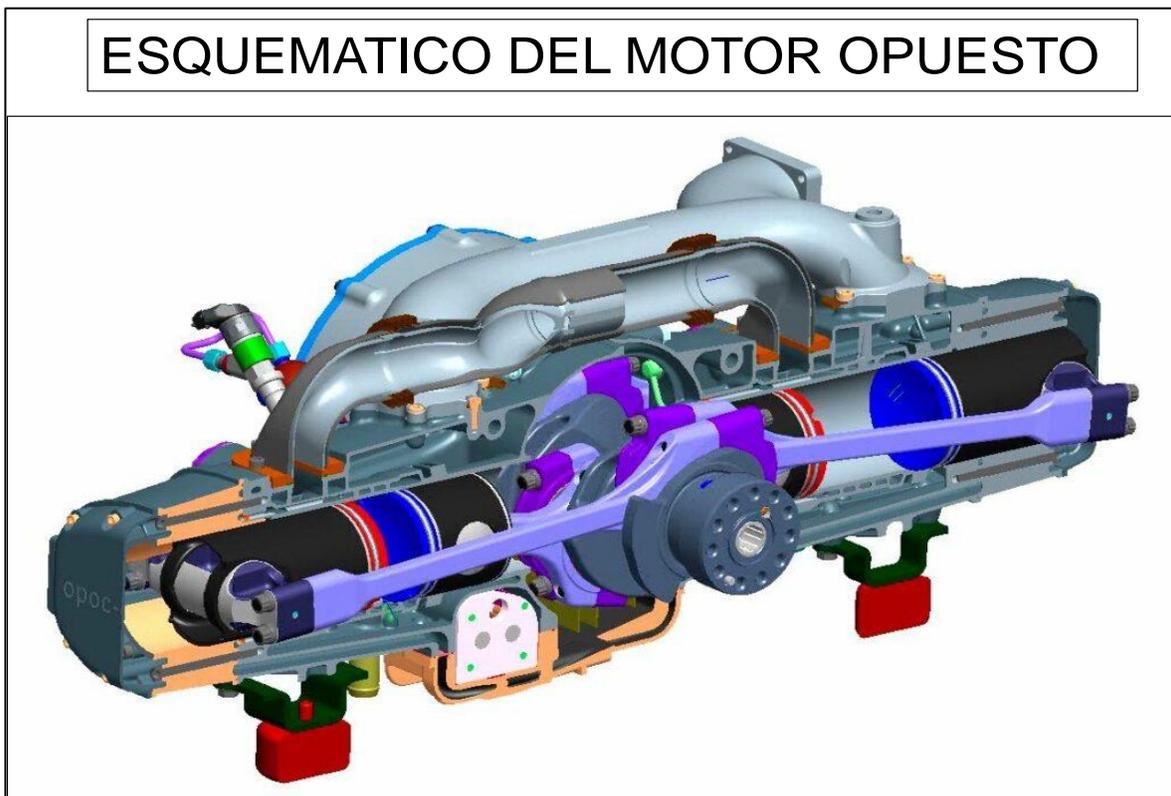


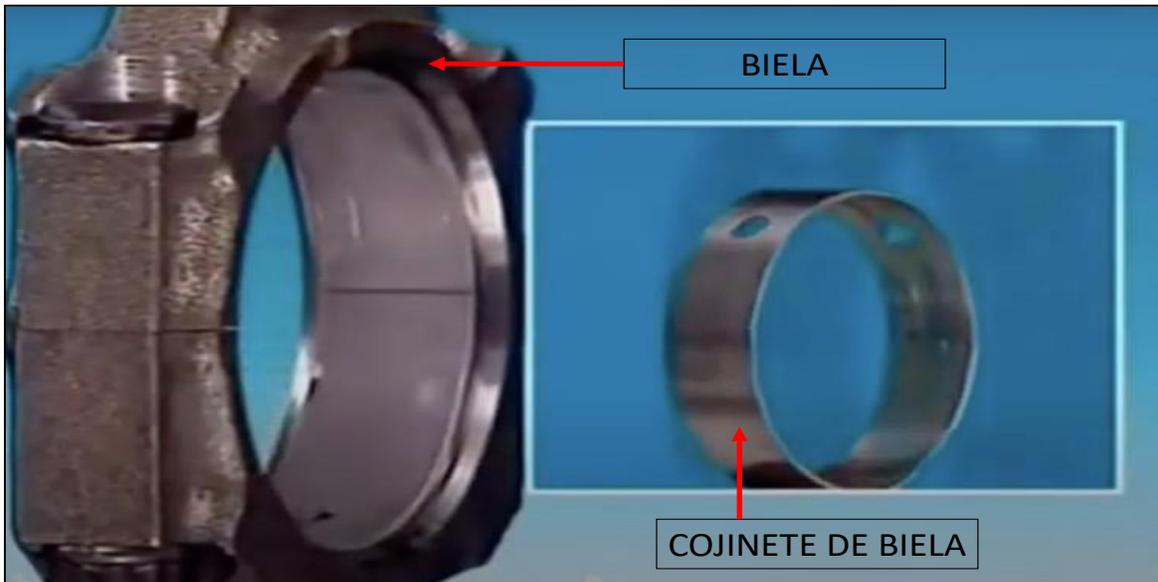
Imagen No. 6. Esquema del motor opuesto Continental.

1.18.2 ¿Qué es un cojinete y cual es función en el motor?

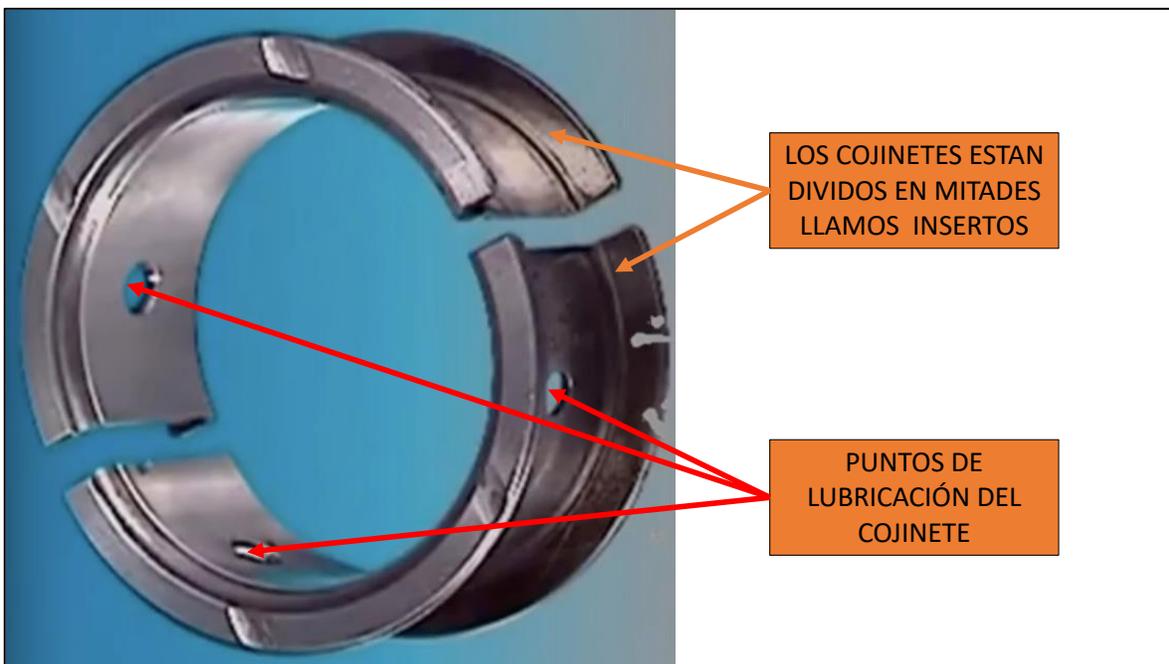
Los cojinetes de motor son los cojinetes de biela, cojinetes de cigüeñal y cojinetes de árboles de levas. Ningún motor puede funcionar sin estas piezas del motor; los cojinetes del motor son usados para proteger y permitir que las piezas giren libremente.

La biela debe ser capaz de girar libremente en el cigüeñal, a la vez que el cigüeñal debe de girar con la mínima resistencia sobre el bloque motor.

Los cojinetes de biela y los cojinetes de cigüeñal están divididos en mitades llamadas insertos.



Fotografía No. 16. Biela y cojinetes del motor.



Fotografía No. 17. Inserto de cojinetes de biela.

Los cojinetes del motor son puntos de apoyo de los ejes que los sostienen, transfiriendo energía mecánica y guiando su rotación, reduciendo al máximo el rozamiento entre materiales.

Los cojinetes pueden ir instalados directamente en la biela de los motores; suelen ir montados en soportes específicos con el fin de facilitar su instalación y evitar que migren durante el funcionamiento del motor.

Una de las características que deben cumplir los casquillos del motor, es que mediante una fina capa de lubricante eviten el contacto entre las dos superficies en rozamiento.

Por ese motivo, los motores tienen mayor desgaste en el arranque, porque los casquillos friccionan directamente sin la película de aceite.

1.18.3 Función de los cojinetes del motor

La función principal de los cojinetes es reducir la fricción que se produce entre los ejes y las piezas sobre las que rotan estos ejes. Esto se logra suministrando una superficie de lubricante para mejorar el deslizamiento.

Al mismo tiempo, también deben transmitir el calor provocado por ese rozamiento. La última función que cumplen los cojinetes es tener una superficie de desgaste blanda para que se desgasten estas piezas en vez de los ejes.

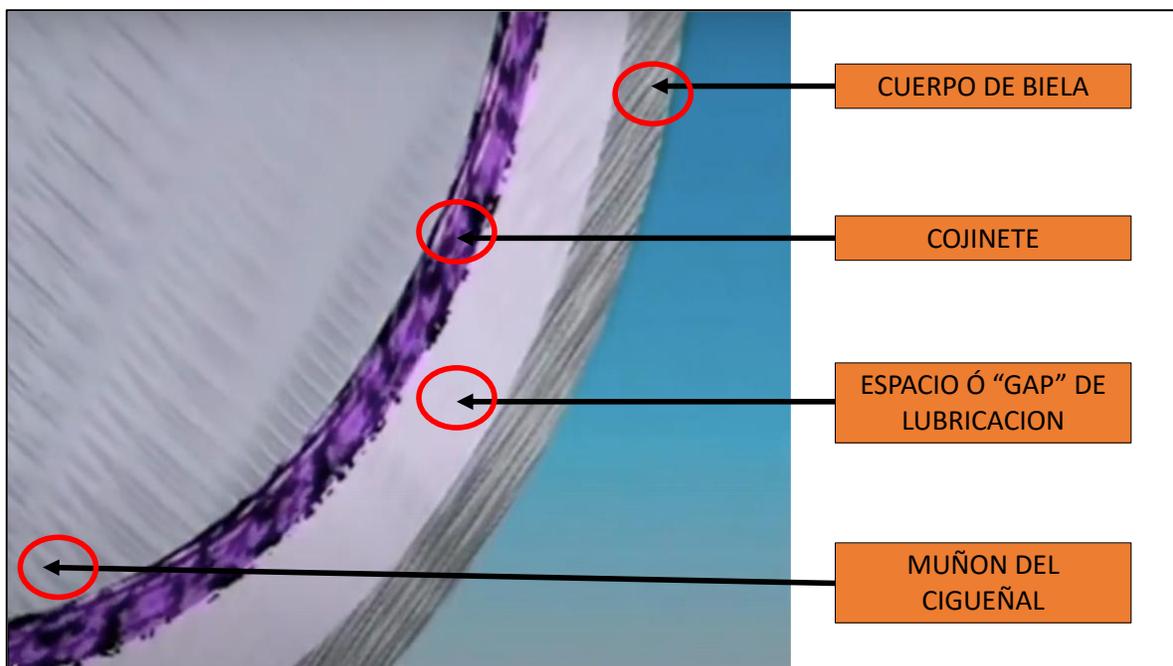


Imagen No. 7. Ubicación e instalación del cojinete en una biela.

1.18.4 Clases de cojinetes del motor

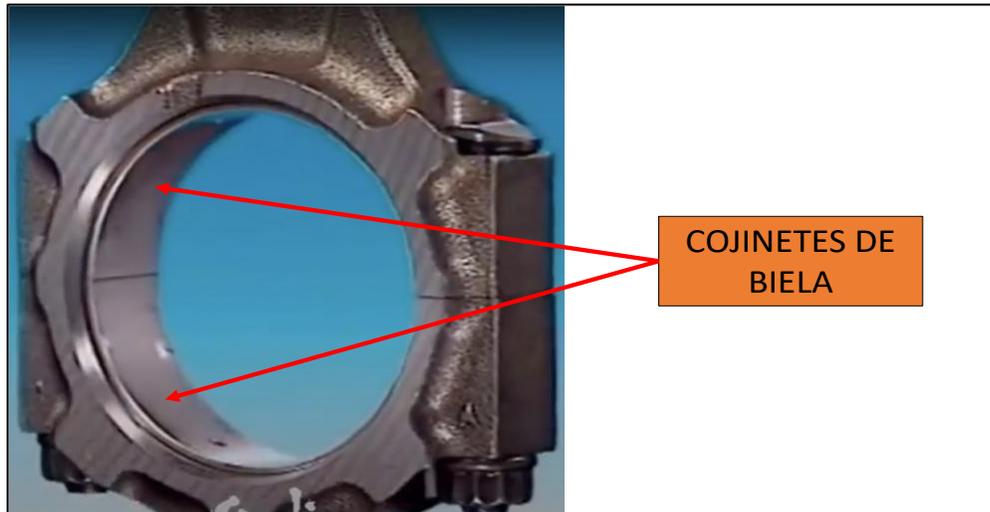
Los cojinetes se clasifican según el tipo de esfuerzo que soportan, de acuerdo con su diseño:

1. **Cojinetes radiales:** Impiden el desplazamiento del eje en dirección radial. Sirven de apoyo al eje y giran sobre él. Un ejemplo de estos serían los cojinetes de biela o del árbol de levas.
2. **Cojinetes axiales:** Impiden el movimiento del eje en la dirección de este. Sirven como soporte para evitar el movimiento longitudinal del eje.

1.18.5 Tipos de cojinetes

1. Cojinetes de biela

Las bielas, en su unión al cigüeñal por la cabeza de biela, se apoyan sobre estos casquillos. Son dos semicojinetes que se construyen en dos mitades para facilitar su instalación y remoción. Están asentados en un mecanizado y sujetas por el sombrerete de biela.



Fotografía No. 18. Cojinetes de biela.

2. Casquillos de bancada

Los cojinetes de cigüeñal de bancada son los elementos que soportan el giro del cigüeñal sobre el bloque motor. El número de casquillos de cigüeñal depende del número de cilindros y de la construcción del bloque motor.

También hay cojinetes axiales del cigüeñal, que controlan el desplazamiento longitudinal dentro del motor, con el fin de controlar que no roce hacia adelante y atrás con el bloque.

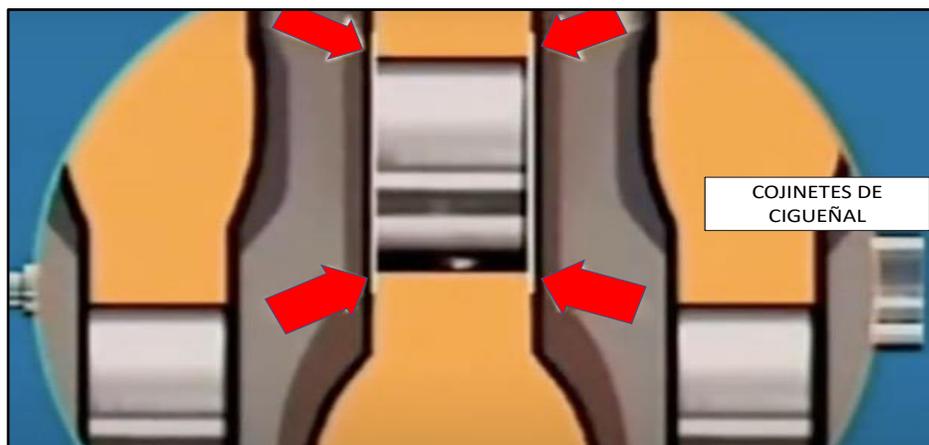


Imagen No. 8. Ubicación cojinetes de cigüeñal.

3. Cojinetes árbol de levas

El árbol de levas, en los motores de cuatro tiempos, también rota. Aunque este movimiento es la mitad de la del árbol motor, también necesita casquillos que le sirvan de soporte y reduzcan la fricción.

1.18.6 Características de los materiales para la fabricación de los cojinetes

- Bujes de cobre: presentan una composición química que corresponde a una aleación de bronce (cobre-estaño) grado C90500. Las durezas de los 6 bujes están en un rango entre 110 – 136 Brinell.

Se puede asociar esta dispersión a la dureza, probablemente debido al prolongado periodo de uso que presentaron. La microestructura está compuesta por una matriz de Fase alfa (α) y delta, característica de fundición de bronce – estaño.

- Bielas: presentan composición química que corresponde con el acero grado 2340 (Cromo Níquel acero con 0.40% más carbono), de acuerdo con la norma SAE.

Es un material típicamente utilizado en el sector aeronáutico y presenta un contenido de níquel importante, que contribuye con la propiedad anticorrosiva del material.

Presenta una dureza en un rango entre 27 – 30 HRC y una microestructura compuesta por martensita revenida material proveniente del acero.

- Buje de acero: presentan composición química que corresponde con el acero grado 6475 de acuerdo con la norma AMS.

Es un material típicamente utilizado en el sector aeronáutico y presenta un contenido de níquel importante, que contribuye con la propiedad anticorrosiva del material.

Presenta una dureza en un rango entre 43 - 45 HRC en el núcleo y 64 HRC en la superficie indicando que presenta un probable tratamiento térmico-químico de endurecimiento. Indica una microestructura compuesta por martensita revenida.

- Biela sección 5: microestructura compuesta por martensita revenida. La pieza presenta grietas paralelas en borde interno y externo de la biela, en la zona que colida con el buje de cobre.

El bronce grado C90500 es una aleación típica utilizada en el sector aeronáutico para aplicaciones de rodamientos, pines o bujes, pues se caracteriza por tener alta resistencia mecánica, dureza y resistencia al desgaste.

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.

2. ANÁLISIS

2.1 Operaciones de vuelo

El Piloto estaba apto técnica y psicofísicamente para la operación de aspersión aérea.

El funcionamiento del grupo moto-propulsor fue adecuado hasta el momento en que inició la pérdida total de potencia. No se presentaron daños externos gracias al control del Piloto en el aterrizaje de emergencia.

Analizando las declaraciones del Piloto, y la condición en la que se encontró el motor, se comprobó que hubo una falla total de la planta motriz y por esta razón el Piloto se vio obligado a realizar un aterrizaje de emergencia.

En vista de las condiciones de vuelo, sobre todo la baja altura, el Piloto seleccionó con buen criterio un sector del cultivo para realizar el aterrizaje forzoso, el cual coincidía con la misma dirección de la trayectoria de vuelo. El Piloto efectuó los procedimientos adecuados y aterrizó de manera controlada, sin generar daños a la aeronave.

2.2 Mantenimiento

El motor tenía 3694:30 horas totales y 228:24 horas después de una reparación que había sido realizada en un taller de reparaciones TAR en Colombia.

Durante la inspección de campo, se pudo determinar, por la posición en que quedaron las palas de la hélice, que el motor no estaba operando en el momento del aterrizaje.

En la inspección del motor post-incidente, al inspeccionar la parte interna del motor (cárter de potencia), se evidenciaron fracturas en las bielas 4, 5, 6, y deformación plástica sobre la biela maestra, así como la mala condición de los pistones.

La integridad de los componentes externos del motor permitió que se realizaran pruebas funcionales al carburador, a los magnetos y al sistema de combustible, encontrando funcionamiento normal de todos ellos.

Se realizó análisis de falla en un laboratorio especializado de metalurgia a las bielas, cojinetes, y a los componentes de sujeción de las posiciones 4, 5, 6.

La unidad de potencia del motor está compuesta por 6 bielas y varios componentes metálicos como bujes, pasadores y tornillos, cojinetes, que operan como acoples de todo el sistema. La evidencia suministrada indica que las 3 bielas presentaron fractura durante y posterior al evento de falla.

Para el análisis fractográfico el rotor se dividió en 3 secciones de interés que comprenden: las bielas 4, 5, 6, y los componentes internos que hacen parte del cárter de potencia del motor, cigüeñal.

De acuerdo con el análisis fractográfico las bielas de las secciones 4, 5, presentaron fractura como consecuencia de alta fracción soportada por la biela con el muñón del cigüeñal, además de haber soportado alta temperatura derivada de la alta fricción.

- **Bujes de cobre:** los dos bujes presentan agrietamiento frágil en las superficies del diámetro externo e interno, pérdida de dimensiones, deformación plástica severa,

desgaste severo adhesivo y erosivo, partículas adheridas en la superficie, y pérdida de material.

- **Bielas:** las bielas 4, 5 presentaron en las caras de fractura, crecimiento de grieta por fatiga desde el diámetro interno y externo. Múltiples grietas paralelas a la cara de rotura indicando que el componente presenta fatiga de material; su aparición y propagación se dan por la concentración de altas temperaturas en solo punto de la biela, ocasionando un envejecimiento prematuro que conllevó a una fatiga de material.
- **Bujes de acero:** no se encontraron mayores daños en estos componentes, más allá de picadura y desgaste superficial en las caras de diámetro externo, que se pueden asociar al uso operacional y condiciones de diseño.

La caracterización dimensional indica que las bielas y los bujes presentaron cambios dimensionales en los diámetros internos, producto probablemente del uso. Se desconoce el criterio del fabricante en cuanto a las tolerancias aceptables de deformación antes del cambio de los componentes.

En análisis metalográfico en las piezas de falla indicó:

- Bujes de cobre de las bielas 5 y 6: se encontró múltiple agrietamiento longitudinal paralelo a las caras de falla.

Microestructura deformada en las superficies de acuerdo con las acciones de desgaste, impacto y deformación superficiales durante su operación. Se observan partículas metálicas adheridas en las superficies.

- De acuerdo con el diseño y trabajo mecánico de la biela, es importante que se tenga un sistema de lubricación operando en condiciones normales, cuando los componentes internos del motor están operando, pues su microestructura, bajo condiciones extremas, es vulnerable a generar y propagar grietas frágiles, como en el presente caso, a causa de una alta fricción entre los componentes.

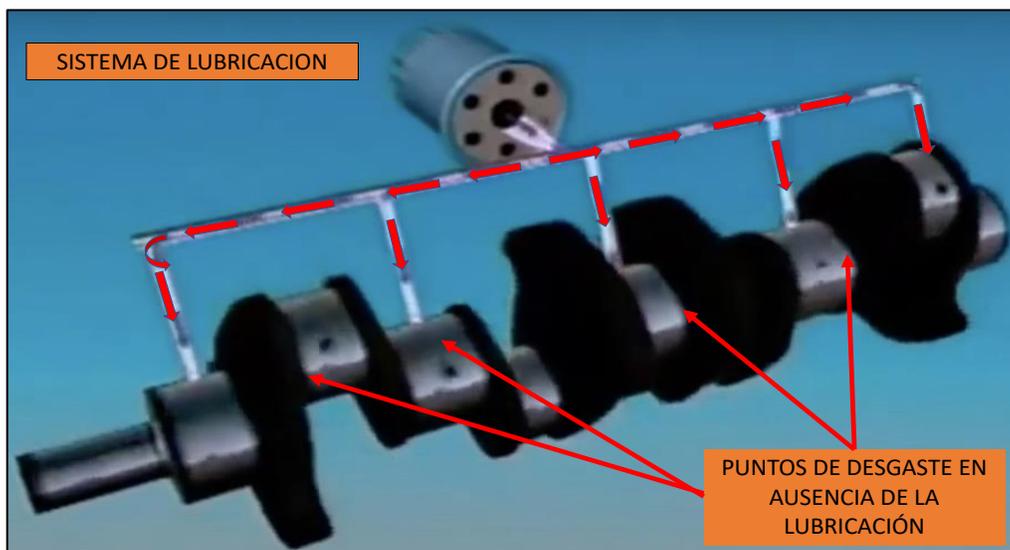


Imagen No. 9. puntos de fricción y concentración de esfuerzos.

- En el momento en que comienza el probable desgaste entre las superficies del buje y la biela (por una probable ausencia de lubricación), la geometría del buje pierde sus dimensiones originales, teniendo en cuenta que el desgaste severo generó pérdida en el de grosor del cojinete ocasionando desprendimiento y adición de partículas metálicas al sistema de lubricación del motor, que contribuyen con la pérdida de alineación sobre los soportes de las bielas, generando vibraciones considerables en todo el motor.

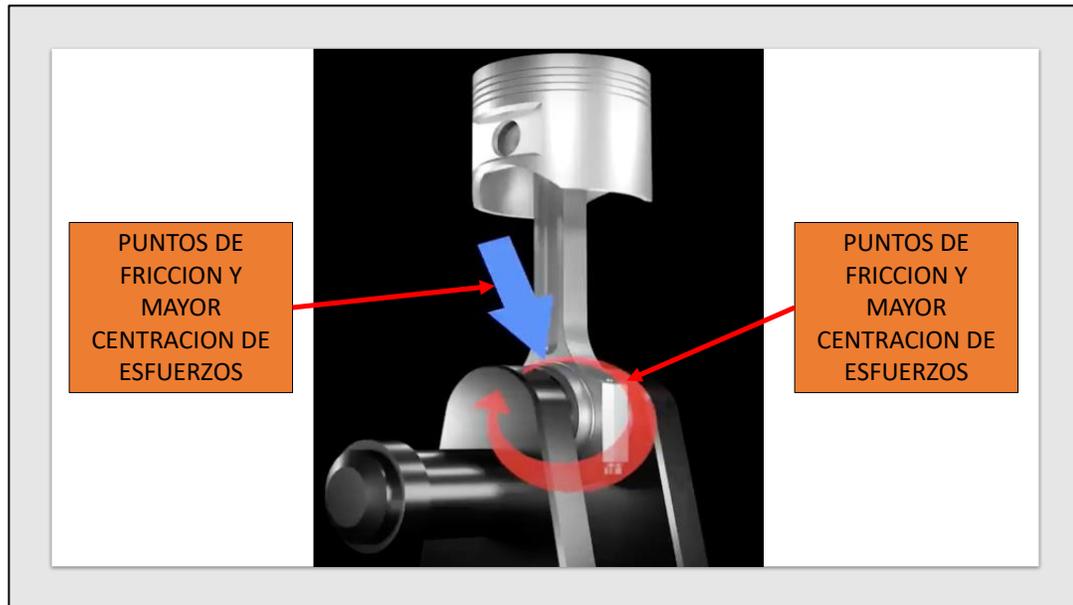


Imagen No. 10. Puntos de fricción y concentración de esfuerzos.

Es importante resaltar que la fractura de la biela maestra ocurrió en la zona de menor espesor, lo cual explica la aparición de las grietas adyacentes a la fractura principal, pues esta zona opera como un concentrador de esfuerzos por tensión y compresión bajos.



Imagen No. 11. Fracturas dúctiles fatiga material por fricción y temperatura.

Una posible incorrecta instalación de los cojinetes durante el proceso de ensamble del motor durante el último overhaul, pudo ocasionar una obstrucción al sistema de aceite que lubrica el conjunto de cigüeñal, bielas cojinetes.

Sin embargo, la aeronave voló 224 horas después de overhaul, lo cual significaría que, más allá de una incorrecta instalación de los cojinetes, posiblemente hubo un incorrecto ajuste de estos componentes, y que durante la operación del motor y los diferentes cambios de esfuerzos que sufren los cojinetes en su funcionamiento, el cojinete pudo haber migrado desde su punto preciso de instalación.

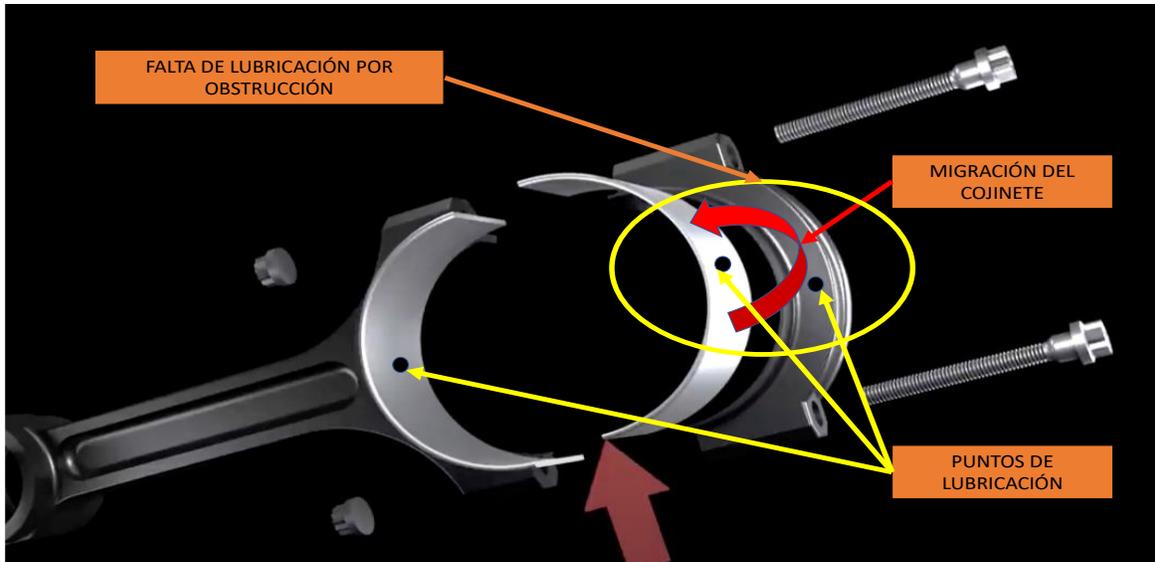


Imagen No. 12. Migración de cojinete obstrucción sistema aceite.

Como consecuencia de la probable migración del cojinete, el paso de aceite comenzó a obstruirse parcialmente; con el tiempo se incrementó la migración hasta que se bloqueó totalmente el punto de lubricación de los componentes.

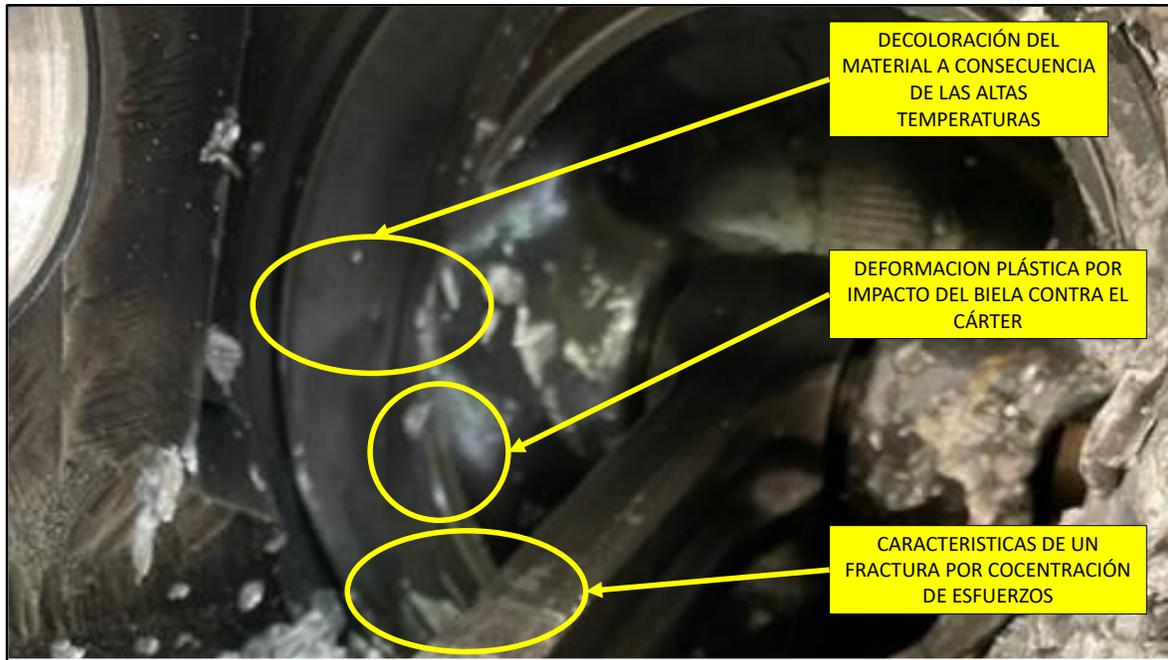
De esta manera, como consecuencia de la alta fricción entre los materiales y el aumento de temperatura, se hizo más difícil el libre movimiento de la biela con respecto al cigüeñal, hasta exceder los límites elásticos de la resistencia mecánica del material.

Esto resultó en una fractura total de la biela, que, por la inercia del movimiento del motor se desalineó, acción que provocó un golpe fuerte del brazo de la biela contra el cárter del motor, causando su fractura en vuelo.

Se desconoce si existía un programa de mantenimiento para los componentes internos del que identificara, por medio de inspecciones, daños por desgastes, deformaciones, o ausencia de lubricación.

Estos componentes son controlados de acuerdo con su utilidad o tipo de operación de desgaste, por medio de programas, con base en horas de uso de la máquina.

Lo anterior, teniendo en cuenta que los daños encontrados obedecen a fallas que se generaron en el tiempo y no a eventos súbitos.



Fotografía No. 19. Características de fractura de biela por fatiga de material.

La falla ocurre en las bielas 4 y 5, las cuales están geoméricamente ubicadas en las zonas con mayor carga a tensión en el rotor de biela.

La rotura final se da por la sección de menor espesor en la biela, lo cual concuerda con el concentrador de esfuerzos geométrico bajo carga a tensión.

De acuerdo con la información obtenida, las evidencias encontradas (las características de fatiga del material, la decoloración por altas temperaturas como consecuencia de fricción de los materiales por ausencia de lubricación) y los análisis y ensayos realizados, se determinó que posiblemente existió una acción inadecuada de mantenimiento, incorrecta instalación de cojinetes.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

ANALISIS DEL ACCIDENTE



Imagen No. 13. Cuadro esquemático de conclusiones para el incidente grave.

3. CONCLUSIÓN

Las conclusiones, las causas probables y los factores contribuyentes establecidos en el presente informe, fueron determinados de acuerdo con las evidencias factuales y al análisis realizado dentro del proceso investigativo.

3.1 Conclusiones

El Piloto se encontraba psicofísica y técnicamente apto para operar el equipo en el tipo de vuelo que realizaba.

La aeronave contaba con toda la documentación técnica y operacional vigente.

La aeronave cumplía con los servicios e inspecciones ordenadas según el Manual de Mantenimiento del fabricante.

En los documentos de mantenimiento de la aeronave no se hallaron registros de mal funcionamiento en los sistemas, motor o hélice del avión que pudieran relacionarse con el incidente grave.

Aunque la empresa cuenta con un procedimiento de control calidad propio para recibir trabajos de mantenimiento utilizando un Gestor de Calidad, no se tenía un procedimiento específico de acompañamiento o supervisión para las actividades de mantenimiento en los motores durante el proceso de overhaul.

Es posible que, durante los trabajos de overhaul, se hubiesen instalado de manera incorrecta los balancines de los cojinetes de las bielas No. 4 y 4, causando una obstrucción al sistema de lubricación del motor.

Como consecuencia de la concentración de esfuerzos combinados debido a la naturaleza funcional de las bielas, la fricción, la alta temperatura y una lubricación deficiente, se produjo un envejecimiento prematuro y una fatiga de material.

Se generó entonces una grieta en las bielas No. 4 y 5, que creció y se propagó.

El motor había operado durante 224 horas de vuelo desde el último overhaul.

Durante el segundo vuelo de aspersion, las bielas de las posiciones 4 y 5, se fracturaron, e impactaron contra el cárter de potencia, causando una fractura frágil en el cárter.

Una vez que se presentó la fractura de las bielas 4 y 5, y posteriormente la rotura del cárter superior, la combustión se hizo irregular, se perdió la compresión del motor en su totalidad, afectando sustancialmente la potencia del motor.

El Piloto sintió un ruido anormal del motor, semejante a una explosión, con pérdida de potencia súbita, fuerte vibración y humo blanco.

Ante la naturaleza de la falla, el Piloto aterrizó de manera controlada en un campo no preparado.

La aeronave no sufrió daños como consecuencia del aterrizaje de emergencia. El Piloto resultó ileso.

3.2 Causa probable

Aterrizaje de emergencia en campo no preparado por falla total del motor, ocasionada por la fractura de las bielas ubicadas en la posición 4 y 5, debida, probablemente, a una incorrecta instalación de los cojinetes, condición que impidió una adecuada lubricación.

3.3 Factores Contribuyentes

Deficientes procedimientos de orientación al personal de mantenimiento, en el Manual de Procedimientos de Inspección del taller especializado, para una apropiada toma de decisiones durante los procesos de instalación y ajustes de los cojinetes, ya que esta actividad no se clasifica como “trabajo especial en el motor”, pues este tipo de inconformidades son frecuentes durante la instalación de estos componentes.

Falta de claridad del Manual General de Mantenimiento, el cual, aunque contempla un procedimiento escrito para la de entrega de los motores después de un mantenimiento programado - no programado, no discrimina un procedimiento efectivo que garantice la operación y funcionalidad del sistema de la aeronave de manera técnica controlada, para casos especiales como la remoción e instalación de los cojinetes.

Envejecimiento prematuro del material base con el que se construye las bielas a causa de las altas temperaturas soportadas por el material y las fuertes fricciones que soportaron los componentes.

Posible incorrecta instalación de los cojinetes de las bielas 4 y 5 dando a lugar a una migración de estos, ocasionando un bloqueo al sistema de lubricación del motor.

Ausencia de las prácticas estándar para mantenimiento durante las acciones de instalación y remoción de componentes internos del motor, al no realizarse los ajustes correctos durante la instalación de los cojinetes.

3.4 Taxonomía OACI

SCF-PP: Falla del sistema o componente, planta motriz

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

4. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD OPERACIONAL

AL OPERADOR AÉREO

REC. 01 – 2022-17- 2

Revisar y mejorar las funciones de Gestor de Calidad del operador, para que asegure que él realice una inspección detallada durante y después de un servicio mayor de los motores, con el fin de prevenir que se apliquen incorrectos procedimientos de mantenimiento o de inspección, especialmente en lo que concierne a:

- Remoción e instalación de componentes internos del motor.
- Estándares para efectuar inspecciones visuales con inspección requerida RII para los procedimientos de remoción e instalación de los cojinetes del motor.

REC. 02-202217- 2

Crear un procedimiento en el Manual Organización de Mantenimiento de la empresa, para que se efectúe una inspección detallada durante el proceso de instalación de componentes en los motores durante los servicios mayores que se realicen en talleres autorizados, y que todos los procedimientos sean evaluados por el Representante Técnico autorizado por la compañía.

REC. 03-202217 - 2

Fortalecer los programas de entrenamiento de la empresa, de manera que se instruya al personal de mantenimiento sobre la aplicación correcta de las prácticas estándar en los trabajos, enfatizando sobre la correcta aplicación de los torques ajustes a los diferentes componentes del motor.

A LA SECRETARÍA DE AUTORIDAD AERONÁUTICA DE LA AEROCIVIL DE COLOMBIA

REC. 04-202217 - 2

Dar a conocer el presente informe de investigación a los operadores de 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