



Anexo B





Índice

1. Resultado de la inspección al motor izquierdo.	3
1.1. Condición externa.	3
1.1.1. Entrada al compresor.	3
1.1.2. Difusor.	3
1.1.3. Carcasa generadora de gases.	4
1.1.4. Carcasa de soporte de turbina.	4
1.1.5. Ducto de gases de escape.	4
1.2. Detectores de partículas metálicas (Chip detectors) y filtros.	4
1.3. Sección de turbina.	4
1.3.1. Turbina de potencia.	4
1.3.2. Flecha de la turbina de potencia.	4
1.3.3. Balero (Bearing) No. 5.	4
1.3.4. Cubierta de turbina de potencia.	4
1.3.5. Estator de turbina de potencia.	4
1.3.6. Compresor de la turbina generadora de gases.	4
1.3.7. Cubierta de la turbina del compresor.	4
1.3.8. Estator de la turbina del compresor.	5
1.4. Sección de combustión.	5
1.4.1. Cámara de combustión.	5
1.5. Sección del compresor.	5
1.5.1. Impulsor centrífugo.	5
1.5.2. Cubierta interna del impulsor centrífugo.	5
1.5.3. Balero (Bearing) No. 4.	5
1.5.4. Balero Bearing No. 3.	5
1.6. Caja reductora de engranajes (RGB).	5
1.6.1. Balero (Bearing) No. 1.	5
1.6.2. Balero (Bearing) No. 2.	5
1.6.3. Engranajes.	5
1.6.4. Accesorios de la caja de engranaje.	6
1.7. Evaluación de los controles y accesorios.	6
1.7.1. Control Electrónico del Motor (Electronic Engine Control, EEC).	6
1.7.1.1. Resultado de la inspección destructiva.	6
1.7.2. Inspección de la Válvula Divisora de Flujo (Flow Divider Valve, FDV).	7
1.7.3. Inspección del módulo de flujo de combustible (Fuel Management Module, FMM).	7
1.7.4. Inspección a la Unidad Colectora de Datos (Data Collection Unit, DCU).	8
2. Resultado de la inspección al motor derecho.	9
2.1. Condición externa.	9
2.1.1. Entrada al compresor.	9
2.1.2. Difusor.	9
2.1.3. Carcasa generadora de gases.	9
2.1.4. Carcasa de soporte de turbina.	9
2.1.5. Caja de reducción de engranes.	9
2.2. Detector de partículas magnéticas (Chip detectors) y filtros.	10
2.3. Sección de turbina.	10
2.3.1. Turbina de potencia.	10
2.3.2. Flecha (shaft) de la turbina de potencia.	10
2.3.3. Balero (Bearing) No. 5.	10
2.3.4. Cubierta de turbina de potencia.	10
2.3.5. Estator de turbina de potencia.	10
2.3.6. Compresor de la turbina generadora de gases.	10
2.3.7. Cubierta del compresor de turbina.	10
2.3.8. Estator del compresor de la turbina.	10
2.4. Sección de combustión.	10
2.4.1. Cámara de combustión.	10
2.5. Sección del compresor.	10



2.5.1. Impulsor centrífugo.	10
2.5.2. Cubierta interna del impulsor centrífugo.	11
2.5.3. Balero (Bearing) No. 4.	11
2.5.4. Balero (Bearing) No. 3.	11
2.6. Caja reductora de engranajes.	11
2.6.1. Balero (Bearing) No. 1.	11
2.6.2. Balero (Bearing) No. 2.	11
2.6.3. Engranajes.	11
2.6.4. Accesorios de la caja de engranaje.	11
2.7. Evaluación de los controles y accesorios.	11
2.7.1. Unidad de control Electrónico (Electronic Control Unit, EEC).	11
2.7.1.1. Resultado de la inspección destructiva.	12
2.7.2. Válvula Divisora de Flujo (Flow Divider Valve, FDV).	12
2.7.3. Módulo de flujo de combustible (Fuel Management Module).	12
2.7.4. Inspección a la Unidad Colectora de Datos (Data Collection Unit, DCU).	14
3. Comparación entre los motores.	14
4. Conclusiones.	14



[Handwritten signature]



Reporte de hechos de la inspección a los restos de los motores.

Los investigadores y expertos del fabricante identificaron y recuperaron del sitio del accidente los dos motores, por lo que del 4 al 8 de marzo de 2019, en las instalaciones de Pratt & Whitney Canadá, ubicadas en la Ciudad de St. Hubert, Montreal, Canadá, se realizó la inspección destructiva de los motores además al inspeccionar los restos localizaron los siguientes componentes de control electrónicos, 2 Control Electrónico de Motor (EEC's, Electronic Engine Control) y 2 Unidades Colectoras de Datos (DCU 's, Data Collection Unit), que actúan como componentes de memoria no volátil de los motores, los cuales estaban muy dañados externamente, sin embargo se determinó enviarlos con sus fabricantes para que se hicieran los intentos necesarios para poder extraer información para la investigación.

Se enviaron los componentes con memoria no volátil a las siguientes instalaciones para obtener información relacionada con la operación de los motores ya que tienen las facilidades para realizar la lectura de estos:

Motor 1	Motor 2	Estado
1 DCU (Data Colletion Unit)	1 DCU (Data Colletion Unit)	Se localizaron destruidos por impacto y fuego, se realizaron las aperturas en Safran, Canadá, el 26 de marzo 2019
1 Electronic Engine Control (EEC)	1 Electronic Engine Control (EEC)	Destruídos por impacto y fuego, se realizaron las aperturas en Collins, USA, el 18 de abril de 2019

1. Resultado de la inspección al motor izquierdo.

En las actividades realizadas en las instalaciones del fabricante de los motores, se decidió comenzar a inspeccionar el motor posición número uno (izquierdo) marca Pratt & Whitney Canadá modelo PW207C serie BH0434, el cual de acuerdo con los datos proporcionados por el Taller Rotor Flight Services (RFS), el motor contaba con los siguientes tiempos actualizados al 25 de diciembre de 2018.

Tiempo total: 2,178.7 horas.

Tiempo desde la última inspección: 28.1 horas realizada el 28 de noviembre de 2018.

Ciclos totales: 9,426 ciclos.

Todas las referencias de posición están con relación a visualizar al motor de frente y al flujo de los gases de escape desde la entrada al compresor hasta el escape.

1.1. Condición externa.

Todos los tubos y cables externos estaban deformados, cortados o aplastados debido al impacto. La sección de la caja de engranes estaba separada de la sección de compresión hacia atrás.

El motor también presentaba deformación debido al impacto y había una gran cantidad de hollín debido al incendio posterior al suceso al cual estuvo expuesto. Sólo se recuperó una parte de la sección de la caja de engranes, la cual presentaba deformación y se fracturó en varias partes.

1.1.1. Entrada al compresor.

La carcasa del compresor se rompió en pedazos, que constituyen aproximadamente 2/3 de esta sección. La malla se encontró deformada y no cubría el área para la cual fue diseñada, además la malla no presentaba indicios de pérdida de material antes del impacto.

1.1.2. Difusor.

Hubo deformación en los dos tubos difusores que es consistente con la deformación encontrada en la carcasa del generador de gas ubicado en la posición de las 6 en punto. A la altura de la ceja (flange



B) en la carcasa de entrada se deformó debido al impacto ubicado en la posición de las 2 en punto, existe presencia de hollín post impacto.

1.1.3. Carcasa generadora de gases.

Presenta una deformación por compresión en la posición de las 2 en punto a lo largo de la carcasa y el daño por impacto se encontró en la posición de las 6 en punto.

1.1.4. Carcasa de soporte de turbina.

La ceja del montaje (mounting flange) muestra cierta flexión y cuatro tornillos se fracturaron en la ubicación del daño. El resto de la carcasa está intacto.

1.1.5. Ducto de gases de escape.

El ducto de escape presenta daños menores en la ceja de los pernos (bolting flange). El ducto de escape se aplastó debido al impacto y ya no se encontraban unida al motor.

1.2. Detectores de partículas metálicas (Chip detectors) y filtros.

El detector de partículas no estaba presente en el motor, debido al impacto se desprendió. El filtro de aceite no estaba presente en el motor, debido al impacto se desprendió.

1.3. Sección de turbina.

1.3.1. Turbina de potencia.

Todos los álabes estaban intactos y presentes, con algo de fricción en el borde ataque (con el estator) y las puntas del disco presentan fricción con la cubierta. No hubo daño aparente en el borde de ataque de los álabes.

1.3.2. Flecha de la turbina de potencia.

La flecha de la turbina de potencia se fracturó a la altura de la sección del balero número 3. La superficie de la fractura presenta un ángulo de 45 grados indicativo de sobrecarga. Existen varias marcas de fricción en las que la flecha (shaft) mostró signos de rotación al hacer contacto con el impulsor y el disco de la turbina del compresor (CT, compresor turbine). El daño observado es típico debido a la rotación al momento del impacto.

1.3.3. Balero (Bearing) No. 5.

Este balero giraba libremente además presentaba ennegrecimiento que es típico de este modelo de motor.

1.3.4. Cubierta de turbina de potencia.

Muestra signos de rozamiento a lo largo del panel de abeja a lo largo de toda la circunferencia.

1.3.5. Estator de turbina de potencia.

Los álabes no mostraron signos de daños. El borde exterior de la cubierta muestra evidencia de un ligero contacto con las plataformas de los álabes. La cubierta interior muestra evidencia de roce por el contacto con los álabes de CT en las plataformas.

1.3.6. Compresor de la turbina generadora de gases.

Todos los álabes estaban presentes y no se observaron daños. Las puntas de los álabes muestran signos de rozamiento extenso. La parte inferior en el interior de la plataforma muestra signos de rozamiento con el Estator de la Turbina de Potencia.

1.3.7. Cubierta de la turbina del compresor.

Mostró signos de rozamiento por contacto intenso y transferencia de material entre las posiciones de las 4 y las 6 en punto y rozamiento ligero en el resto de la circunferencia. La cubierta muestra



evidencia de depósitos de material fundidos y re-solidificados, originados por el roce de los álabes de CT (compresor turbine).

1.3.8. Estator de la turbina del compresor.

No mostró signos de daños.

1.4. Sección de combustión.

1.4.1. Cámara de combustión.

La cámara de combustión se oscureció debido al hollín y se deformó en la posición de las 5 en punto debido al contacto con la línea de presión de aceite al balero 4.

1.5. Sección del compresor.

1.5.1. Impulsor centrífugo.

Antes del desensamble el impulsor no se logró hacerlo girar con la fuerza de la mano. Después de la extracción del disco de CT este impulsor giraba libremente. Hubo daños en el borde delantero, así como material enrollado en la dirección opuesta a la dirección de rotación, es característico de un daño típico por impacto. Los álabes inductores en la parte delantera mostraron un fuerte roce por flexión en la dirección opuesta a la de la rotación. Los álabes completos del impulsor mostraron un fuerte roce por el contacto con la cubierta del impulsor. El daño descrito es típico debido a la rotación en el momento del impacto.

1.5.2. Cubierta interna del impulsor centrífugo.

La cubierta tenía marcas de desgaste donde el impulsor centrífugo hizo contacto mientras giraba.

1.5.3. Balero (Bearing) No. 4.

Podía girar libremente y no tenía evidencia de daños. El sello de aire tenía daños por rotación y se encontró deformado.

1.5.4. Balero Bearing No. 3.

Esta tuerca de retención tuvo que cortarse, ya que se había encajado en su lugar de diseño, hasta que se pudo quitar el bearing. Todos los componentes del bearing no mostraron signos de roturas o anomalías previas al impacto. Los componentes pueden girar libremente.

1.6. Caja reductora de engranajes (RGB).

Aproximadamente la cuarta parte del total del RGB estaba presente y se encontró en pedazos.

1.6.1. Balero (Bearing) No. 1.

La carcasa del bearing estaba intacta y presente, sin embargo, faltaban todos los rodillos. No hubo evidencia o signos de anomalías previas al accidente.

1.6.2. Balero (Bearing) No. 2.

La carcasa del bearing estaba intacta y presente, sin embargo, faltaban todos los rodillos. No hubo evidencia o signos de anomalías previas al accidente.

1.6.3. Engranés.

Los dientes de los engranes de la flecha de entrada (input shaft gear) mostraron fracturas causado por una falta de coincidencia a lo largo de su eje, pero no se observaron evidencias de anomalías previas al impacto. Había marcas de rotación a lo largo de la flecha de entrada (input shaft). Los dientes del engrane de 1ra y 2da etapa mostraron daños por impacto. No se logró acceder a la flecha de salida (output shaft) ya que estaba ligeramente doblada lo que dificulta su extracción.



1.6.4. Accesorios de la caja de engranaje.

Los engranes de la transmisión de los accesorios de la caja de engranes están doblados y fracturados debido al impacto. No hubo evidencia de daño previo al impacto en ninguno de los dientes de los engranajes de cualquiera de los componentes de los accesorios. No hubo evidencia de anomalías previas al impacto en ninguno de los rodamientos disponibles.

1.7. Evaluación de los controles y accesorios.

Se removió el FMM de la carcasa del motor, se localizó la Válvula Divisora de Flujo (FDV, Flow Divider Valve) la cual mostraba signos de daños por temperatura y no estaba adherido al motor. El EEC presentaba signos de daños por incendio y la carcasa del EEC estaba doblada en múltiples ubicaciones.

1.7.1. Control Electrónico del Motor (Electronic Engine Control, EEC).

N/P 1002904-2-104

N/S Ver 3

Estado externo y limpieza.

Los EEC's (EEC206-100¹) se encontraron en una condición sucia con signos de daños por alta temperatura la carcasa de ambos componentes estaban dobladas en múltiples ubicaciones. En ambos componentes se podían escuchar residuos sueltos en el interior cuando se manejaba la unidad. Los expertos del fabricante de los motores notificaron a los investigadores que no tenían la capacidad para abrir el componente por lo que sugerían que se enviara con su fabricante decidiendo de mutuo acuerdo el grupo de trabajo enviar estos componentes a las instalaciones de Collins Worldwide Electronics Repair Center, ubicadas en Windsor Locks, Connecticut, Estados Unidos, para abrirlas y obtener las memorias no volátiles y verificar si es posible obtener información.

1.7.1.1. Resultado de la inspección destructiva.

El 17 de abril de 2019, personal de la NTSB en coordinación con el Investigador a Cargo, presencié las pruebas destructivas efectuadas a los EEC's en las instalaciones de Collins Worldwide Electronics Repair Center, Windsor Locks, Connecticut, Estados Unidos, los resultados de estas pruebas destructivas fueron las siguientes:

Unidad 1	Número de parte 1002904-2-104	Número de serie Ver 3
----------	-------------------------------	-----------------------

Inspección externa

Ambos EEC206-100 estaban severamente dañados por el impacto y posterior presencia de fuego, la carcasa de la Unidad 1 se deformó.

Inspección interna

La tarjeta electrónica estaba severamente dañada por fuego, muchos de los componentes electrónicos se habían desprendido de la tarjeta como resultado del incendio y el resto de la tarjeta interna se quemaron y carbonizaron.

Unidad 1:

Debido a que el conector al motor estaba presente en el EEC, no fue posible un desensamble completo de la unidad, sin embargo, varios de los componentes se desprendieron de la tarjeta madre por el calor del fuego durante el accidente, por lo que fue posible mover la tarjeta lo suficiente para llegar a las piezas sueltas y retirarlas. El chip de memoria que contiene los datos no volátiles era una

¹ El EEC206-100 es un control electrónico digital de un solo canal en conjunto con un control de combustible mecánico (Mechanical Fuel Control, MFC), monitorea y ajusta el flujo de combustible al motor.



de las piezas sueltas la cual estaba intacta, por lo que se limpió para su identificación y para la posible recuperación de datos.

Pruebas y recuperación de datos de las memorias no volátiles (MNV).

Las pruebas no fueron posibles debido a las condiciones de las unidades. Se intentó recuperar los datos de las MNV (Memorias no volátiles) del chip de memoria a través de un dispositivo lector de datos, sin embargo, el chip de memoria no se comunica con el dispositivo lector de datos. El chip de memoria probablemente se dañó internamente por el calor producido por el calor del accidente. No fue posible recuperar datos de la MNV.

1.7.2. Inspección de la Válvula Divisora de Flujo (Flow Divider Valve, FDV).

El FDV mostró signos de fuego y no estaba conectado al motor por lo que se envió al taller especializado dentro de las instalaciones de Pratt & Whitney Canadá.

N/P: 8063-174

N/S: Ver 3

Estado externo y limpieza.

El escudo térmico estaba dañado y mostró signos de sobrecalentamiento. Había polvo blanco en la carcasa en el lado opuesto del escudo térmico. Los colectores de combustible todavía estaban unidos a la FDV. Se retiró uno de los colectores para averiguar la condición del sello "O" (oring), este se convirtió en polvo. No fue posible realizar pruebas.

Secuencia de desensamble y resultados.

El FDV estaba en modo de apagado que es el comportamiento que se espera debido a que el resorte de carga lo manda a la posición de cerrado y sin la presión del combustible el resorte cerrara la válvula. El pistón del tanque ecológico mostraba daños por calor en la ranura del sello. Una de las paredes laterales estaba deformada y había una grieta en el radio que unía la pared lateral al diámetro exterior de la ranura. Todos los sellos "O" resultaron quemados. Las válvulas internas se movían libremente. Había signos de sobrecalentamiento en la mayoría de los componentes. No hubo desgaste anormal en las superficies de contacto.

1.7.3. Inspección del módulo de flujo de combustible (Fuel Management Module, FMM).

El FMM fue removido y se envió al taller especializado dentro de las instalaciones de Pratt & Whitney Canadá. La placa de los datos técnicos del FMM no estaba unido al cuerpo de la FMM. Basado en los registros de mantenimiento del motor que proporcionó el Taller aeronáutico Rotor Flight Services, S.A. de R.L. de C.V. (RFS), el FMM serie Ver 3 era el que estaba instalado. El número de serie se verificó y se comparó con los registros originales, detectándose que número de serie era Ver 3. El número de serie coincide con lo asentado en el control de componentes del operador y del fabricante, con lo que se confirma que este componente fue instalado desde la manufactura del motor.

N/P: 8063-1029

N/S: Ver 3

Estado externo y limpieza.

La superficie externa se cubrió con hollín y polvo blanco. El cable de teleflex todavía estaba conectado a la palanca de alimentación. El escudo térmico se dobló impidiendo la determinación de la posición de la palanca de potencia por lo que fue necesario retirar una sección del escudo térmico para poder acceder visualmente a la palanca de potencia. La palanca de potencia estaba en la posición de máximo. El desmontaje adicional del cable de teleflex mostró que la horquilla de la palanca de potencia estaba doblada en el lado del tornillo de tope máximo, la palanca estaba doblada debido al



impacto. El eje de entrada de la bomba estaba roto. Faltaban algunas secciones de la carcasa, incluida la placa de datos. La carcasa del filtro de combustible se rompió. La palanca de potencia giraba sin mayor esfuerzo.

Guardas de seguridad.

Había restos de los alambres de seguridad. Algunos alambres no estaban presentes, se supone que se derritieron durante el incendio posterior al accidente.

Secuencia de desmontaje y resultados.

Los engranes de la bomba de combustible mostraban signos de sobrecalentamiento (azulado). Los empaques estaban secos. Hubo presencia de gotas de agua en las cavidades del FMM. Los cojinetes de la bomba de combustible tenían un aspecto mate. La rueda del impulsor giraba a mano. Hubo presencia de una muesca de aluminio en uno de los dientes del engranaje impulsor. El filtro de combustible estaba quemado. Había presencia de residuos en la carcasa del filtro de combustible. La carcasa del filtro de combustible estaba separada de la carcasa de la bomba de combustible, lo que permitía la entrada de contaminantes a través de las aberturas a la atmósfera. Estos contaminantes fueron probablemente del evento posterior al accidente.

Se retiró la cubierta y el interior del FMM mostró algo parecido a barniz de combustible en la mayoría de las superficies. Los tres filtros de combustible de leva "D" se derritieron. El servo pistón de la válvula de combustible CEE, según la posición entrada de combustible. El pistón fue empujado en la parada mínima. La válvula de combustible no estaba girando y fue removida con dificultades. Un examen más detallado de la válvula de combustible mostró la presencia de nylon fundido en dos anillos de sujeción. El tornillo de fijación de la palanca de la válvula de combustible se dañó, lo que impide su extracción. El eje del pistón de la válvula de combustible se cortó para permitir el desmontaje de la válvula de combustible. El filtro de la válvula de combustible hecho de nylon se encontró derretido y se había filtrado a través de las ventanas del pistón y la camisa. La mayor parte del nylon fundido entró en la cavidad entre el orificio del alojamiento y el eje de la válvula de combustible. La acumulación de nylon fundido se localizó y estaba creando una carga lateral en el eje de la válvula de combustible, lo que explica la dificultad de extraer la válvula de combustible. Los rodamientos giraban libremente. Los contrapesos se movían sin restricciones

La válvula de ajuste de velocidad y el servo de la válvula de velocidad no se estaban moviendo. Ambas válvulas fueron retiradas de la carcasa. Ambas válvulas funcionaban una vez retiradas. Un examen más detenido mostró daños en los orificios, deformaciones y grietas. Todas las otras válvulas eran libres de moverse. No hubo desgaste anormal en las superficies de contacto

1.7.4. Inspección a la Unidad Colectora de Datos (Data Collection Unit, DCU)².

El 26 de marzo de 2019, personal de la TSB en coordinación con el Investigador a Cargo, presencié las pruebas destructivas efectuadas a los DCU's en las instalaciones de Safran Electronics & Defense Canada, Peterborough, Canada, los resultados de estas pruebas destructivas fueron las siguientes:

La inspección visual externa indica que ambas unidades estaban severamente dañadas por el fuego. Las placas de número de serie eran legibles y se confirmó que los números de serie eran Ver 3 y Ver 3. La etiqueta de identificación en DP09-6194 se había perdido, pero se confirmó que la etiqueta de identificación en Ver 3 era el número de parte Ver 3

² La DCU es el dispositivo electrónico que almacena información del sistema de monitoreo de la condición del motor, esta interconectado con el EEC mediante un arnés eléctrico. Este componente proporciona información de la temperatura de gases (MGT) y de torque del motor a la salida de la flecha (Q) al EEC (Electronic Engine Control) para la evaluación de las diferencias en el sistema de medición, también almacena fallas, excedencias y eventos del sistema de control detectados por el EEC.



Componente N/S Ver 3

Presenta daños por calor internamente. El aislamiento se derritió desde los cables, la junta se derritió desde el conector J1. Todos los componentes electrónicos se desprendieron de la tarjeta electrónica y se despegó de la carcasa, incluido el chip de MNV. El chip de MNV se recuperó en el interior de la carcasa y se limpió.

La extracción de datos se intentó utilizando el lector Data I/O 3980:

Cuando el componente de memoria se colocó en el lector y se inició la acción para extraer los datos, el lector envió un mensaje de error, "EMPTY SOCKET". Este error indica que no hubo ninguna respuesta de la MNV. Se hicieron múltiples intentos y se lijaron ligeramente los conectores del componente para garantizar que se hiciera el contacto físico adecuado entre el lector y el componente, pero se obtuvieron los mismos resultados. Por lo que se concluye que la exposición extrema al calor dañó fatalmente el componente y como resultado los datos guardados se perdieron permanentemente de esta unidad.

2. Resultado de la inspección al motor derecho.

El motor posición número dos, marca Pratt & Whitney Canadá modelo PW207C serie Ver 3, el cual de acuerdo con los datos proporcionados por el Taller RFS contaba con los siguientes tiempos actualizados al 25 de diciembre de 2018, según el mismo taller.

Tiempo total: 1,936.4 horas.

Tiempo desde la última inspección: 28.1 horas realizada el 28 de noviembre de 2018.

Ciclos totales: 2,610 ciclos.

2.1. Condición externa.

Todos los tubos y cables externos están deformados, cortados o aplastados debido al impacto. La sección de la caja de engranes estaba aún unida a la sección de compresión.

2.1.1. Entrada al compresor.

La carcasa de entrada del compresor se rompió en pedazos, que constituyen aproximadamente 2/3 de esta sección. La entrada estaba deformada y no tenía la malla de protección. No hubo indicios de pérdida de la malla de protección antes del impacto.

2.1.2. Difusor.

Hubo deformación menor en los dos tubos difusores que es consistente con la deformación encontrada en la carcasa del generador de gas, existe presencia de hollín en todas partes.

2.1.3. Carcasa generadora de gases.

Mostraba una deformación menor en el bolting flange y las líneas de temperatura del escape estaban rotas. La boquilla de escape se aplastó debido al impacto y ya no se encontraban unida al motor.

2.1.4. Carcasa de soporte de turbina.

Se notaron golpes de impacto no físicamente notable sin embargo existen otras partes con considerables daños.

2.1.5. Caja de reducción de engranes.

Presenta deformación debido al impacto. Hubo una gran cantidad de hollín debido al incendio posterior al accidente. La caja estaba deformada y fracturada en múltiples piezas.



2.2. Detector de partículas magnéticas (Chip detectors) y filtros.

El detector de partículas no estaba presente en el motor, debido al impacto se desprendió. El Filtro de aceite no estaba presente en el motor, debido al impacto se desprendió.

2.3. Sección de turbina.

2.3.1. Turbina de potencia.

Todos los álabes estaban intactos y presentes, con algo de fricción en el borde ataque (con el estator) y las puntas del disco presentan fricción con la cubierta. No hubo daño aparente en el borde de ataque.

2.3.2. Flecha (shaft) de la turbina de potencia.

La flecha de la turbina de potencia se fracturó en la sección delantera en el balero número 3. La superficie de las fracturas presenta un ángulo de 45 grados, lo que es indicativo de sobrecarga. Existen varias marcas de fricción en las que la flecha mostró signos de rotación al hacer contacto con el impulsor y el disco de CT (compresor turbine).

2.3.3. Balero (Bearing) No. 5.

Este balero giraba libremente y hubo algunas marcas de ennegrecimiento el cual es típico en estos modelos de motor.

2.3.4. Cubierta de turbina de potencia.

Muestra signos de rozamiento a lo largo del panel a lo largo de toda la circunferencia.

2.3.5. Estator de turbina de potencia.

Los álabes no mostraron signos de daños. El borde exterior de la cubierta muestra evidencia de un ligero contacto con las plataformas de los álabes. La cubierta interior muestra evidencia de roce por el contacto con los álabes de CT en las plataformas.

2.3.6. Compresor de la turbina generadora de gases.

Todos los álabes estaban presentes y no se observaron daños. Las puntas de los álabes muestran signos de rozamiento extenso. La plataforma interna laterales mostraron signos de frotamiento con el estator de la turbina de potencia (power turbine).

2.3.7. Cubierta del compresor de turbina.

El compresor de la turbina mostró signos de rozamiento por contacto intenso y transferencia de material en sus 360 grados.

2.3.8. Estator del compresor de la turbina.

No mostró signos de daños, sin embargo, mostró algunas manchas/depósitos de color plateado en la parte posterior de las paletas.

2.4. Sección de combustión.

2.4.1. Cámara de combustión.

La cámara de combustión se oscureció debido al hollín sin embargo no se aprecian daños.

2.5. Sección del compresor.

2.5.1. Impulsor centrifugo.

Antes de desensamblar, el impulsor se logró hacerlo girar con la fuerza de la mano. Hubo daños en el borde delantero, así como material enrollado en la dirección opuesta a la dirección de rotación, características típicas por impacto. Los álabes del impulsor mostraron fricción a lo largo de la porción



del extrusor (exducer portion), por el contacto con la carcasa del impulsor. El daño descrito es típico debido a la rotación en el momento del impacto

2.5.2. Cubierta interna del impulsor centrífugo.

La cubierta tenía marcas de desgaste desde donde el impulsor centrífugo tocó mientras giraba.

2.5.3. Balero (Bearing) No. 4.

Podía girar libremente y no tenía evidencia de daños.

2.5.4. Balero (Bearing) No. 3.

Este balero de bolas (ball bearing) tuvo que cortarse ya que estaba encajado en su lugar de diseño. La parte externa no mostró signos de deterioro, pero sí una decoloración debido al calor. La pista interna (inner race) no mostraron signos de desintegración, pero mostraba cierta decoloración debido al calor. Las bolas del balero (bearing balls) no mostraban signos de desprendimiento y podían girarse libremente.

2.6. Caja reductora de engranajes.

Aproximadamente la cuarta parte del diafragma de la RGB se recuperó y estaba en pedazos.

2.6.1. Balero (Bearing) No. 1.

La carcasa estaba intacta y presente sin embargo los rodillos (rollers) no estaban. No hay evidencia o signos de anomalías previas al evento.

2.6.2. Balero (Bearing) No. 2.

El borde (flange) estaba fracturado en cuatro secciones ubicadas en los pernos de montaje. El rodamiento no mostró evidencia de daños por desprendimiento o pre-impacto.

Los dientes de engranaje del eje mostraron un desgarrado causado por una falta de coincidencia, pero no se observaron evidencias de anomalías previas al impacto. La flecha de salida (output shaft) no mostró evidencia de anomalías previas al impacto, sin embargo, la brida de salida estaba doblada.

2.6.3. Engranajes.

Los dientes del engrane del eje de entrada mostraron un desgarrado causado por una falta de coincidencia, pero no se observaron evidencias de anomalías previas al impacto. La 1ª y 2ª etapa de engranes no mostraron signos de anomalías previas al impacto. La flecha de salida (output shaft) no mostró evidencia de anomalías previas al impacto, sin embargo, la brida de salida estaba doblada.

2.6.4. Accesorios de la caja de engranaje.

Los engranajes de la bomba de combustible/accionamiento del módulo de flujo de combustible (FMM) y de la bomba de aceite se doblaron debido al impacto. No hay evidencias de daños previos al impacto en ninguno de los dientes de los engranajes de ninguna de las unidades de accesorios. No hubo evidencia de anomalías previas al impacto en ninguno de los rodamientos.

2.7. Evaluación de los controles y accesorios.

2.7.1. Unidad de control Electrónico (Electronic Control Unit, EEC).

N/P: 3054275-05

N/S: Ver 3



Estado externo y limpieza.

La unidad estaba cubierta de polvo. Faltaban los cuatro cojinetes de goma del punto de montaje. Faltaban los contactos del conector. La carcasa fue decolorada debido a la exposición a altas temperaturas. Al mover la unidad, se distinguía un ruido desde el interior.

2.7.1.1. Resultado de la inspección destructiva.

Unidad 2	Número de parte 1002904-2-104	Número de serie 09120012
----------	-------------------------------	--------------------------

Inspección externa.

Ambos EEC206-100 estaban severamente dañados por el impacto y posterior presencia de fuego.

Inspección interna.

La tarjeta electrónica estaba severamente dañada por el fuego, muchos de los componentes electrónicos se habían desprendido de la tarjeta madre como resultado del incendio y el resto de las tarjetas internas se quemaron y carbonizaron.

Unidad 2.

El chip de memoria que contiene los datos no volátiles se desprendió de la tarjeta madre debido al calor del incendio durante el accidente, este fue localizado dentro de la carcasa del EEC. El chip de memoria se limpió para su identificación y para la posible recuperación de datos. Los pines del chip de memoria estaban intactos.

Pruebas y recuperación de datos de las memorias no volátiles (MNV)

Unidad 2.

Las pruebas no fueron posible en el EEC debido a las condiciones de la unidad. Se intentó recuperar los datos de las MNV de los chips de memoria a través de un dispositivo lector de datos, sin embargo, el chip de memoria no se comunica con el dispositivo lector de datos. El chip de memoria probablemente resulto dañado internamente por el calor producido por el fuego del accidente. No se logró recuperar datos de las MNV.

2.7.2. Válvula Divisora de Flujo (Flow Divider Valve, FDV).

El FDV mostró signos de fuego y ya no estaba conectado al motor por lo que se envió al taller especializado dentro de las instalaciones de Pratt & Whitney Canadá.

N/P: 8063-174

N/S: Ver 3

Estado externo y limpieza.

Los colectores de combustible todavía estaban unidos a la FDV. Uno de los puertos de montaje de la brida estaba dañado. Se retiró uno de los colectores para verificar la condición del sello O. El sello O se convirtió en polvo. No fue posible realizar pruebas operacionales.

Secuencia de desmontaje detallada y resultados.

El FDV estaba en modo de apagado. No se pudo quitar la camisa de la válvula de transferencia. El alojamiento estaba fuera impidiendo que la camisa fuera extraída. La brida de la camisa ecológica estaba distorsionada. Los componentes de acero se decoloraron debido a la exposición al calor. Los pistones estaban libres en movimiento dentro de las camisas. No hubo desgaste anormal en las superficies de contacto.





2.7.3. Módulo de flujo de combustible (Fuel Management Module).

El FMM fue desensamblado del motor y las líneas de combustible fueron removidas y existía algo de combustible remanente. Se envió al taller especializado dentro de las instalaciones de Pratt & Whitney Canadá. La placa de datos técnicos faltaba. En base en los registros de mantenimiento el N/S Ver 3 se verificó comparándolo con los registros de originales. El número de serie era WSF03066 y este coincide con el número de serie asentado en el control de componentes del operador y del fabricante, con lo que se confirma que este componente estaba instalado desde fábrica del motor.

P/N: 8063-1029

N/S: Ver 3

Estado externo y limpieza.

La superficie externa estaba cubierta de tierra. El cable de Teleflex todavía estaba conectado a la palanca de potencia, pero estaba suelto en el alojamiento. La posición de la palanca de potencia estaba en el tope máximo. La horquilla de la palanca estaba doblada en el lado del tornillo de tope máximo, lo que sugiere que la palanca se dobló al momento del impacto. Faltaban algunas secciones de la carcasa. La brida de montaje de la bomba de combustible estaba dañada en tres de los cuatro puntos de fijación. El eje de entrada estaba roto. La carcasa del filtro de combustible se rompió. La palanca de potencia se giró fácilmente agarrando la palanca con unas alicatas.

Guardas de seguridad.

Había restos de los alambres de seguridad. Algunos sellos no estaban presentes, se supone que se derritieron durante el incendio posterior al evento.

Secuencia de desmontaje y resultados.

El filtro de combustible estaba limpio y no se encontraron contaminantes entre los pliegues. Había presencia de residuos en la carcasa del filtro de combustible. La carcasa del filtro de combustible estaba separada de la carcasa de la bomba de combustible, lo que permitía la entrada de contaminantes a través de las aberturas a la atmósfera. Estos contaminantes que se alojaron en el interior del filtro de combustible probablemente se metieron al interior por el impacto contra el terreno. Había una ligera corrosión en los engranajes y bujes. Los contaminantes provienen del impacto posterior, ya que había una abertura a la atmósfera debido a la separación de la carcasa del filtro de combustible

La cubierta se retiró y el interior del FMM tenía presencia de contaminantes debido a la abertura en una sección del cuerpo principal que se arrancó. Los tres filtros de combustible de leva "D" estaban limpios. El servo pistón de la válvula de combustible EEC, según la posición recibida, se midió extruyendo por 4 líneas desde la cara del alojamiento. Se empujó el pistón contra el tope máximo y se midió que el pistón estaba extruyendo con 4 líneas. Los rodamientos giraban libremente. Los contrapesos se movían sin restricciones. Todas las válvulas estaban operativas. No hubo desgaste anormal en las superficies de contacto.

Todos los componentes internos que se describen a continuación los cuales forman parte del FMM muestran evidencias de sobre temperatura, sin movimiento libre por la sobre temperatura a la que estuvieron expuestos:

- MSSV, Válvula de Corte y Presurización Mínima (Minimum pressurizing and shut off valve)
- Over speed (Sobre velocidad)
- By pass valve (Válvula de sobre-paso)
- Min Flow (Flujo mínimo)
- 3D CAM



- Bail head (Cabezal)
- Pressurizing valve (Válvula de presurización)
- Servo valve (Servo válvula)
- PC regulator (Regulador de presión del compresor)
- Fuel valve (Válvula de combustible)

El filtro de combustible se encontró carbonizado por sobre temperatura externa a la cual estuvo sometido el FMM en el sitio del accidente.

2.7.4. Inspección a la Unidad Colectora de Datos (Data Collection Unit, DCU).

La inspección visual externa daño por calor, pero no tan grave como N/S Ver 3. La carcasa estaba ennegrecida, el chip de MNV no estaba soldado a la tarjeta, pero estaba incrustado en el interior de la carcasa. Se retiró el chip de MNV y se limpió.

Componente N/S DP09-6502.

Presenta daños por calor internamente. Cuando el chip de memoria se colocó en el lector y se inició la acción para extraer los datos, el lector mando el mensaje de error, "CONTINUITY TEST FAILED". Este mensaje de error indica que no hubo respuesta del chip de MNV. Se realizaron múltiples intentos y se lijaron ligeramente los contactos del componente para garantizar que hicieran contacto físico adecuado entre el lector y el chip de MNV, pero se obtuvieron los mismos resultados. Por lo anterior se concluye que la exposición extrema al calor daño fatalmente el chip de memoria no volátil y como consecuencia los datos de esta unidad.

3. Comparación entre los motores.

Al ver los dos componentes del motor uno al lado del otro, se ve que presentan el mismo daño. Ambos motores tenían presentes todas las de la turbina de potencia, aunque hubo roce de la punta de los alabes con los discos de la turbina de potencia con el estator de la turbina de potencia. Ambas flechas de la turbina de potencia presentan fracturas de un ángulo de 45 grados justo detrás del rodamiento número 3. Ambos motores experimentaron muestras de alta rotacional debido al contacto con el impulsor y con el conjunto del disco de la turbina de compresión, así como también a lo largo de las flechas de la turbina de potencia antes de la fractura a tras del balero de rodamiento número tres.

Ambos motores tenían todos los alabes de la turbina de compresión presentes sin fracturas y no había evidencia de anomalías previas al impacto que hubieran impedido el funcionamiento normal. Ambos motores mostraron un roce en las puntas de los alabes de la turbina de compresión debido al accidente.

Los dos impulsores centrífugos de los motores tenían los alabes del borde de ataque doblados en la dirección opuesta a la de la rotación, lo que es indicativo de rotación en el impacto. El hallazgo de que las dos tomas de aire estaban comprimidas pero sus mallas no estaban dañadas, indica además que el daño ocurrió en el impacto, después de que entradas de aire se comprimieron permitió que los debris ingresaran y golpearan los bordes de ataque de los impulsores.

4. Conclusiones.

El Anexo B está basado en lo observado durante el desensamble de los motores en la semana del 4 al 8 de marzo de 2019. Con base a los hallazgos se concluye que los motores presentan daños característicos de estar funcionando y produciendo potencia al momento del impacto contra el terreno.



Aunque no se pudo determinar el nivel de potencia, los daños similares en ambos motores denotan que los dos motores estaban funcionando a una potencia similar en el momento del impacto. Los componentes de memoria no volátil (EEC's, DCU's) que podrían confirmar lo anterior, resultaron dañados por el fuego, por lo que no pudieron aportar datos.

