



INFORME FINAL

INCIDENTE GRAVE

COL-22-69-DIACC

Desprendimiento de hélice en vuelo

SCF-PP

Cessna 402-C

HK-3065

14 de octubre de 2022

En ruta Bahía Solano - Quibdó - 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

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.....	9
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 STC SA4222SW, <i>colisión avoidance and landing light</i>	13
1.6.3 Vortex Generator.....	13
1.6.4 Plano izquierdo y derecho.....	13
1.6.5 Control de combustible.....	13
1.6.6 Motores.....	13
Posición No. 1.....	13
Posición No. 2.....	14
1.6.7 Hélices.....	14
Posición No. 1.....	14
Posición No. 2.....	15
1.7 Información Meteorológica.....	15
1.8 Ayudas para la Navegación.....	15
1.9 Comunicaciones y Tránsito Aéreo.....	15
1.10 Información del Aeródromo.....	15
1.11 Registradores de Vuelo.....	16
1.12 Información sobre los restos de la aeronave y el impacto.....	16
1.13 Información médica y patológica.....	16
1.14 Incendio.....	16
1.15 Aspectos de supervivencia.....	16
1.16 Ensayos e investigaciones.....	16
1.16.1 Prueba de excentricidad del cigüeñal.....	17
1.16.2 Desensamblado y estado de los componentes internos del motor.....	17
1.16.3 Análisis de falla al material de los pernos de sujeción de hélice.....	18
1.16.4 Falla combinada entre tensión y torsión.....	18
1.16.5 Fatiga del material por tensión.....	20
1.16.6 Ludimientos en vástagos y Roscas.....	20

1.17	Información orgánica y de dirección	21
1.18	Información adicional.....	22
1.18.1	Funcionamiento de la hélice de paso variable	22
1.18.2	Proceso aerodinámico de una hélice	24
1.18.3	Vibraciones de la Hélice	29
1.18.4	Señales de la vibración.....	29
1.18.5	¿De dónde surgen las vibraciones?.....	30
1.18.6	Cuantificando los niveles de vibración	30
1.18.7	Causas más frecuentes de vibración.	31
1.18.8	Alineación incorrecta y descentramiento del eje	31
1.18.9	Vibraciones por holgura	31
1.18.10	Holguras tipo A	31
1.18.11	Holgura tipo B.....	31
1.18.12	Holgura mecánica tipo C.....	32
1.19	Técnicas útiles o eficaces de investigación.....	33
2.	ANÁLISIS	34
2.1	Operaciones de vuelo.....	34
2.2	Mantenimiento	34
3.	CONCLUSIÓN	38
3.1	Conclusiones	38
3.2	Causas probables.....	39
3.3	Factores Contribuyentes.....	39
3.4	Taxonomía OACI	39
4.	RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD OPERACIONAL	40

SIGLAS

DIACC	Dirección Técnica de Investigación de Accidentes – Autoridad AIG Colombia
HL	Hora Local
MGO	Manual General de Operaciones
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
PCA	Piloto Comercial de Aviación
POH	Manual de Operaciones del Piloto
RII	Ítem de inspección requerida
RPM	Revoluciones por minuto
SMS	Sistema de gestión para seguridad operacional
VFR	Reglas de Vuelo Visual
VMC	Condiciones Meteorológicas Visuales

SINOPSIS

Aeronave:	Cessna 402C
Fecha y hora:	14 de octubre de 2022, 10:35 HL
Lugar:	Radial 310º del VOR UIB – 32 NM DME - 5500 pies ASL.
Coordenadas:	N 5°51'21.32" W 076°53'46.99", aproximadas.
Tipo de Operación:	Taxi Aéreo
Número de ocupantes:	Cinco (5): dos (2) pilotos, tres (3) pasajeros.
Taxonomía OACI:	SCF-PP: Falla de componente sistema de motor.

RESUMEN

El 14 de octubre de 2022, la aeronave con matrícula HK-3065 despegó del aeródromo de Bahía Solano hacia el Aeródromo el Caraño, de Quibdó, Chocó. Transcurridos 25 de minutos de vuelo, a una altitud de 5500 pies, la hélice del motor izquierdo se desprendió súbitamente del motor.

Por las indicaciones de los parámetros del motor, la tripulación dedujo que se había presentado una parada súbita, y mientras aplicaba los procedimientos correspondientes, notó que la hélice se había desprendido. La tripulación se declaró en emergencia, el aeródromo El Caraño de Quibdó activó el Plan de Acción de Emergencia, y la aeronave aterrizó de manera controlada, y sin otra novedad. Los ocupantes resultaron ilesos.

La investigación determinó como **Causas Probables** del Incidente Grave, las siguientes:

Desprendimiento total de la hélice del motor izquierdo de la aeronave en vuelo, como resultado de altas vibraciones que fracturaron los pernos de sujeción y que desgarraron otros pernos del *hub* de la hélice, por incorrecto ajuste de estos componentes durante la instalación de la hélice en la última inspección de rutina.

Deficientes procedimientos de mantenimiento e inadecuada inspección por parte del Control de Calidad durante la instalación y ajuste de la hélice.

Además determinó los siguientes **Factores Contribuyentes**:

Carencia en el explotador, de un procedimiento específico, que indique parámetros o condiciones puntuales requeridas para efectuar la inspección y desarrollo de actividades de mantenimiento, tales como calificación o idoneidad del personal técnico.

Deficientes procedimientos de inspección escritos en el Manual General de Mantenimiento del operador, que orienten al personal de mantenimiento hacia una apropiada toma de decisiones durante los procesos de inspección, ya que no se evidencian procesos tales como inspecciones visuales con inspección y supervisión requerida, RII.

Equivocados procesos de Control de Calidad de mantenimiento durante los trabajos de instalación de la hélice y el motor, ya que dicho control lo efectuó Control de Calidad no como Inspector, si no como Técnico de Mantenimiento.

Carencia en el Manual General de Mantenimiento de la empresa de un procedimiento efectivo que garantice la operación y funcionalidad de los sistemas de la aeronave, de manera técnica y controlada, para casos especiales como la remoción e instalación de componentes internos del motor, a pesar de que en el Manual existe un procedimiento de entrega de las aeronaves y de sus motores después de trabajos de mantenimiento programado - no programado.

La investigación emitió cinco (5) recomendaciones de seguridad operacional.

1. INFORMACIÓN FACTUAL

1.1 Reseña del vuelo

El 14 de octubre de 2022 la aeronave con matrícula HK-3065 fue programada para realizar vuelos comerciales cubriendo la ruta Medellín – Bahía Solano – Quibdó – Bahía Solano – Quibdó – Medellín – Nuquí – Medellín – Nuquí – Medellín (EOH – BSC – UIB – BSC – UIB – EOH – NQU - EOH-NQU – EOH).

El primer vuelo, entre el aeródromo Enrique Olaya Herrera (de Medellín) y Bahía Solano, se efectuó de manera normal, y la aeronave aterrizó en el aeródromo José Celestino Mutis de esa población, sin novedad.

Posteriormente a las 10:10 HL, la aeronave despegó del aeródromo de Bahía Solano, hacia el aeródromo El Caraño, de Quibdó, Chocó. Transcurridos 25 de minutos de vuelo, cuando la aeronave volaba a una altitud de 5500 pies, y luego de interceptar el radial 310° del VOR de Quibdó aproximadamente a 32 NM del aeródromo de Quibdó, la tripulación escuchó un fuerte ruido proveniente del motor izquierdo.

La tripulación presintió que, aparentemente, había ocurrido una parada súbita del motor, pues el ruido vino acompañado de pérdida de indicación de los parámetros del motor, tales como las RPM, la presión de aceite y la temperatura de aceite.

Una vez que corroboró que aparentemente el motor izquierdo había fallado, la tripulación aplicó el procedimiento de emergencia correspondiente y notificó la situación a la Torre de Control de El Caraño. Sin embargo durante el cumplimiento del procedimiento de emergencia el Piloto al mando de la aeronave observó que la hélice del motor izquierdo se había desprendido de su soporte principal.

La tripulación informó esta condición a la Torre de Control y se declaró en emergencia. El ATC activó el Plan de Acción de Emergencia del aeródromo.

La tripulación continuó el vuelo y aterrizó la aeronave de manera controlada en Quibdó.

Una vez en tierra, la aeronave se desplazó por sus propios medios hasta la posición de parqueo. Los bomberos del aeródromo hicieron presencia, y, una vez que la aeronave se detuvo totalmente y que la tripulación apagó el motor derecho, realizaron la inspección exterior de la aeronave, sin encontrar otras novedades, y verificaron la condición de los ocupantes.

La tripulación y los pasajeros abandonaron la aeronave por sus propios medios, sin lesiones.

El Incidente Grave ocurrió con luz del día y en condiciones meteorológicas visuales.

La Autoridad de Investigación de Accidentes de Colombia (Dirección Técnica de Investigación de Accidentes – DIACC) fue notificada del suceso, por parte del Director de SMS de la empresa, el mismo día del evento; se dispuso entonces el desplazamiento de un Investigador, quien llegó a Quibdó un día después del suceso.

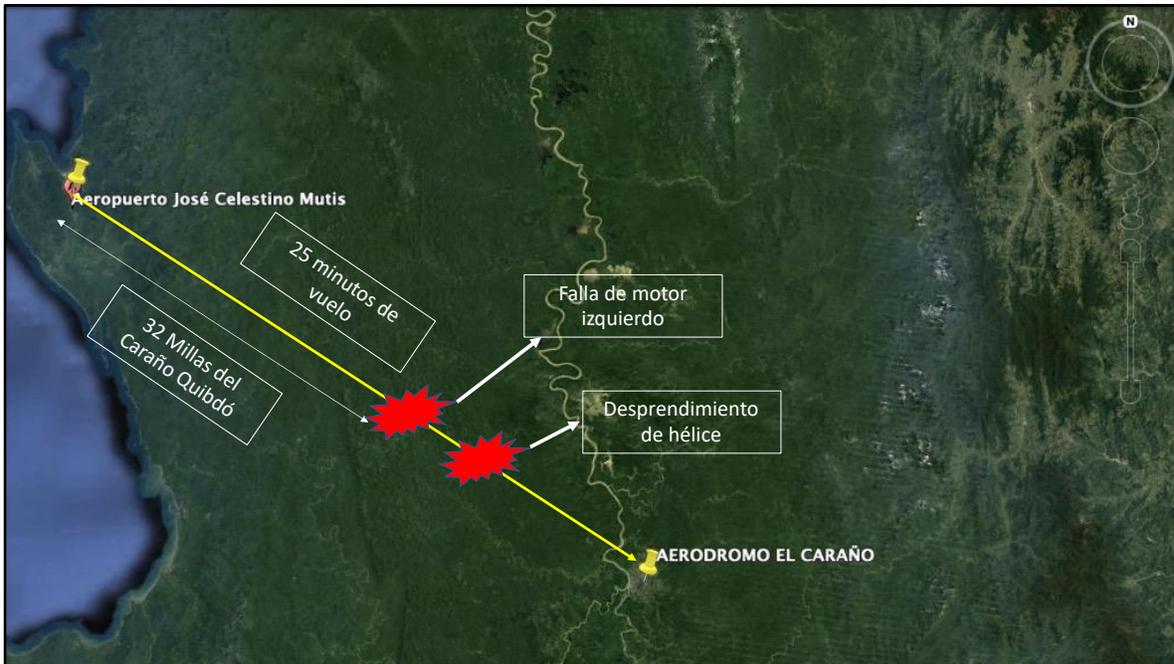


Imagen No. 1: Ubicación del área en donde se presentó la falla HK-3065.



Fotografía No. 1: Estado de la aeronave HK-3065 al aterrizar en Quibdó.

1.2 Lesiones personales

Lesiones	Tripulación	Pasajeros	Total	Otros
Mortales	-	-	-	-
Graves	-	-	-	-
Leves	-	-	-	-
Ilesos	2	3	5	-
TOTAL	2	3	5	-

1.3 Daños sufridos por la aeronave

Una vez que se efectuó una inspección general a la aeronave, no se encontraron en ella daños exteriores que pudieran haber sido ocasionados por los componentes que se desprendieron en vuelo.

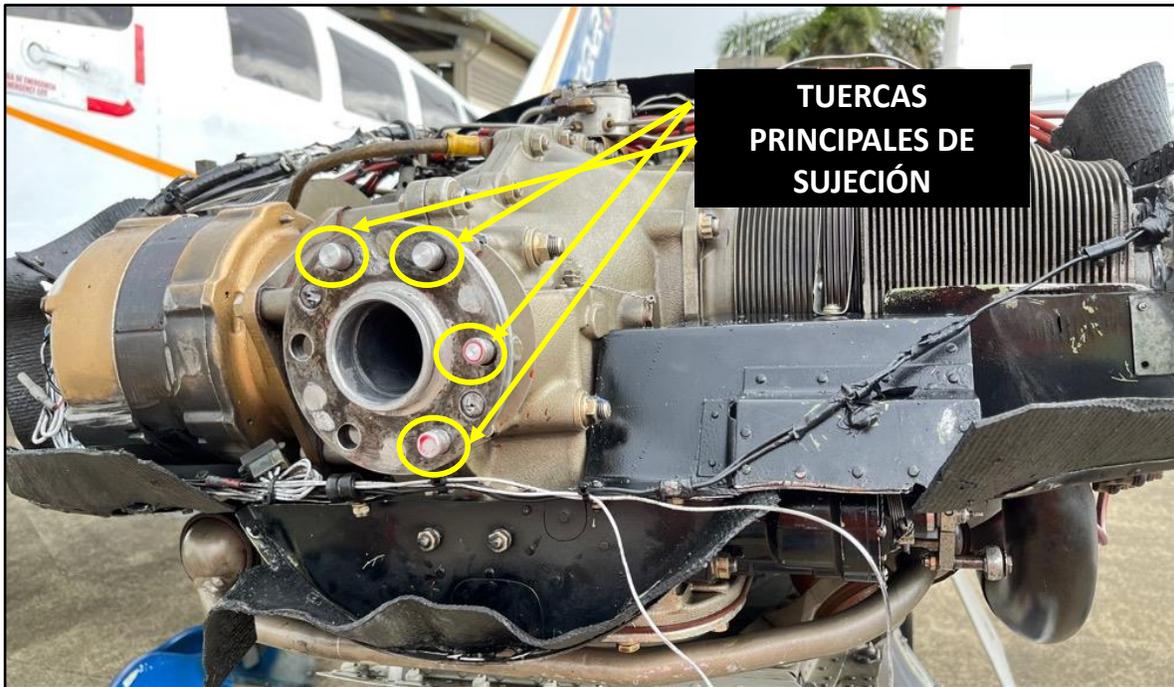
La hélice desapareció, junto con el spinner. En vista de la altura sobre la superficie y las características del terreno inhabitado y selvático sobre el cual ocurrió el desprendimiento de la hélice, no se intentó su localización.



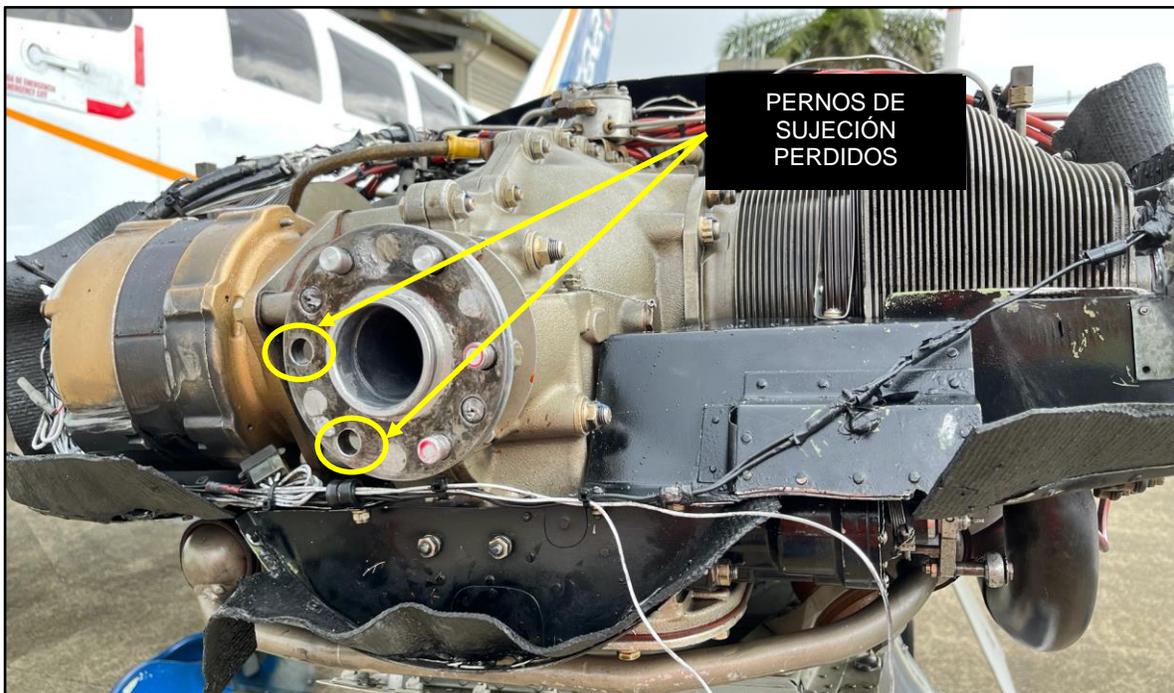
Fotografía No. 2: Condición del motor izquierdo durante la inspección de campo.

Durante la inspección de campo se evidenció la fractura de los pernos que sostienen la hélice; además, se determinó una posible parada súbita de motor.

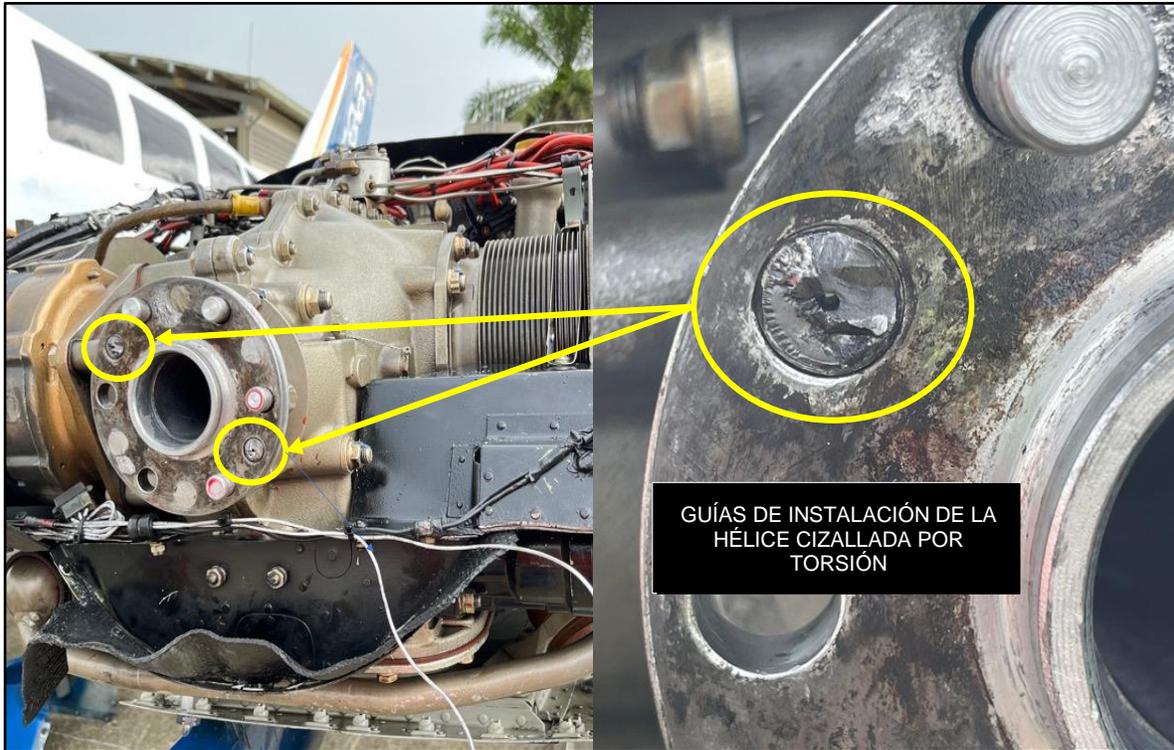
La hélice del motor es sostenida del *flanche* del cigüeñal por seis (6) espárragos con tuercas de seguridad. Sin embargo solo se encontraron cuatro (4) espárragos con sus tuercas sujetadas del *flanche* del motor.



Fotografía No. 3: Pernos de sujeción de la hélice.



Fotografía No. 4: Pernos de sujeción perdidos.



Fotografía No. 5: Guías de instalación de la hélice desaparecidas.

1.4 Otros daños

Ninguno. No hubo daños a estructuras ni a terceros.

1.5 Información personal

Piloto

Edad:	28 años
Licencia:	Piloto Comercial de Avión, PCA
Certificado médico:	Primera clase, vigente
Equipos volados:	Mono motores y multi motores hasta 5700 kg.
Último chequeo en el equipo:	17 marzo de 2022
Total horas de vuelo:	1650 horas aprox.
Total horas en el equipo:	423:24 horas aprox.
Horas de vuelo últimos 90 días:	53:55 horas.
Horas de vuelo últimos 30 días:	25:11 horas.
Horas de vuelo últimos 03 días:	00:00 horas
Horas de vuelo últimas 24 horas:	01:21 horas.

El Piloto contaba con sus licencias PCA vigentes, sus respectivos chequeos de vuelo en la aeronave, y con los certificados médicos vigente sin restricciones.

Copiloto

Edad:	28 años
Licencia:	Piloto Comercial de Avión, PCA
Certificado médico:	Primera clase, vigente
Equipos volados como piloto:	Mono motores hasta 5700 kg, Multimotores hasta 5700 kg.
Último chequeo en el equipo:	30 marzo 2022
Total horas de vuelo:	1454:23 horas aprox.
Total horas en el equipo:	256:34 horas
Horas de vuelo últimos 90 días:	132:37 horas
Horas de vuelo últimos 30 días:	54:12 horas
Horas de vuelo últimos 03 días:	11:08 horas
Horas de vuelo últimas 24 horas:	5:40 horas

El Copiloto contaba con sus licencias PCA vigentes, sus respectivos chequeos de vuelo en la aeronave, y con los certificados médicos vigente sin restricciones.

1.6 Información sobre la aeronave y el mantenimiento

1.6.1 Aeronave

Marca:	Cessna
Modelo:	402 C
Serie:	402 C-0484
Año de fabricación:	1975
Matrícula:	HK-3065
Certificado aeronavegabilidad:	0004218
Certificado de matrícula:	R0010719
Fecha de fabricación:	1982
Fecha último servicio:	01 octubre de 2022
Total horas de vuelo:	5441:51 horas
Total ciclos de vuelo:	6133 ciclos

El 01 de octubre de 2022, se le realizó a la aeronave un servicio de 50 horas, durante la cual se inspeccionaron los siguientes sistemas:

1.6.2 STC SA4222SW, *colisión avoidance and landing light*

Se verificó la operación correcta de las luces de CAL izquierda y derecha, correcto alumbramiento hacia adelante del bulbo y correcta distancia de luminosidad.

Se verificó la correcta instalación y estado del cable, y se chequeó el fusible protector del sistema.

Se verificaron los soportes de los bulbos izquierdo y derecho, por condición y correcta instalación.

1.6.3 Vortex Generator

Se inspeccionó la superficie superior de los planos, el estabilizador vertical por condición, correcta instalación y cantidad de generadores.

1.6.4 Plano izquierdo y derecho

Inspección general por condición a la estructuras de los puntos de sujeción de los planos izquierdo y derecho.

Inspección nivel 1 a la estructura de la raíz de los planos por condición general y corrosión.

Inspección general a los drenajes de punta de plano por condición y obstrucción.

Inspección por condición y obstrucción a nacela a nacela del motor.

Inspección por obstrucción a los tubos de drenaje en la salida del borde de ataque localizado en la raíz de la nacela.

1.6.5 Control de combustible

Inspección por condición, fugas y seguridad a las bombas de combustible de motor.

Inspección por condición y seguridad al sistema indicación de combustible y flujo de combustible.

Inspección al filtro de combustible por condición seguridad y objetos extraños.

Inspección por condición y correcta operación al sistema de inyección de combustible, incluidas válvulas de drenado y manifold.

1.6.6 Motores

Posición No. 1

Marca:	Continental
Modelo:	TSIO-520-VB
Serie:	516500
Total horas de vuelo:	5894:16 horas
Total ciclos de vuelo:	Desconocidos
Total horas D.U.R.G:	1624:24 horas
Fecha último servicio:	01 de octubre de 2022

Se encontró que este motor, con número de serie 516500, se había instalado en la aeronave en el mes de julio de 2022.

Posición No. 2

Marca:	Continental
Modelo:	TSIO-520-VB
Serie:	1034888
Total horas de vuelo:	2836:35 horas
Total ciclos de vuelo:	Desconocidos
Total horas D.U.R.G:	864:43 horas
Fecha último servicio:	01 de octubre de 2022

El 01 de octubre de 2022, se había realizado a los dos motores un servicio de 50 horas con algunos puntos de servicio de 200 horas; dentro de estas tareas de mantenimiento se identificaron las siguientes:

- Inspección visual por corrosión al sistema de escape de motor, de acuerdo al programa de mantenimiento extendido.
- Reemplazo de filtro aceite de motor e inspección visual a otros elementos de filtrado.
- Corrección por posibles fugas de combustible o aceite.
- Pruebas con motor encendido de indicaciones normales de temperatura, revoluciones por minuto RPM, aumento de mezcla en mínimas, operación en los diferentes puntos de potencia, hasta llegar el punto máximo de take off.
- Recolección de muestras de aceite, para análisis profundo de laboratorios.
- Reemplazo de aceite de motor, de acuerdo con lo descrito en el manual del fabricante.
- Inspección al sistema de inducción del motor de acuerdo con la parte 6-4-21, del manual de fabricante del motor.
- Se inspeccionó los drenajes de los cilindros, de acuerdo con los procedimientos del fabricante del motor.
- Inspección por condición y correcto ajuste a las tuercas de base de cilindros.

1.6.7 Hélices

Posición No. 1

Marca:	Mc Cauley
Modelo:	3AF32C993-N2R
Serie:	970506
Total horas de vuelo:	4636:43 horas
Total ciclos de vuelo:	Desconocidos
Total horas DURG:	137:11 horas

Fecha último servicio:	01 de octubre de 2022
Posición No. 2	
Marca:	Mc Cauley
Modelo:	3AF32C61-R
Serie:	970519
Total horas de vuelo:	6961:43 horas
Total ciclos de vuelo:	Desconocidos
Total horas DURG:	137:11 horas
Fecha último servicio:	01 de octubre de 2022

El 01 de octubre de 2022 se les había realizado a las dos hélices, un servicio de 50 horas con algunos puntos de servicio de 200 horas; se identificó que, en ese servicio se efectuó una inspección visual por condición y seguridad al *spinner* de los motores y a todos sus componentes.

El 19 de marzo de 2022, se les cumplió a las hélices una reparación general, reemplazo de partes mandatorias, pruebas no destructivas, balanceo dinámico y las pruebas principales.

Las hélices se habían instalado en los motores, el mes de agosto de 2022, después de un reemplazo de motores de la aeronave HK3065.

1.7 Información Meteorológica

El desprendimiento de la hélice ocurrió en condiciones visuales, VMC, a 5.500 ft ASL. No hubo injerencia de la Meteorología en este suceso.

1.8 Ayudas para la Navegación

El vuelo se realizó en condiciones visuales, y las ayudas para la navegación en ruta no tuvieron injerencia en el accidente.

1.9 Comunicaciones y Tránsito Aéreo

La tripulación mantuvo comunicación en todo momento con la Torre de Control El Caraño, de Quibdó, utilizando la frecuencia 118.1 MHz.

Ni las comunicaciones ni el Tránsito Aéreo tuvieron injerencia en el suceso.

1.10 Información del Aeródromo

El aeródromo el Caraño se encuentra ubicado dentro de las coordenadas N054126.87 W076 38 28.39, este aeropuerto es administrado por la Aeronáutica Civil y por una Concesión Aeroportuaria privada.

El aeropuerto el Caraño tiene una elevación de 204 pies o 62 metros sobre el nivel medio del mar, a una temperatura de 31°C

La superficie de la pista es asfáltica, cuenta con dos cabeceras de pista 13 y 31 y una distancia total de 1400 metros. Cabecera 31 posee luces PAPI para la aproximación.

El aeródromo reaccionó apropiadamente a la declaración de emergencia de la aeronave HK3065 y prestó los servicios de reacción.

El aeródromo no fue un factor influyente en el Incidente Grave.

1.11 Registradores de Vuelo

De acuerdo a la configuración del fabricante y la normatividad vigente, la aeronave Cessna 402 no cuenta con registradores de vuelo.

1.12 Información sobre los restos de la aeronave y el impacto

La hélice del motor izquierdo de la aeronave HK3065 se desprendió en el vuelo entre el aeropuerto José Celestino Mutis de Bahía Solano, y El Caraño de Quibdó, cuando habían transcurrido aproximadamente 25 de minutos de vuelo después del despegue, cuando la aeronave volaba a 5.550 ft ASL, por el radial 310º del VOR de Quibdó, aproximadamente a 32 NM del aeródromo de Quibdó.

La hélice desapareció, junto con el spinner. En vista de la altura sobre la superficie y las características del terreno inhabitado y selvático sobre el cual ocurrió el desprendimiento de la hélice, no se intentó su localización.

El desprendimiento de la hélice y del spinner no afectaron a otras partes de la aeronave. Los componentes internos del motor mantuvieron su integridad.

En la inspección de campo se evidenció la fractura de los pernos que sostenían la hélice.

1.13 Información médica y patológica

La tripulación y los ocupantes de la aeronave la abandonaron por sus propios medios, sin sufrir lesiones.

1.14 Incendio

No se evidenció presencia de fuego antes ni después del incidente grave.

1.15 Aspectos de supervivencia

No aplicables en este caso, pues la aeronave en emergencia aterrizó de manera segura en un aeródromo controlado y con los servicios necesarios.

1.16 Ensayos e investigaciones

La investigación determinó que era necesario realizar inspecciones al motor TSIO-520- VB, S/N 516500, y a sus accesorios internos en un taller autorizado y aprobado por la Aeronáutica Civil de Colombia, las cuales se cumplieron en la forma tal como se describe a continuación.

1.16.1 Prueba de excentricidad del cigüeñal

La inspección al motor se inició con una prueba de excentricidad al cigüeñal utilizando los parámetros dados por el fabricante. Esta medición encontró que el cigüeñal con serie número F1888 se encontraba dentro de límites establecidos por el fabricante; se continuó entonces con el desensamble de componentes del motor, para descartar daños ocultos internos.



Fotografía No. 6: Condición del motor para inspección.

1.16.2 Desensamble y estado de los componentes internos del motor

Durante el proceso de desensamble se observó debidamente dispuesta y en buenas condiciones, la repartición mecánica de los piñones; y con apariencia de haber estado funcionando correctamente.

Por lo tanto, se puede inferir que el motor funcionó adecuadamente hasta el momento del desprendimiento de la hélice.

El estado como se encontraron los espárragos en el flanche de la hélice del cigüeñal, se podía relacionar con una posible inadecuada aplicación del torque, no establecido por el fabricante.

Después de haber removido todos los componentes internos y externos del motor en su totalidad y haber sido inspeccionados minuciosamente, se descartaron otras posibles fallas en los componentes que hubieran podido afectar su operación.

1.16.3 Análisis de falla al material de los pernos de sujeción de hélice

El objeto de este estudio era encontrar la causa raíz de falla de dos pernos de sujeción de la hélice instalada en el motor Continental.

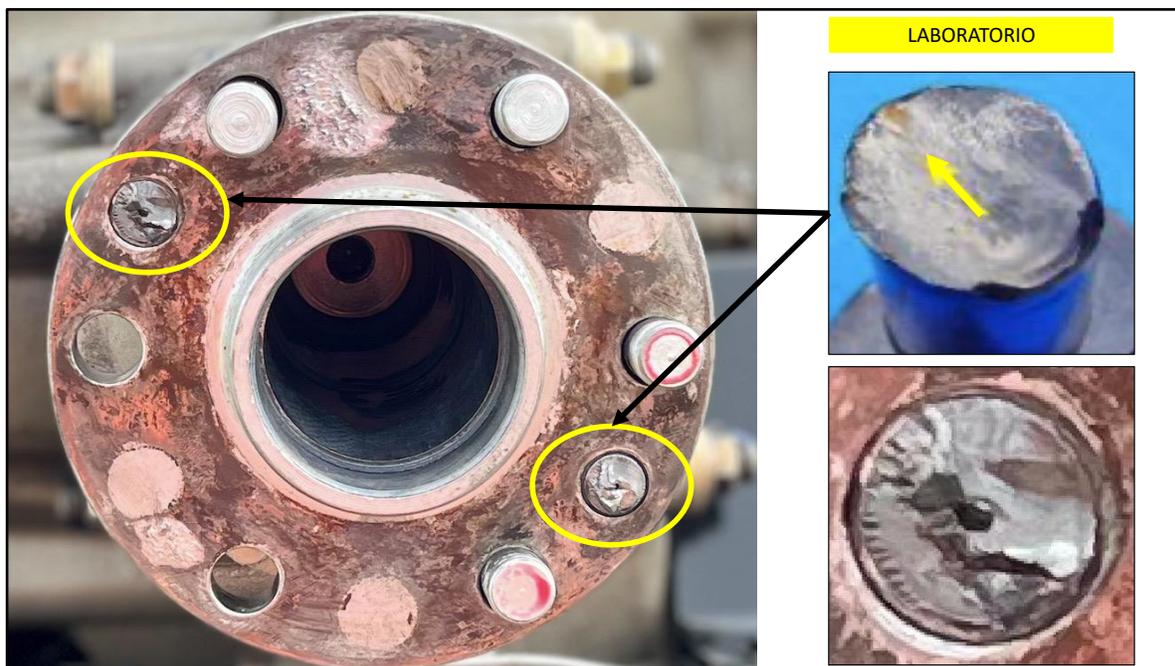
El análisis de falla por causa raíz ante un problema, consiste en descartar una serie de posibles causas que se pudieron presentar para llegar a la raíz del mismo, siguiendo una serie de preguntas que facilitan y agilizan llegar al origen del problema (Imagen No. 2).

Durante el análisis a los dos pernos que se encontraron cizallados en el motor con la hélice faltante, se logró determinar que cumplían con las características de una falla combinada entre tensión y torsión, entendiéndose lo siguiente:

1.16.4 Falla combinada entre tensión y torsión

El tornillo presenta forma de entorchamiento; además se aprecia que su textura es granular, combinada con una textura fibrosa; para los tornillos de “alto grado” cuando existe este tipo de falla, domina la textura granular, y para los de “bajo grado” domina la textura fibrosa.

Se puede observar claramente estos dos tipos de textura, ya que esas líneas que se ven son de textura fibrosa, y por los bordes se puede observar la textura granular; además, se puede notar que se tratan de formar escalones en la superficie de la falla.



Fotografía No. 7: Falla combinada en pernos de la hélice.

Este tipo de falla solo se da cuando existe un sobre torque o *par de apriete* al tornillo, lo cual genera sobrecargas de tensión y torsión.

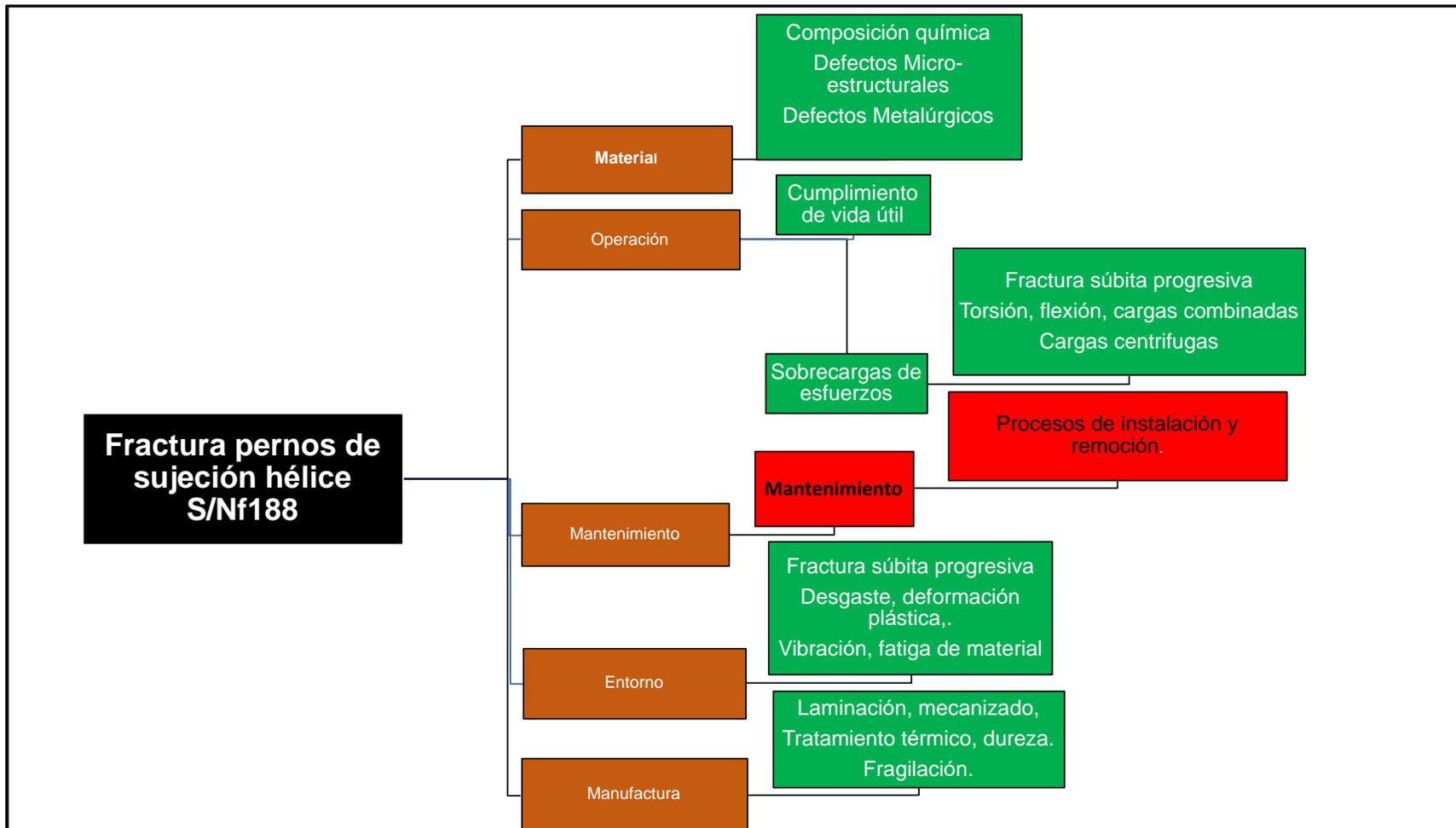


Imagen No. 2: Árbol de hipótesis.

1.16.5 Fatiga del material por tensión

Esta falla es progresiva, es decir, que comienza en algún sitio y se va desplazando; por lo general, estas fallas empiezan hacia los bordes del tornillo y se van desplazando hacia el centro; la superficie muestra rasgos elípticos que son concéntricos al origen de la falla.

Se pueden observar algunas partes casi lisas, en el sitio en donde empezó toda la fatiga, y una textura que tiene forma como escalonada, en la ubicación en donde sucedió la fractura final.



Fotografía No. 8: Fatiga por tensión.

Las posibles causas que generan este tipo de fracturas son:

- Cargas elevadas de tensión.
Bajo torque o pérdida de este durante el servicio.
- Daño por corrosión o ludimiento.
Diámetro del tornillo menor al necesario.

1.16.6 Ludimientos en vástagos y Roscas

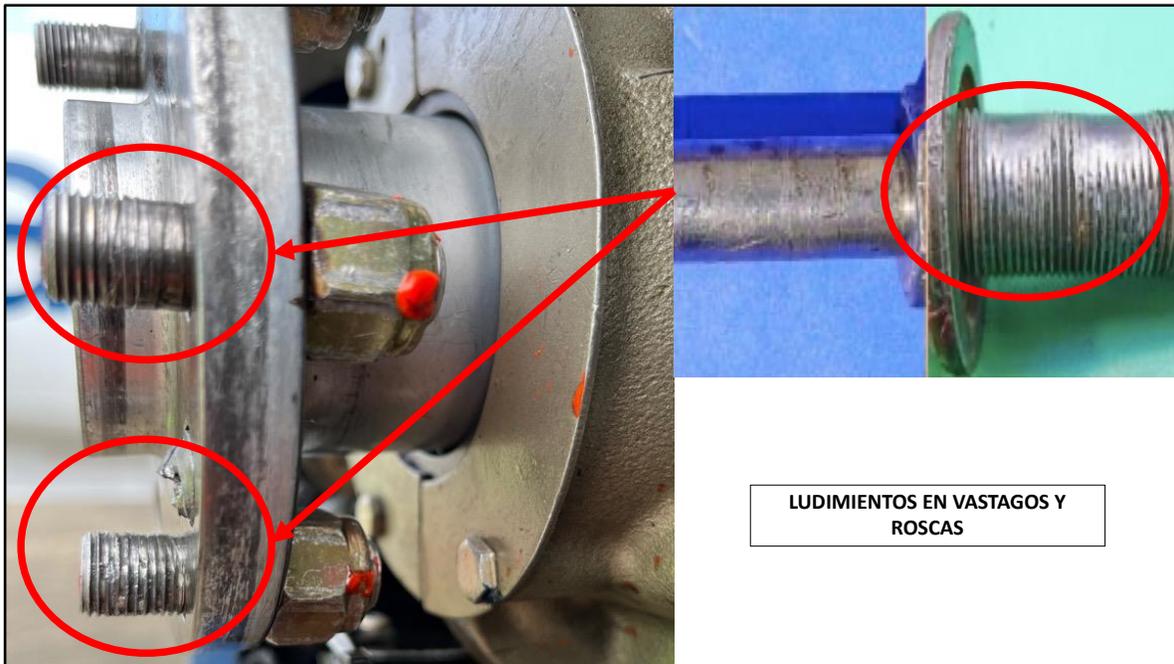
Esto consiste en la formación de daños superficiales asociados a roces entre piezas con movimiento, o por desgaste u oxidación, que se generan por el frecuente contacto entre el perno y el alojamiento de la hélice.

Algunas causas para él vástago.

- Carga lateral.
- Rozamiento por ajuste insuficiente en la base del cigüeñal.
- Pérdida total del ajuste debido a esfuerzos parásitos, producidos por la vibración.

Algunas causas para la rosca

- Carga lateral elevada.
- Torque de ajuste durante la instalación de la hélice insuficiente.
- Pérdida total del ajuste debido a esfuerzos parásitos, producidos por la vibración.



Fotografía No. 9: Ludimientos en vástagos y roscas.

1.17 Información orgánica y de dirección

El Operador es una empresa comercial de Transporte no Regular, con rutas regionales nacionales, con más de 19 años de experiencia. Ofrece transporte aéreo de pasajeros y carga en rutas aprobadas, y vuelos chárter de pasajeros y de carga.

Su operación está limitada a aeronaves de ala fija con peso bruto máximo de operación de hasta 5.500 kg, con configuración máxima determinada por el fabricante; la operación se realiza de acuerdo con lo previsto en su Certificado de Operación y en las Especificaciones de Operación, elaboradas con referencia a las publicaciones técnicas, el Certificado Tipo, los manuales de vuelo aprobados, y los requisitos del RAC emitido por la UAEAC.

La empresa contaba con manuales de operación propios y con Procedimientos Estándar de Operación, SOPs, elaborados con base en los manuales del fabricante, POH. Las operaciones de la aeronave son coordinadas por el aérea de despacho de acuerdo con las necesidades comerciales adquiridas.

La empresa cumple con un programa de mantenimiento propio; sin embargo, para la realización de trabajos especiales en el motor o la estructura de las aeronaves, la empresa contrata a talleres autorizados por la entidad reguladora de la aviación civil.

El Operador cuenta con un sistema de gestión de calidad y de seguridad operacional, enfocado al mejoramiento de la operación y del mantenimiento de sus aeronaves.

1.18 Información adicional

1.18.1 Funcionamiento de la hélice de paso variable

Una hélice de paso variable es un tipo de hélice cuyas palas pueden girar alrededor de su eje longitudinal para cambiar su ángulo de ataque.

Si dicho ángulo se puede situar en valores negativos, la hélice puede crear una inversión de empuje, para el frenado o marcha atrás, sin necesidad de cambiar la dirección de rotación del eje.



Fotografía No. 10: Hélice paso variable.

Estas hélices se utilizan en los aviones para adaptar la hélice a diferentes niveles de empuje y velocidades del aire, de manera que las palas de la hélice no entren en pérdida, y, por lo tanto, disminuyan la eficiencia del sistema de propulsión.

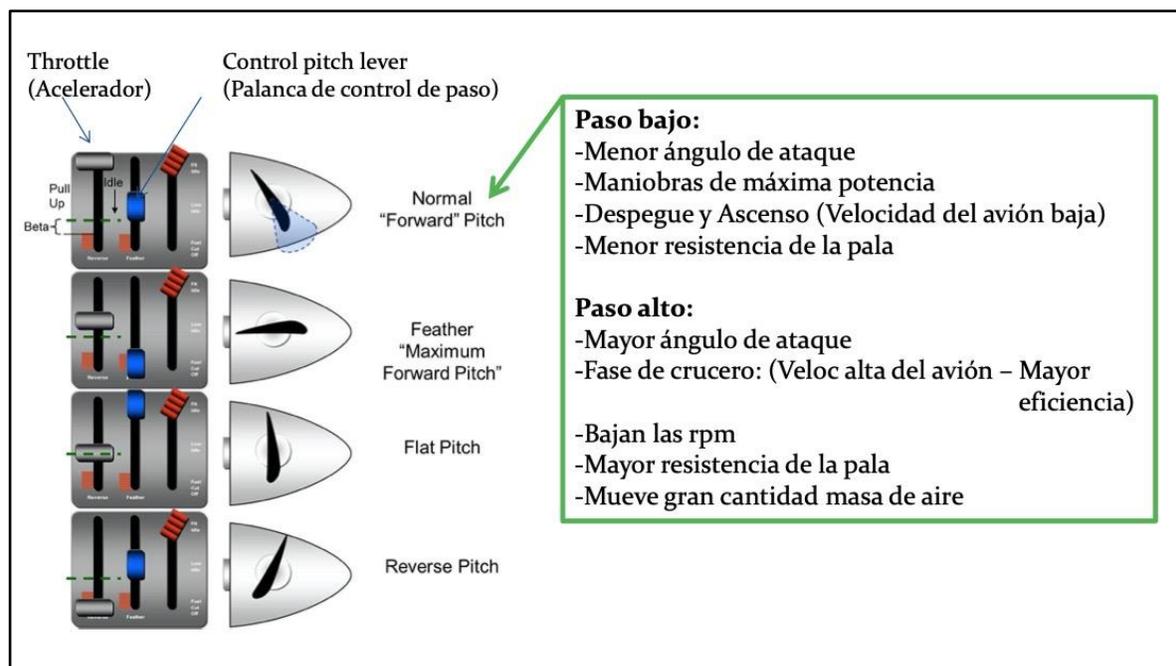


Imagen No. 3: Paso de la hélice variable.

Especialmente en la velocidad de crucero, el motor puede funcionar en su rango de velocidades de rotación más económica .

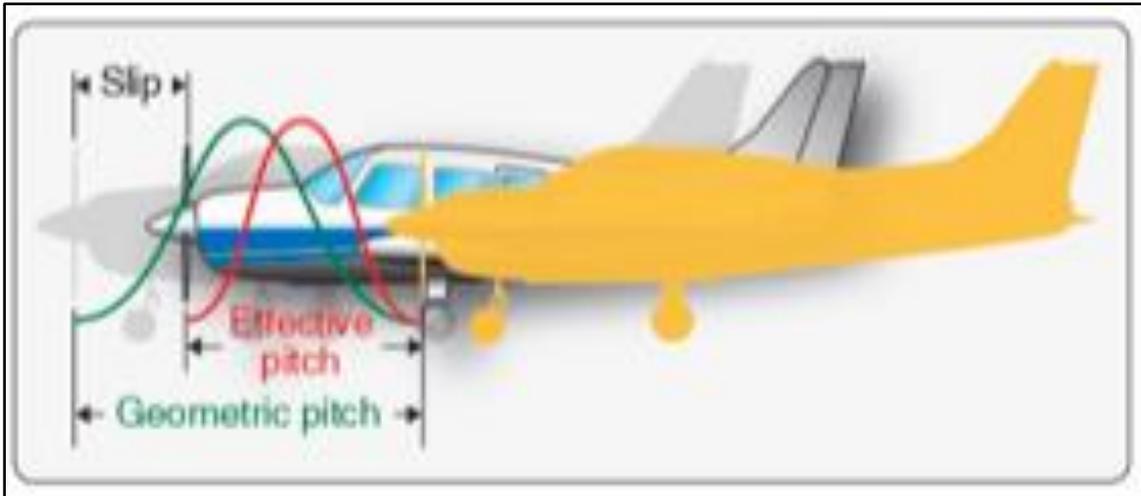


Imagen No. 4: Efectividad de los pasos de hélice.

Con la excepción de la posición reversa, para el frenado después del aterrizaje, el *pitch* se controla normalmente de forma automática, sin intervención del piloto. Una hélice con un controlador que regula el paso de las palas para que la velocidad de rotación se mantenga siempre igual, se le llama hélice de velocidad constante .

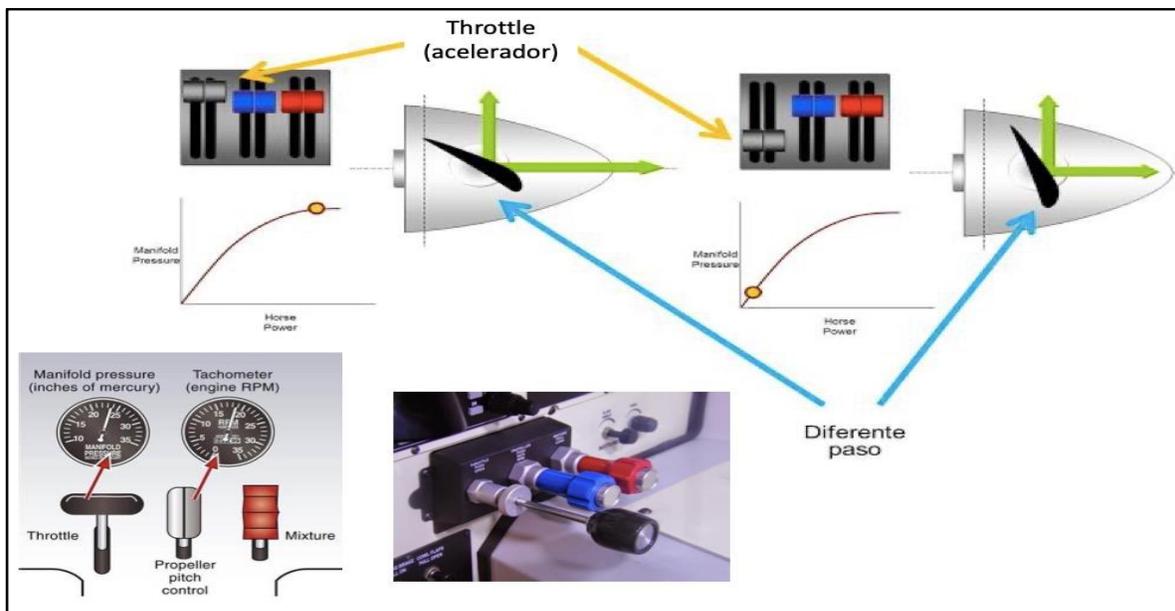


Imagen No. 5: Ángulos de la hélice en los diferentes puntos de potencia.

Una hélice con paso variable puede tener una eficiencia casi constante en su gama de velocidades. El tipo más común de hélice de paso variable es de accionamiento hidráulico.

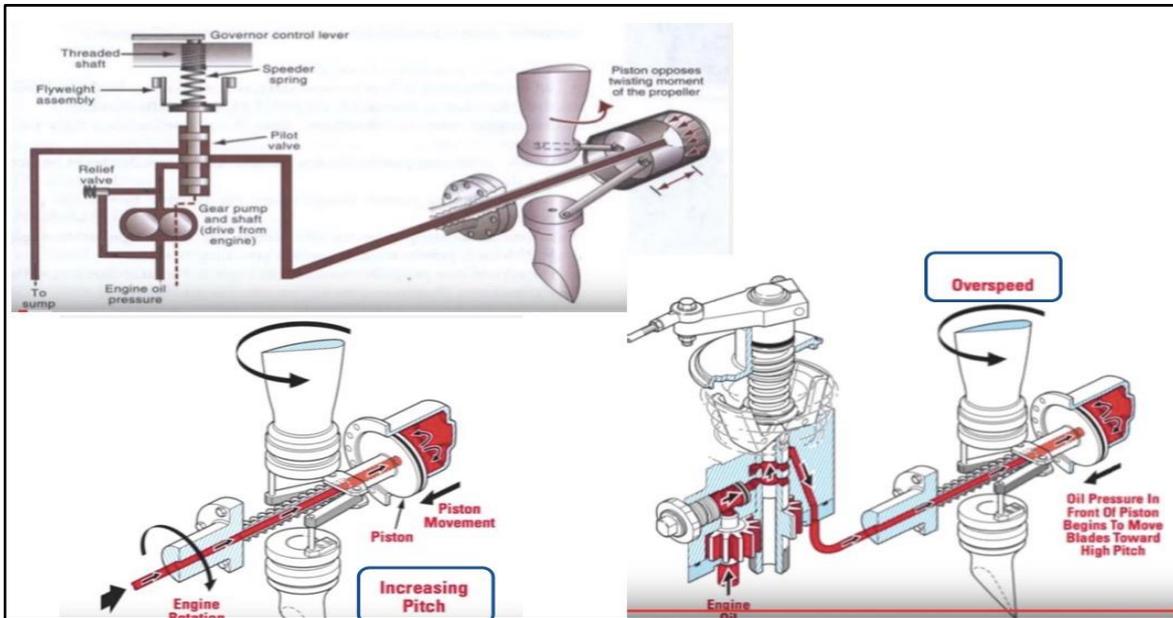


Imagen No. 6: Esquemático del funcionamiento hidráulico del paso de hélice.

1.18.2 Proceso aerodinámico de una hélice

Un avión que se mueve por el aire crea una fuerza de arrastre que se opone a su movimiento hacia adelante. Si un avión va a volar en una trayectoria nivelada, se le debe aplicar una fuerza que sea igual a la resistencia pero que actúe hacia adelante. Esta fuerza se llama empuje.

El trabajo realizado por el empuje es igual al empuje por la distancia que recorre el avión.

$$\text{Trabajo} = \text{Empuje} \times \text{Distancia.}$$

La potencia consumida por el empuje es igual al empuje multiplicado por la velocidad a la que mueve el avión.

$$\text{Potencia} = \text{Empuje} \times \text{Velocidad.}$$

Si la potencia se mide en unidades de caballos de fuerza, la potencia consumida por el empuje se denomina potencia de empuje.

El motor proporciona potencia al freno a través de un eje giratorio y la hélice la convierte en potencia de empuje. En esta conversión, se desperdicia algo de energía. Para lograr la máxima eficiencia, la hélice debe estar diseñada para mantener esta pérdida lo más pequeña posible.

Dado que la eficiencia de cualquier máquina es la relación entre la potencia de salida útil y la potencia de entrada, la eficiencia de la hélice es la relación entre la potencia de empuje y la potencia de frenado.

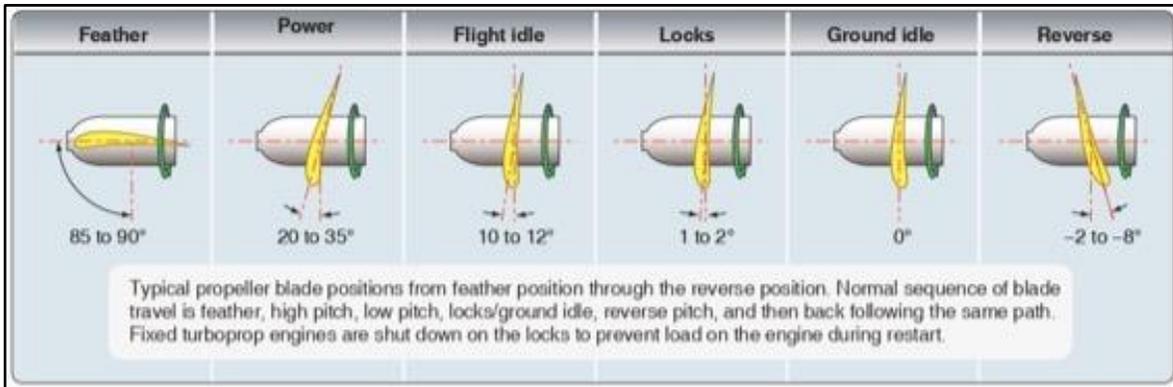


Imagen No. 7: Posición en grados de la hélice.

El símbolo habitual para la eficiencia de la hélice es la letra griega η (eta). La eficiencia de la hélice varía del 50 al 87 por ciento, dependiendo de cuánto se deslice la hélice.

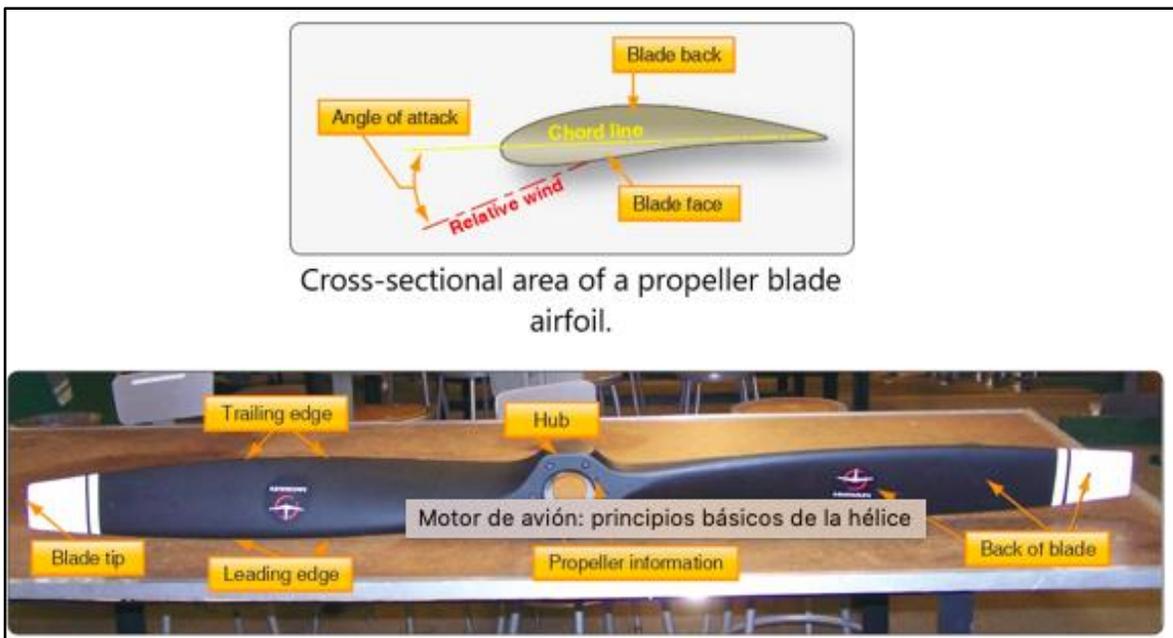


Imagen No. 8: Parte de una hélice.

El paso no es lo mismo que el ángulo de la pala, pero debido a que el paso está determinado en gran medida por el ángulo de la pala, los dos términos a menudo se usan indistintamente.

Un aumento o disminución en uno generalmente se asocia con un aumento o disminución en el otro. El deslizamiento de la hélice es la diferencia entre el paso geométrico de la hélice y su paso efectivo.

El paso geométrico es la distancia que debe avanzar una hélice en una revolución sin deslizamiento; el paso efectivo es la distancia que realmente avanza. Por lo tanto, el paso geométrico o teórico se basa en la ausencia de deslizamiento.

El paso real o efectivo reconoce el deslizamiento de la hélice en el aire. La relación se puede mostrar como:

$$\text{Paso geométrico} - \text{Paso efectivo} = \text{Deslizamiento.}$$

El paso geométrico generalmente se expresa en pulgadas de paso y se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{GP} = 2 \times \pi R \times \text{tangente del ángulo de la pala en el 75 por ciento de la estación.}$$

Aunque el ángulo de la pala y el paso de la hélice están estrechamente relacionados, el ángulo de la pala es el ángulo entre la cara o la cuerda de una sección de la pala y el plano en el que gira la hélice.

El ángulo de la pala, generalmente medido en grados, es el ángulo entre la línea de cuerda de la pala y el plano de rotación. La línea de cuerda de la pala de la hélice se determina aproximadamente de la misma manera que la línea de cuerda de un perfil aerodinámico.

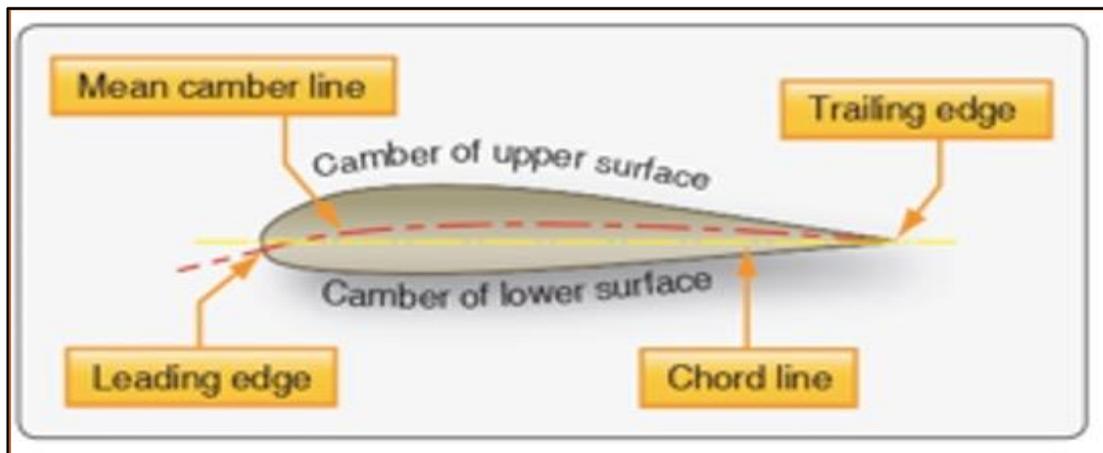


Imagen No. 9: Línea de cuerda de la pala.

De hecho, se puede considerar que una pala de hélice está compuesta por un número infinito de elementos de pala delgada, cada uno de los cuales es una sección de perfil aerodinámico en miniatura cuya cuerda es el ancho de la pala de hélice en esa sección.

Debido a que la mayoría de las hélices tienen una cara de pala plana, la línea de cuerda a menudo se dibuja a lo largo de la cara de la pala de la hélice.

La pala típica de una hélice se puede describir como un perfil aerodinámico torcido de forma irregular. Para fines de análisis, una pala se puede dividir en segmentos que se ubican por números de estación en pulgadas desde el centro del eje de la pala.

Las secciones transversales de cada segmento de pala de 6 pulgadas se muestran como superficies aerodinámicas en el lado derecho de la figura.

El vástago de la pala es la parte gruesa y redondeada de la pala de la hélice cerca del *hub* y está diseñado para dar fuerza a la pala.

El extremo de la pala, también llamado base o raíz de la pala, es el extremo de la pala que encaja en el *hub* de la hélice. La punta de la pala es la parte de la pala de la hélice más alejada del *hub*, generalmente definida como las últimas 6 pulgadas de la pala.

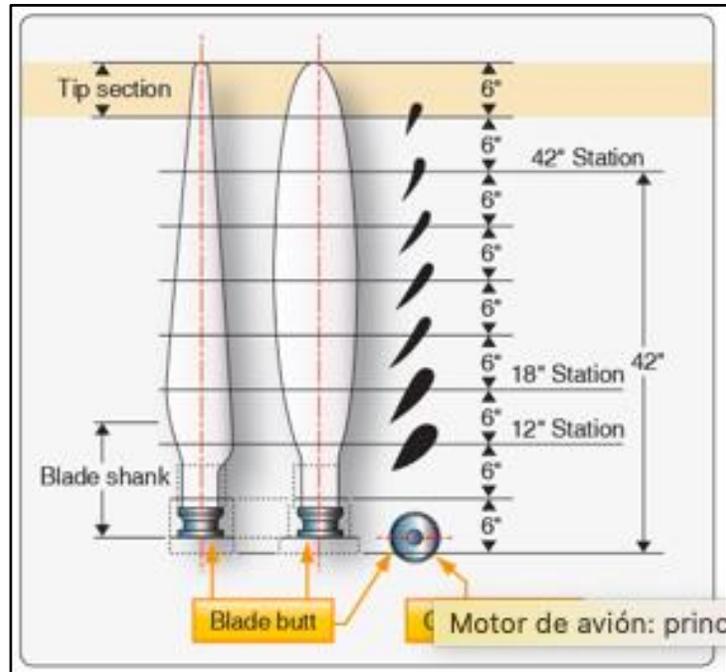


Imagen No. 10: Seccionamiento de una pala.

En la figura se muestra una sección transversal de una pala de hélice típica. Esta sección o elemento de pala es una superficie aerodinámica comparable a una sección transversal del ala de un avión.

El dorso de la pala es el lado combado o curvo de la pala, similar a la superficie superior del ala de un avión. La cara de la pala es el lado plano de la pala de la hélice.

La línea de cuerda es una línea imaginaria trazada a través de la pala desde el borde de ataque hasta el borde de salida. El borde de ataque es el borde grueso de la pala que se encuentra con el aire a medida que gira la hélice.

Una hélice giratoria recibe la acción de torsión centrífuga, torsión aerodinámica, torsión de flexión y fuerzas de flexión de empuje. Las fuerzas principales que actúan sobre una hélice giratoria se ilustran en la figura.

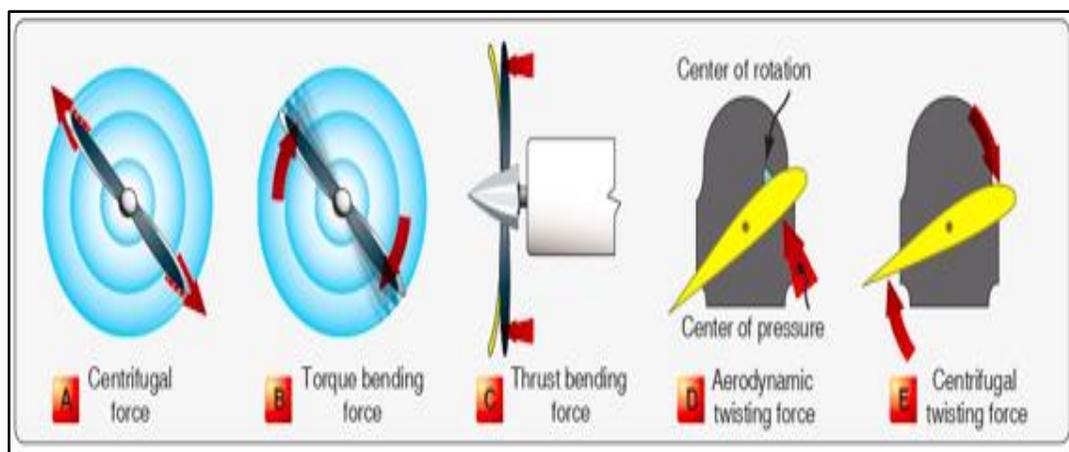


Imagen No. 11: Torsión aerodinámica de la hélice.

La fuerza centrífuga es una fuerza física que tiende a alejar las palas de la hélice giratoria del *hub*. Esta es la fuerza más dominante en la hélice. La fuerza de flexión del par, en forma de resistencia del aire, tiende a doblar las palas de la hélice en la dirección opuesta a la de rotación.

La fuerza de flexión de empuje es la carga de empuje que tiende a doblar las palas de la hélice hacia adelante a medida que la aeronave es empujada por el aire.

La fuerza de torsión aerodinámica tiende a girar las palas a un ángulo de pala elevado. La fuerza de torsión centrífuga, al ser mayor que la fuerza de torsión aerodinámica, tiende a forzar las palas hacia un ángulo de pala bajo.

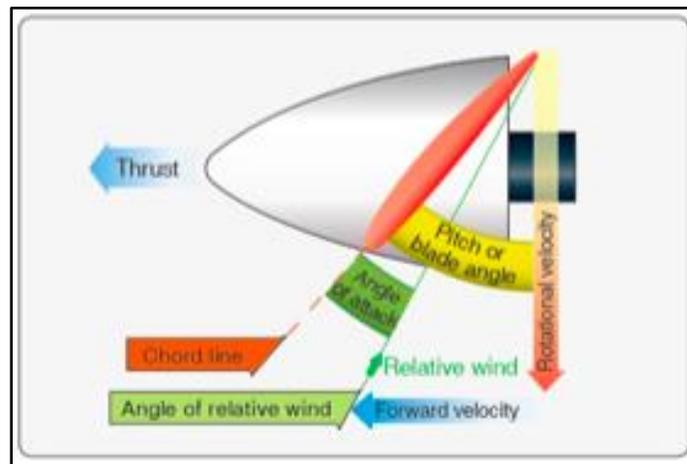


Imagen No. 12: Ángulos para la actuación de la Hélice.

Al menos dos de estas fuerzas que actúan sobre las palas de las hélices se utilizan para mover las palas en una hélice de paso controlable. La fuerza de torsión centrífuga a veces se usa para mover las palas a la posición de paso bajo, mientras que la fuerza de torsión aerodinámica se usa para mover las palas a un paso alto.

Estas fuerzas pueden ser las fuerzas primarias o secundarias que mueven las palas a la nueva posición de paso.

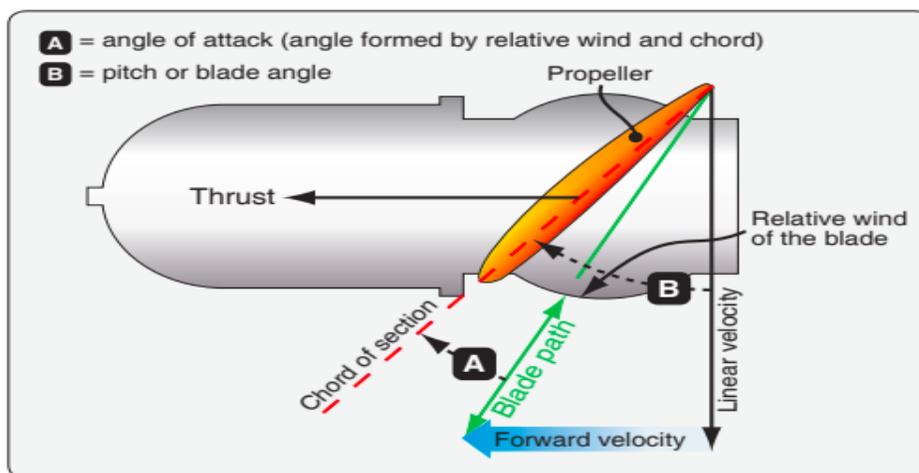


Imagen No. 13: Fuerzas primarias y secundarias de la hélice.

Una hélice debe ser capaz de soportar esfuerzos severos, que son mayores cerca del *hub*, causados por la fuerza centrífuga y el empuje. Las tensiones aumentan en proporción a las rpm.

La cara de la pala también está sujeta a tensión por la fuerza centrífuga y tensión adicional por la flexión. Por estas razones, las muescas o rayones en la cuchilla pueden tener consecuencias muy graves. Estos pueden provocar grietas y fallas en la cuchilla y se abordan en la sección de reparación más adelante en este capítulo.

Una hélice también debe ser lo suficientemente rígida para evitar el aleteo, un tipo de vibración en la que los extremos de las palas giran de un lado a otro a alta frecuencia alrededor de un eje perpendicular al cigüeñal del motor. El aleteo va acompañado de un ruido distintivo, que a menudo se confunde con el ruido del escape. La vibración constante tiende a debilitar la cuchilla y eventualmente provoca fallas.

1.18.3 Vibraciones de la Hélice

La vibración es el resultado de fuerzas dinámicas en las máquinas o estructuras que tienen partes en movimiento o sometidas a acciones variables. Las diferentes partes de la máquina vibrarán con distintas frecuencias y amplitudes. La vibración puede causar molestias y fatiga.

1.18.4 Señales de la vibración

Las señales de vibración, en la práctica, por lo general consisten en muchas frecuencias que ocurren simultáneamente, de modo que no se pueden apreciar de forma inmediata, simplemente observando el patrón de tiempo de amplitud de onda que cambia con respecto a los niveles de potencia que genera el motor, y la cantidad componentes hay relacionados con el número de frecuencias se repiten.

Estos componentes pueden ser revelados trazando la amplitud de la vibración contra la frecuencia. La descomposición de las señales de vibración en componentes de frecuencia individuales se denomina análisis de frecuencia, una técnica que puede considerarse la piedra angular de las mediciones de diagnóstico de vibración.

El gráfico que muestra el nivel de vibración en función de la frecuencia se denomina espectrograma de frecuencia.

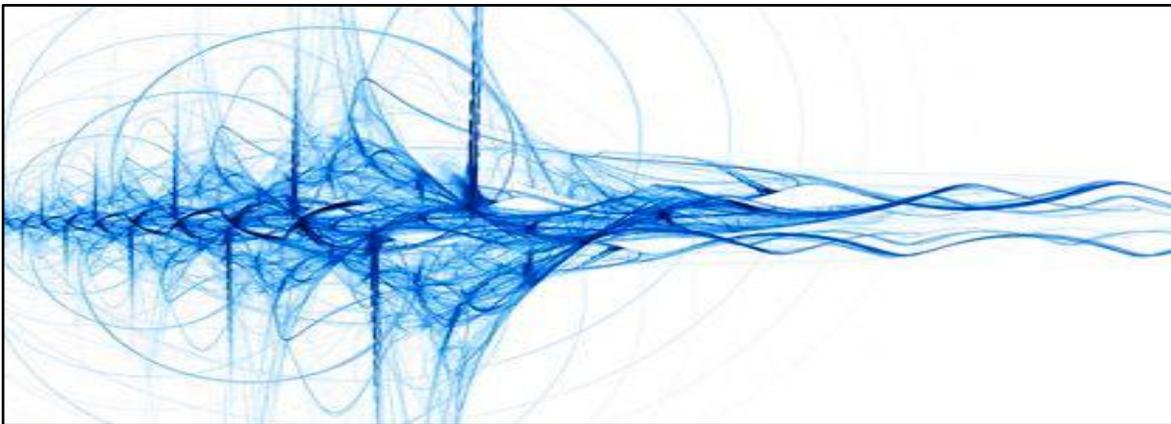


Imagen No. 14: Espectrograma de sonido.

1.18.5 ¿De dónde surgen las vibraciones?

Las vibraciones se producen debido a los efectos dinámicos de las tolerancias de fabricación, las holguras, el contacto entre el rodillo y el roce entre las partes de la máquina y las fuerzas desequilibradas en los miembros rotativos y recíprocos.

A menudo, pequeñas vibraciones insignificantes pueden excitar las frecuencias de resonancia de algunas otras partes estructurales y ser amplificadas en grandes

1.18.6 Cuantificando los niveles de vibración

La amplitud de la vibración, es la característica que describe la severidad de la vibración, y se puede cuantificar de varias maneras. En el diagrama siguiente, se muestra la relación entre el nivel pico a nivel máximo, el nivel máximo, el nivel promedio y el nivel RMS de una onda sinusoidal.

El valor de pico a pico es valioso porque indica la excursión máxima de la onda, una cantidad útil en la que, por ejemplo, el desplazamiento vibratorio de una pieza de la máquina es crítico para las consideraciones de tensión máxima o espacio mecánico.

El valor máximo es particularmente valioso para indicar el nivel de los choques de corta duración, etc. Pero, como se puede ver en el dibujo, los valores máximos solo indican qué nivel máximo se ha producido, no se tiene en cuenta el historial de tiempo de la ola.

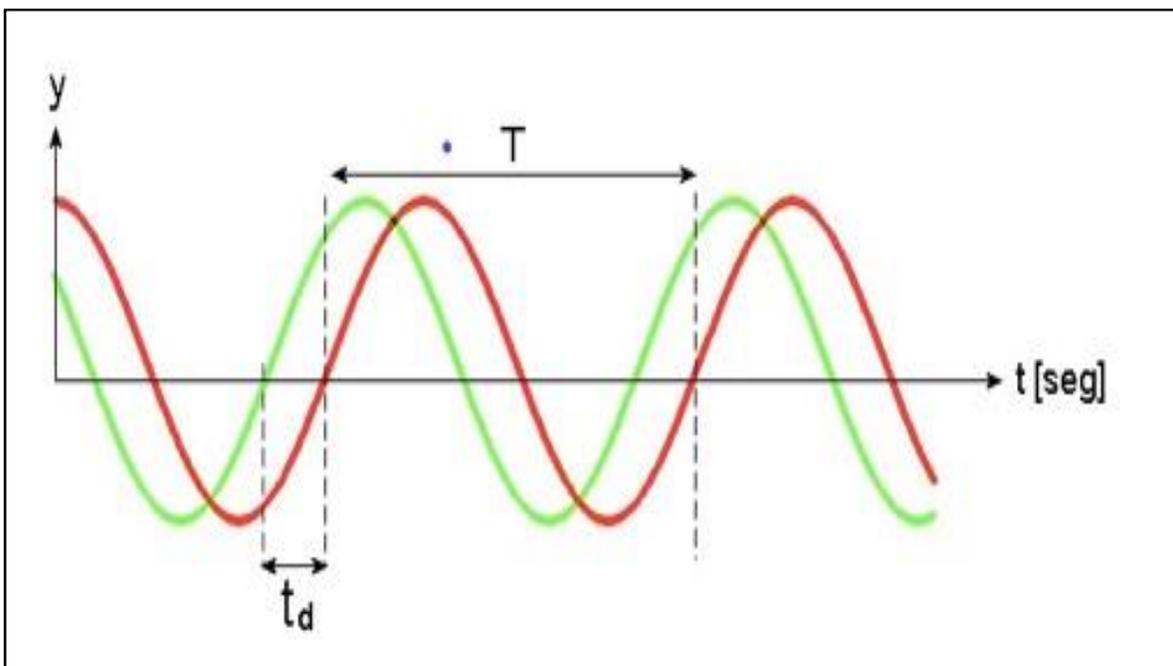


Imagen No. 15: Ondas senoidales desfazadas.

El valor promedio rectificado, por otro lado, toma en cuenta el historial de tiempo de la ola, pero se considera de interés práctico limitado porque no tiene relación directa con ninguna cantidad física útil.

El valor RMS es la medida más relevante de la amplitud porque toma en cuenta el historial de tiempo de la onda y proporciona un valor de la amplitud que está directamente

relacionado con el contenido de energía y, por lo tanto, con las capacidades destructivas de la vibración.

1.18.7 Causas más frecuentes de vibración.

Las vibraciones pueden estar causadas por varias condiciones, que pueden actuar por separado o en combinación. Tenga en cuenta que los problemas relacionados con las vibraciones podrían estar ocasionados por componentes auxiliares y no solo por el componente básico.

1.18.8 Alineación incorrecta y descentramiento del eje

Se produce una alineación angular incorrecta cuando los ejes de (por ejemplo) un motor y una hélice no están en paralelo. Se habla de alineación paralela incorrecta cuando los ejes están en paralelo pero no son coincidentes.

Esta desalineación se puede producir durante la instalación o desarrollarse con el tiempo, debido a la dilatación térmica, el desplazamiento de los componentes o una instalación incorrecta después de realizar tareas de mantenimiento.

Las vibraciones resultantes pueden ser radiales o axiales (en línea con el eje de la máquina) o de los dos tipos.

1.18.9 Vibraciones por holgura

Las vibraciones que, de otra forma, pasarían inadvertidas, pueden convertirse en evidentes y destructivas si el componente que vibra tiene los rodamientos sueltos o está unido a su soporte sin firmeza.

La vibración subyacente puede o no ser la causa de esa holgura. Independientemente de la causa, la holgura puede provocar que cualquier tipo de vibración provoque daños, como por ejemplo, un desgaste mayor de los rodamientos o desgaste y fatiga en el soporte de los equipos y en otros componentes.

Se ha determinado que existen de clases de Holguras mecánicas, Holguras rotativas y las no rotativas, sin embargo, se pueden evidenciar tres tipos de holguras dependiente de la función de cada componentes, estos tipos se denomina holgura tipo A,B,C.

1.18.10 Holguras tipo A

También llamada holgura estructural. El primer tipo es causado por la fragilidad en el soporte, base o fundición del soporte. El defecto puede manifestarse por el deterioro del apoyo a la hélice, holgura de tornillos que sustenta la base, distorsión de la armazón o base y juntas deterioradas.

En el espectro, el tipo a de holgura mecánica aparece como una ola de un pulso de rotación. El análisis revela aproximadamente 180 grados de diferencia de fases entre mediciones verticales en el soporte de la hélice con respecto al eje del cigüeñal.

1.18.11 Holgura tipo B

El segundo tipo de holgura mecánica es normalmente causado por los tornillos en el apoyo de la base, rajaduras en función del sujeción.

A diferencia del tipo A, la forma de este modelo de holgura mecánica en el espectro se manifiesta como una onda temporal de dos pulsos de rotación.

1.18.12 Holgura mecánica tipo C

El tercer y último tipo de holgura mecánica es el más complejo de todos. Es causado generalmente por un ajuste hecho de forma incorrecta entre las partes que componen las fuerzas dinámicas del rotor.

Cuenta también con varios armónicos producidos por las respuestas no lineales de las piezas sueltas de las fuerzas dinámicas del rotor.

Según el Manual de Diagnóstico de la Vibración de la Technical Associates, el tipo C es probablemente el más difícil de visualizar durante el análisis de los datos de vibración que envuelven holguras mecánicas ya que su onda temporal, diferente de las ondas de los tipos A y B, presenta un patrón no repetitivo entre las revoluciones.

Tal tipo de holgura mecánica puede originar múltiples subarmónicos capaces de llegar hasta 10x.

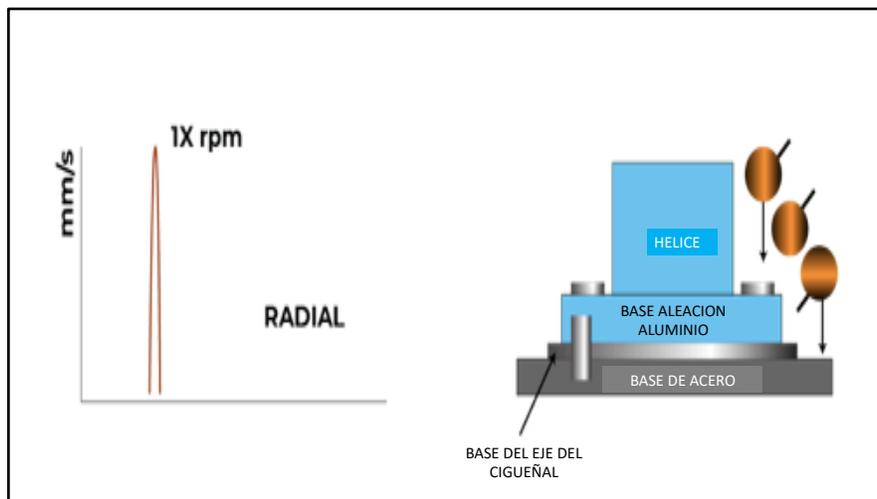


Imagen No. 16: Holguras mecánicas tipo A

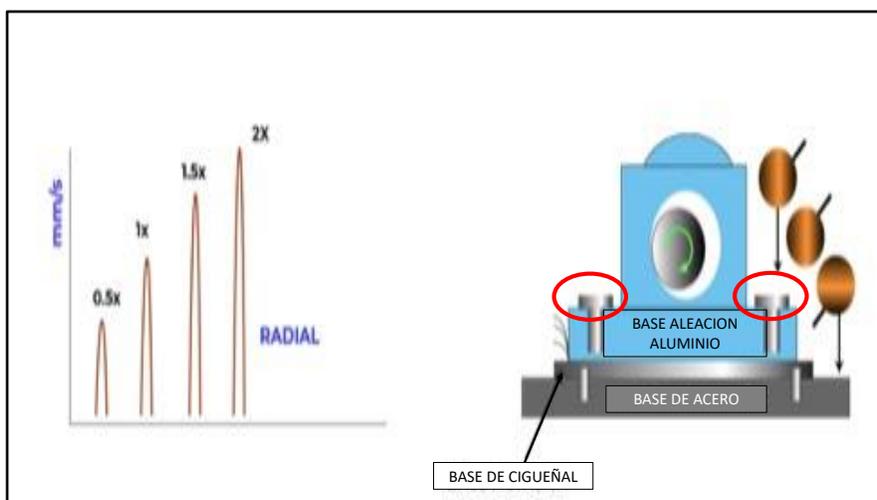


Imagen No. 17: Holguras mecánicas tipo B

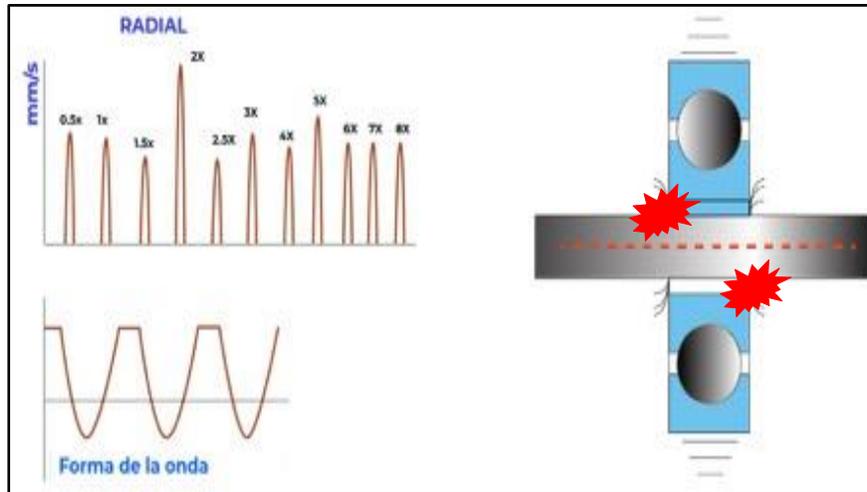


Imagen No. 18: Holguras mecánicas tipo C

1.19 Técnicas útiles o eficaces de investigación

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

Adicionalmente, y conociendo la naturaleza del Incidente Grave, se efectuó el análisis de falla a los pernos que soportan la hélice; así mismo, se efectuó un análisis de espectrometría a estos mismos componentes, teniendo en cuenta que la hélice cuenta con seis (6) pernos de sujeción, dos (2) los cuales se encontraron con fractura por cizallamiento y los otros cuatro (4) con deformación elástica vertical y angular.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

2. ANÁLISIS

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

2.1 Operaciones de vuelo

La tripulación, contaba con buena experiencia en el equipo. Los dos tripulantes se encontraba psicofísica aptos para el vuelo. Cumplían con los chequeos de pro-eficiencia, y habían tenido continuidad en la operación de este tipo de aeronave.

Durante el vuelo hacia el aeropuerto El Caraño, la tripulación encontró una falla inusual, al desprenderse la hélice del motor izquierdo. Al no existir un procedimiento específico para este tipo de falla, la tripulación apagó y aseguró el motor. Y, terminó el vuelo con un solo motor de manera segura. .

2.2 Mantenimiento

Durante la inspección a los documentos de mantenimiento de la aeronave, se determinó el estricto cumplimiento del programa de mantenimiento por parte del Operador, de acuerdo con lo establecido por el fabricante.

Tanto el personal de Mantenimiento como el de Control de Calidad, cumplían con las requisitos exigidos para el desempeño de las atribuciones de sus licencias, incluyendo los cursos regulatorios y adoctrinamiento. Este personal tenía experiencia amplia en el mantenimiento del tipo de aeronave incidentada.

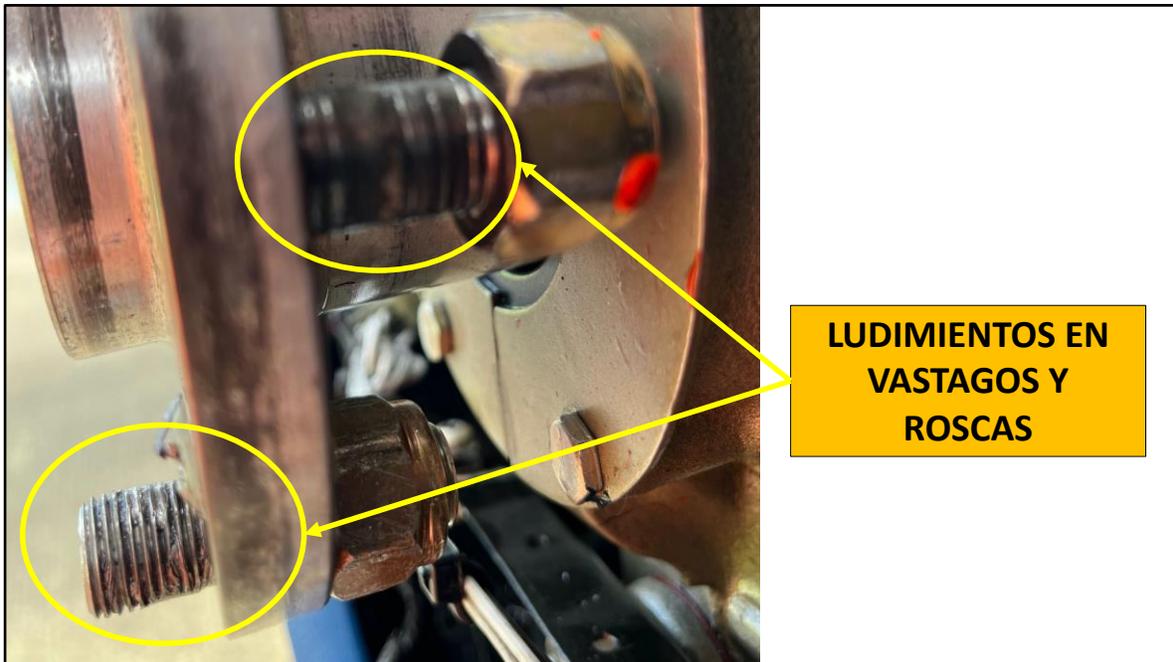
Dentro de los trabajos de mantenimiento, se encontró que tres (3) meses antes del Incidente Grave, en julio de 2022, se instaló en la aeronave HK-3065 el motor izquierdo identificado con P/N TSIO-520-VB, serie número 516500, en la cual participaron una (1) persona de Mantenimiento y una (1) de Control de Calidad, únicamente.

Sin embargo, las dos personas (Mantenimiento y Control de Calidad) realizaron las mismas tareas, participando los dos en la instalación del motor.

Esto quiere decir que el Inspector de Control Calidad realizó funciones por fuera de las responsabilidades y el perfil establecido en el Manual General de Mantenimiento de la empresa.

El otro Técnico de Mantenimiento, que ayudó a Control Calidad, era el Jefe de Mantenimiento, quien dentro de sus responsabilidades debe velar por el control y la segura ejecución de las actividades de mantenimiento del personal técnico, sin involucrarse directamente en las tareas propias de mantenimiento.

Una vez identificada esta falla dentro del sistema de seguridad de los procesos de mantenimiento, se inició el análisis del desprendimiento de la hélice, teniendo en cuenta que durante la inspección de campo se identificaron, en el flanche del cigüeñal, condiciones anormales por posible incorrecto torque de las tuercas que sostenían la hélice al eje del cigüeñal.



Fotografía No. 11: Características de incorrecto ajuste a tuercas de la hélice.

Determinado el incorrecto torque de ajuste de las tuercas que sostienen la hélice al cigüeñal, se realizaron análisis de falla a los pernos fracturados y a los pernos que soportaron los diferentes cambios de esfuerzos de la hélice durante la operación.

Dentro de estos análisis se identificaron ludimientos en los vástagos y en la rosca de los pernos, consistentes en daños superficiales, asociados a roces entre piezas, con movimiento o por desgaste u oxidación, que se generan por el frecuente contacto entre el perno y el alojamiento de la Hélice.

Algunas causas para él vástago.

- Carga lateral.
- Rozamiento por ajuste insuficiente en la base del cigüeñal.
- Pérdida total del ajuste debido a esfuerzos parásitos, producidos por la vibración.

Algunas causas: para la rosca

- Carga lateral elevada.
- Torque de ajuste durante la instalación de la hélice insuficiente.
- Pérdida total del ajuste debido a esfuerzos parásitos, producidos por la vibración.

El ludimiento generó un desgaste inusual al material de los pernos que sujetan la hélice al cigüeñal del motor; esto se debió al incorrecto ajuste; y la pérdida del material en este componente hizo que se generaran vibraciones fuertes con una alta frecuencia.

Las altas frecuencias generaron una concentración de esfuerzos en las zonas más vulnerables de los pernos. La vibración fue transmitida con mucha fuerza al soporte de la hélice, que está fabricado en aluminio y recibe pernos fabricados en acero.

Se debe aclarar que el soporte de la hélice *spinner*, tiene incrustados los pernos; y estos son los componentes que entran al *flanche* del cigüeñal para ser instalado correctamente.

Debido a la fuerte vibración recibida por el soporte del cigüeñal a través de los pernos, se generó una holgura o un espacio en el soporte de la hélice, ocasionando que la hélice se saliera completamente del soporte.

Sin embargo, de un total de 6 pernos o espárragos, cuatro (4) quedaron instalados en el *flanche* del cigüeñal; a los otros dos (2) pernos, la acción de la fuerza centrífuga los cizalló, ya que estos si se encontraban correctamente ajustados.

Es así como, el correcto ajuste a estos dos (2) pernos, sostuvieron la hélice todo el tiempo, hasta envejecerse prematuramente, generándose primero fatiga de material y luego un agrietamiento interno molecular, hasta producirse una fractura súbita progresiva de tipo dúctil.



Fotografía No. 12: Daños por ludimientos al vástago del perno.



Fotografía No. 13: Daños por ludimientos en la rosca del perno.

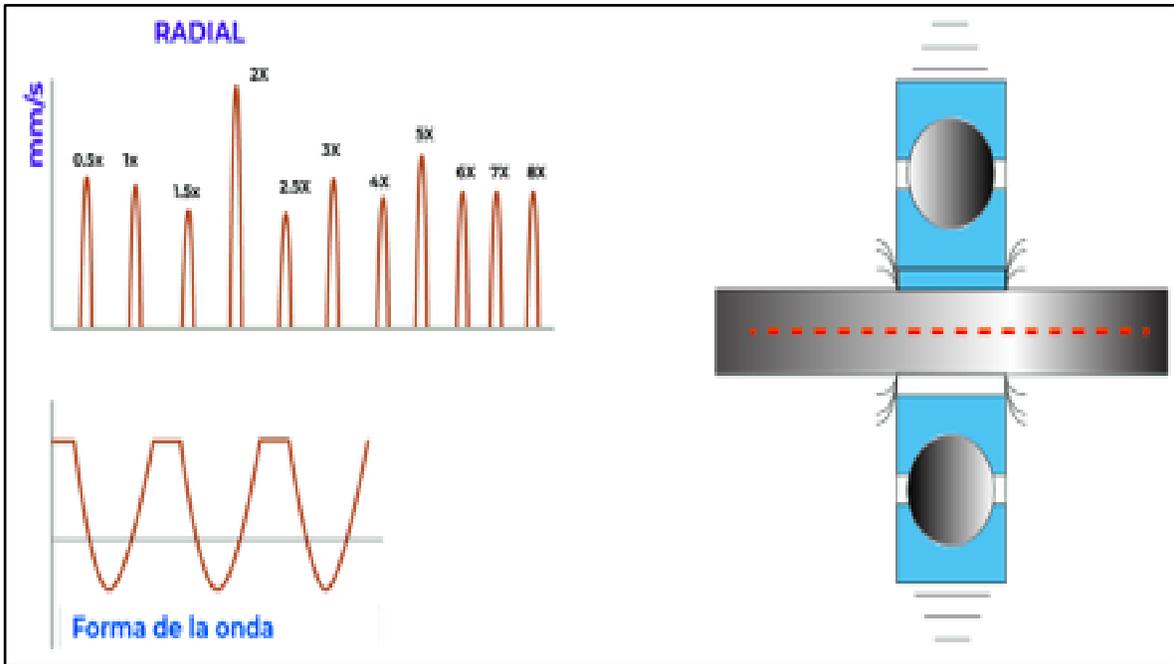


Imagen No. 19: Altas frecuencias a causa del incorrecto ajuste.

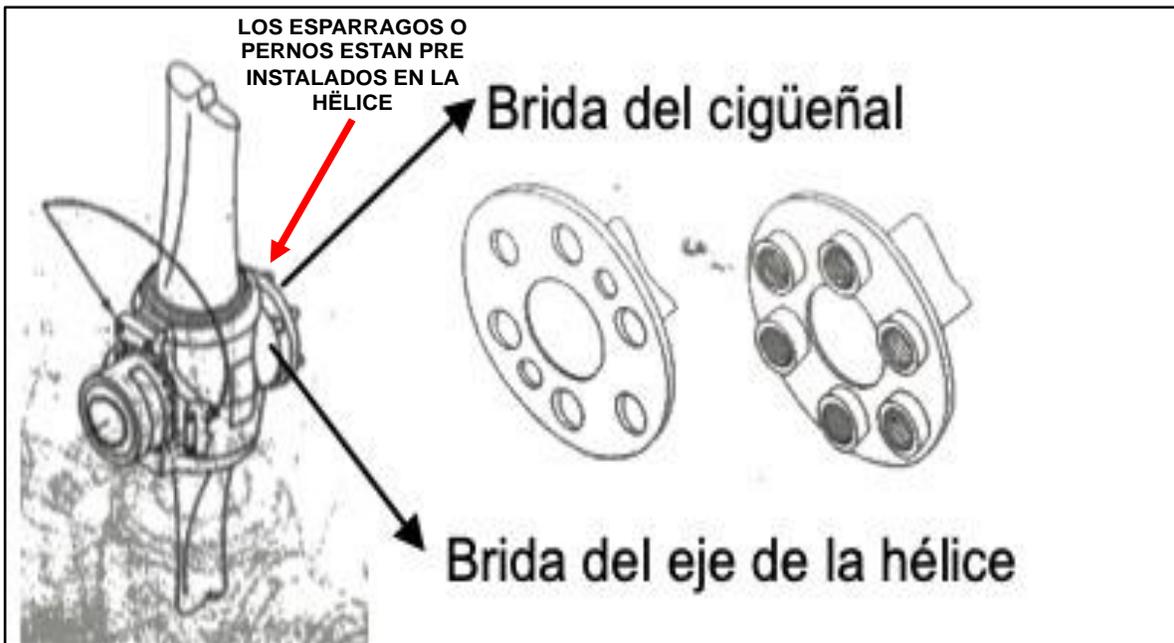


Imagen No. 20: Ubicación de los espárragos o pernos en la hélice.

3. CONCLUSIÓN

3.1 Conclusiones

La tripulación se encontraba psicofísica y técnicamente apta 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.

Tres (3) meses antes del Incidente Grave le fue instalado a la aeronave el motor izquierdo con la hélice que falló.

En la instalación de este motor participaron un técnico de Mantenimiento y un Inspector de Control de Calidad, quienes realizaron las mismas tareas de instalación sin tener en cuenta las que le correspondían a cada uno de acuerdo con sus roles.

Es así como, el Inspector de Control de Calidad realizó funciones por fuera de las propias, y que estaban contempladas en el Manual General de Mantenimiento del Operador, y, por el contrario, se involucró directamente en tareas propias de la instalación del motor.

Por lo tanto, el Inspector, que era además el Jefe de Mantenimiento, no controló ni aseguró la ejecución de las actividades de mantenimiento realizadas por personal técnico.

En la instalación de la hélice, probablemente se aplicó un torque incorrecto a las tuercas que sostienen la hélice al cigüeñal del motor.

Durante la operación posterior de la aeronave, las altas frecuencias de funcionamiento de la hélice generaron concentración de esfuerzos en las zonas más vulnerables de los pernos, mal ajustados, que la sujetaban al cigüeñal.

Los espárragos o pernos experimentaron ludimientos en los vástagos y la rosca los cuales sufrieron daños superficiales asociados a roces entre piezas por el movimiento que se generaban por el frecuente contacto entre el perno y el alojamiento de la hélice, cada vez que la hélice realizaba el ciclo de giro.

La vibración generada se transmitía con fuerza al soporte de la hélice que está fabricado en aluminio y recibe pernos fabricados en acero.

Solo dos (2) pernos de los seis (6) instalados soportaban los diferentes cambios de esfuerzos de la hélice durante la operación, experimentado con el tiempo un envejecimientos prematuro.

La aeronave inició el vuelo en Bahía Solano. La fuerte vibración recibida por el soporte del cigüeñal a través de los pernos, generó una holgura o espacio en el soporte de la hélice.

Aproximadamente después de 25 minutos de vuelo los pernos que soportaban la hélice finalmente se fracturaron. El motor izquierdo presentó un ruido anormal, acompañada de pérdida de los parámetros del motor.

Cuando la tripulación aplicaba el procedimiento de emergencia por parada súbita del motor, la hélice izquierda y el *spinner* se desprendieron del motor.

La tripulación informó la situación a la Torre de Control del El Caraño, Quibdó, se declaró en emergencia, y apagó y aseguró el motor izquierdo.

La tripulación continuó el vuelo hasta Quibdó, en donde aterrizó la aeronave de manera controlada, sin otra novedad.

Los ocupantes de la aeronave resultaron ilesos.

No se presentaron daños adicionales a la aeronave.

En vista de la altura sobre la superficie y las características del terreno inhabitado y selvático sobre el cual ocurrió el desprendimiento de la hélice, no se intentó su localización.

3.2 Causas probables

Desprendimiento total de la hélice del motor izquierdo de la aeronave en vuelo, como resultado de altas vibraciones que fracturaron los pernos de sujeción y que desgarraron otros pernos del *hub* de la hélice, por incorrecto ajuste de estos componentes durante la instalación de la hélice en la última inspección de rutina.

Deficientes procedimientos de mantenimiento e inadecuada inspección por parte del Control de Calidad durante la instalación y ajuste de la hélice..

3.3 Factores Contribuyentes

Carencia en el explotador, de un procedimiento específico, que indique parámetros o condiciones puntuales requeridas para efectuar la inspección y desarrollo de actividades de mantenimiento, tales como calificación o idoneidad del personal técnico.

Deficientes procedimientos de inspección escritos en el Manual General de Mantenimiento del operador, que orienten al personal de mantenimiento hacia una apropiada toma de decisiones durante los procesos de inspección, ya que no se evidencian procesos tales como inspecciones visuales con inspección y supervisión requerida, RII.

Equivocados procesos de Control de Calidad de mantenimiento durante los trabajos de instalación de la hélice y el motor, ya que dicho control lo efectuó Control de Calidad no como Inspector, si no como Técnico de Mantenimiento.

Carencia en el Manual General de Mantenimiento de la empresa de un procedimiento efectivo que garantice la operación y funcionalidad de los sistemas de la aeronave, de manera técnica y controlada, para casos especiales como es la remoción e instalación de componentes internos del motor. Esto, a pesar de que en el Manual existe un procedimiento de entrega de las aeronaves y de sus motores después de trabajos de mantenimiento programado - no programado

3.4 Taxonomía OACI

SCF-PP - Falla de componente, planta motriz.

4. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD OPERACIONAL

AL OPERADOR AÉREO

REC. 01-202269-2

Emitir una Alerta de Seguridad Operacional dirigida a todo el personal de mantenimiento, que trate sobre las precauciones de seguridad y procesos de calidad que se deben cumplir en los trabajos de remoción e instalación de motores y de sus componentes y de esta manera poder identificar posibles fallas en los procesos de mantenimiento.

REC. 02-202269-2

Establecer un procedimiento específico, que indique parámetros o condiciones puntuales para el personal inspección y mantenimiento, durante el desarrollo de actividades, tales como:

- El personal de Mantenimiento debe encargarse del cumplimiento estricto de las actividades dadas por el fabricante en los procedimientos de remoción, instalación y pruebas de los diferentes sistemas de la aeronave.
- El personal de Control Calidad se encargará de supervisar, vigilar y autorizar los trabajos del personal de mantenimiento, sin involucrarse en el desarrollo de las tareas, garantizando el correcto desarrollo de las mismas; además debe legalizar la documentación generada durante dichas tareas

REC. 03-202269-2

Revisar y mejorar el programa de mantenimiento, para que este asegure la realización de una inspección detallada antes de la finalización de un servicio mayor en los motores y aeronaves, con el fin de prevenir incorrectos procedimientos de mantenimiento o de inspección, especialmente en lo que concierne a:

- Remoción e instalación de componentes en los motores.
- Estándares para efectuar inspecciones visuales con inspección requerida RII a los trabajos de instalación de las hélices del motor en cada servicio de 50 horas.

REC. 04-202269-2

Fortalecer, dentro de las políticas de la seguridad operacional para la empresa, la importancia de la cultura del reporte por parte de las tripulaciones en los libros de vuelo, con el fin de indicar e identificar posibles malos funcionamientos del motor durante la operación diaria.

A LA SECRETARÍA DE AUTORIDAD AERONÁUTICA DE LA AERONÁUTICA CIVIL

REC. 05-202269-2

Dar a conocer el presente informe de investigación a los operadores que operan aeronaves equipadas con motores recíprocos 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