

## Biodiesel en el motor PT6A-61: Un estudio de sostenibilidad

---

**Autores:** Arteaga Puentes, Daniel Alberto\*

**Contacto:** \*[daniel.arteaga@esufa.edu.co](mailto:daniel.arteaga@esufa.edu.co)

**País:** Colombia

### Resumen

A través de la historia el sector aéreo ha basado su operación en el uso de combustibles fósiles que generan contaminación por gases de efecto invernadero. A raíz del aumento exponencial de los servicios aéreos se hace necesario contar con combustible sostenible y que no tenga fluctuaciones como las que tiene el petróleo por reservas finitas. Ahora bien, con el desarrollo de investigaciones, si bien es cierto, se ha podido determinar que los biocombustibles son aquellas fuentes de energía obtenidas de la biomasa que los hace ser más sostenibles y menos contaminantes, estos se visualizan como una posible solución a corto o mediano plazo para el sector aeronáutico. Sin embargo, estos necesitan ser certificados para que sean aptos en su aplicación en motores a reacción bajo un proceso de producción y distribución acorde a las necesidades no solo del medio ambiente, sino de las entidades gubernamentales y privadas que lo requieran, a un costo más razonable que el actualmente utilizado como lo es el bioqueroseno.

Es así que esta investigación, muestra como a través de un banco de pruebas bajo la utilización de una metodología de experimentación, la Fuerza Aeroespacial Colombiana y la academia se unen en la búsqueda de una integración de estos biocombustibles en el campo aeronáutico, con el objetivo de determinar qué porcentaje de mezcla utilizar y de esta manera, observar de primera mano, el comportamiento y afectaciones técnicas que genere el uso de un biodiesel local sobre un motor turbohélice PT6A-61 por medio de ensayos operacionales e inspecciones de los componentes involucrados en el motor; con los que se espera determinar si existen posibles cambios en los tiempos y procedimientos de mantenimiento; para finalmente, proponer la logística que permita la adaptación del entorno aeronáutico a las necesidades de suministro e implementación del biodiesel local.

**Palabras clave:** biocombustibles; biodiesel; turbohélice; banco de prueba; inspección; sostenibilidad.

### 1. Introducción

En la actualidad existe gran preocupación por la contaminación atmosférica que afecta el cambio climático y la salud de los ciudadanos, no solo por impacto a los fenómenos meteorológicos sino por los efectos directos de los contaminantes en el cuerpo humano (Ballester, 2005). El sector del transporte aéreo contribuye con el 2% de la contaminación mundial de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), esto es el 12% de las emisiones producidas por el transporte (IATA, 2018).

Buscando reducir los valores contaminantes, el sector aéreo sigue adoptando de manera paulatina medidas con la intención de progresivamente ir minimizando sus emisiones, para lograr en un futuro llegar a cero en la emanación de gases de efecto invernadero (GEI). La organización de aviación Internacional (OACI) en su asamblea 39 adopto el plan de compensación y reducción de carbono para la aviación internacional (CORSA) por sus siglas en Ingles (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), este plan busca reducir en 85% las emisiones en 2024 y a cero emisiones en 2050 (ICAO, 2022). para lograr estos objetivos se plantea una estrategia de cuatro pilares que incluyen operaciones más eficientes,

compensación por emisiones de carbono, mejoras en infraestructura incluyendo la gestión de tráfico aéreo y la innovación tecnológica en aeronaves e inclusión de los combustibles de aviación sostenibles (SAF) por sus siglas en inglés (Sustainable Aviation Fuels) (IATA, 2018). Los SAF que se producen por fuentes no fósiles como por ejemplo de aceite de cocina ya utilizado o materias primas renovables, están considerados para disminuir la emisión de GEI en aproximadamente un 65% por tanto son la parte que más influirá en el propósito de descarbonización del sector aéreo, este tipo de combustibles deben cumplir no solo con la certificación técnica para funcionar en motores a reacción establecida por la norma ASTM D1655, además se espera que cumplan con estándares de sostenibilidad que establecen organizaciones como la “The Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB)” o “The International Sustainability and Carbon Certification (ISCC)”, que dentro de sus procesos de certificación buscan objetivos de sostenibilidad que incluyen aspectos a cumplir como: cero deforestación, protección del suelo, agua y el aire, cumplimiento de los derechos humanos, laborales y territoriales, reducción de los GEI, desarrollo rural, conservación alimentaria, protección de tierras con alto valor de biodiversidad entre otros (RBS, 2023), que exigen una ardua labor de toda la cadena logística desde la producción hasta el suministro y operación de las aeronaves.

Los biocombustibles actualmente se producen a partir de diferentes materias primas algunas como la *Jatropha*, camelia, maíz, canola, palma aceitera entre otros. La palma aceitera es de los más comercializados a nivel mundial, es económico en comparación con otras materias primas, lo que permite disminuir el costo final de producción de biodiesel y por esta razón es una excelente opción para el estudio de implementación de SAF en Colombia.

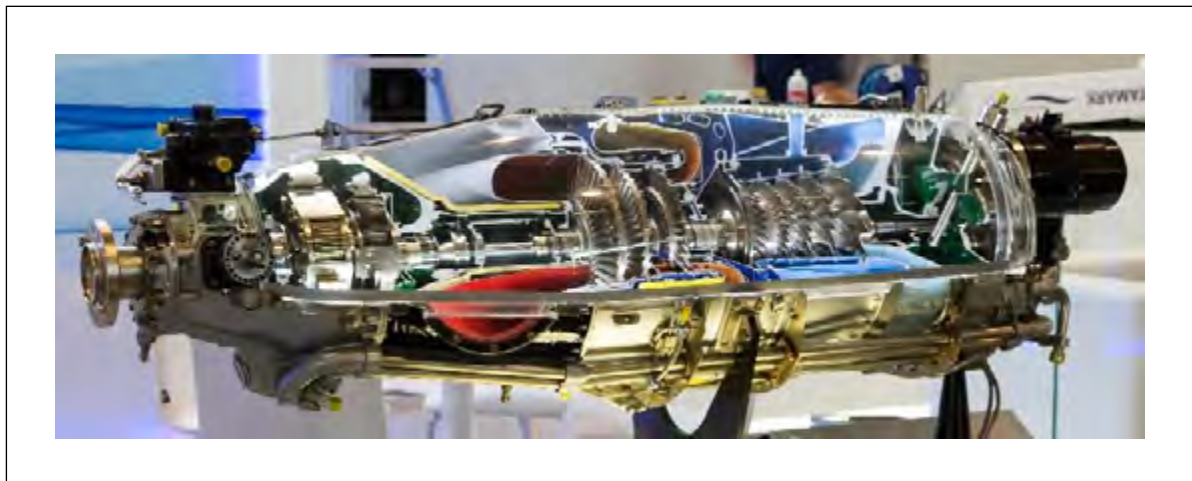
Teniendo en cuenta datos de fedepalma (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite), los aceites de palma lideran la producción mundial de aceites y grasas vegetales con el 34,7% de 241,4 millones de toneladas producidas, en segundo lugar, está la soya con el 24,9%, del total de consumo de aceites y grasas aproximadamente 48 millones de toneladas son destinadas para la producción de biocombustibles lo que se traduce al 20% de la producción total. Colombia ocupa a nivel mundial el cuarto lugar en producción con el 2,2%, detrás de Tailandia con el 3,8%, de Malasia con el 24% e Indonesia en el primer puesto con el 59%. En Latinoamérica Colombia ocupa el primer puesto, seguido de Guatemala, Honduras y Brasil. El sector palmero colombiano está rodeado de importantes cifras, tales como la participación de 161 municipios en 21 departamentos, 595.722 hectáreas sembradas, producción de 1.747.377 toneladas de las cuales registra ventas locales de 1,2 millones y exportaciones por 492 millones de toneladas y mostrando un ingreso promedio de \$4.093.730 COP por tonelada. Demostrando el avance del sector que año tras año mejora sus procesos aumentando la producción y por ende la destinación a biocombustibles que tienen la oportunidad de consolidarse en la economía circular del sector aéreo en la certificación para que sea utilizado como SAF (Cuellar Sánchez, 2022).

El biocombustible producido de palma aceitera colombiana tiene la posibilidad de ser certificado por sostenibilidad ya que trabaja con 63 empresas entre productoras, gubernamentales, gremios entre otras que pueden demostrar que la cadena de suministro está libre de deforestación de bosques naturales, información que también ratifica el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.) mostrando que los cultivos de palma de aceite no son un motor significativo de deforestación por el total de cultivos nuevos. Cenipalma (Corporación Centro De Investigación En Palma De Aceite) investiga como el cultivo de palma tiene asociación entre especies nativas, plantas nectaríferas que mantienen biodiversidad de insectos benéficos y polinizadores, plantas leguminosas que mejoran las características del suelo haciendo cada ciclo más productivo. En la parte social y laboral crea más de 197.000 empleos con promedio

de salario de 1,5 SMMLV (Salario mínimo mensual legal vigente), 31% de los productores son mujeres y se disminuyó en 14% en las hectáreas cultivadas con coca (Cuellar Sánchez, 2022).

Teniendo en cuenta lo anterior en esta investigación se utiliza biodiesel de palma aceitera de producción local y considerando que la Fuerza Aeroespacial Colombiana cuenta en su capacidad logística con un gran número de motores de la familia PT6 de la Pratt y Whitney (Figura 1) que abastecen aeronaves como: el AC47T Fantasma, C-208 Caravan, C-90, King 350, A-29 Supertucano, Bell 412 entre otros. Se considera un motivo importante para realizar en este tipo de motores pruebas con mezclas de biocombustible, el motor PT6 es un motor de turbina libre ligero, utiliza una caja reductora de dos etapas para la hélice, cuenta con dos conjuntos rotatorios, uno incluye la turbina del compresor y el compresor, el otro consiste en las turbinas de potencia y el eje de la turbina de potencia (Pratt y Whitney Canada Corp., 2002).

FIGURA 1. Motor PT6



Fuente: Adaptado de Blume (2000)

La Fuerza Aeroespacial Colombiana como Autoridad certificador de la aviación de Estado, la academia con participación de la Escuela de suboficiales “Andrés María Díaz” junto con la Universidad ECCI, y la industria de combustibles con Terpel y BioD que suministran el combustible Jet A1 y el Biodiesel respectivamente, se unen para desarrollar el macroproyecto de implementación de Biocombustibles a motores de la Fuerza, que inicia sus pruebas con un banco de pruebas y un motor Teledyne J-69, para luego incursionar en el motor turbopropulsor PT6 del cual se trata en este documento, buscando como objetivo principal la implementación de biocombustibles de procedencia local. Mediante una investigación con metodología de tipo experimental teniendo en cuenta las condiciones operacionales del motor, se verifican las posibles implicaciones mecánicas del motor a observar después de una inspección de la sección caliente HSI (Hot Section Inspection), lo que permitirá un paso más a la utilización de mezclas de biocombustible de manera segura y garantizando aeronavegabilidad que es la aptitud técnica y legal para que sea confiable la operación del motor. También contribuyendo a los objetivos de desarrollo sostenible como el número 7 energía asequible y no contaminante, junto con el 13 acción por el clima, que se verán implicados al implementar una porción de biodiesel local más accesible que un bioqueroseno ya certificado como mezcla al combustible tradicional en la reducción de gases contaminantes.

## 2. Recursos y métodos

Para la realización de ensayos simulando las condiciones reales de operación del motor es necesario la utilización de un banco de pruebas, instalación por la cual se obtienen datos confiables para su posterior análisis, la fuerza Aeroespacial tiene a disposición bancos de prueba para diferentes dispositivos, componentes y motores, pero no contaba con un banco específico para el motor PT6, razón por la cual para la realización de esta investigación se adaptó un banco de prueba para motores turbohélice denominado AM37T-22 que en el pasado fue usado en los motores Garrett T76 que servían a los aviones Bronco OV-10 de la FAC que estuvieron activos hasta el año 2015, debido al desuso de este banco su infraestructura se vio deteriorada por su exposición a la intemperie, encontrando condiciones de corrosión, suciedad, invasión de vegetación entre otros aspectos que no permitían su uso de manera inmediata.

Para adaptar el banco según las condiciones iniciales como se observa en la Figura 2, se realiza inicialmente una inspección visual para determinar los puntos críticos a restaurar del banco, se determinó el procedimiento para la recuperación que en su mayor parte consistió en la recuperación de puntos afectados por corrosión, se realizaron pruebas no destructivas del tipo de inspección por partículas magnéticas a las soldaduras que involucraban importancia para la operación del banco, tales como los puntos de anclaje de la estructura a la superficie y a el soporte del motor, se cambiaron componentes que tenían afectaciones de deterioro mayores al 10%, tratando de prevenir pérdida de las propiedades de los materiales afectados, se eliminó corrosión se aplicó anticorrosivo y se pintó para mejor apariencia. (Lasso Tamayo et al., 2018)

FIGURA 2. Condiciones iniciales del banco



Fuente: Modificado de Lasso Tamayo et al. (2018)

Seguido a la recuperación estructural del banco, se procedió a la adaptación y ubicación del motor a ser utilizado un PT6A-61A de un avión Piper PA-42-720 Cheyenne IIIA que funciona como maqueta de práctica para la ESUFA (Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aeroespacial Colombiana "Andrés María Díaz"), ya que no tiene los mismos puntos de sujeción que el Garrett T76, fue necesario crear sobre los desusados puntos de sujeción una placa como se observa en la Figura 3 con los puntos del montante del nuevo motor lo suficientemente rígida para su soporte.

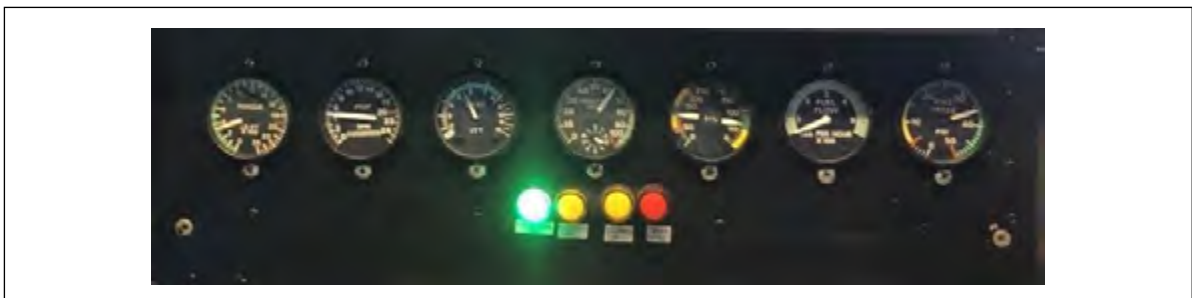
**FIGURA 3.** Adaptación de placa en banco de prueba. Visualización de la placa de montaje (amarillo) donde se colocará el motor PT6



El siguiente paso fue la conexión de los controles del motor mediante tres palancas ubicadas en la cabina de mando del banco de pruebas, las cuales fueron: palanca de potencia, palanca para paso de la hélice y control de flujo de combustible. Que conectadas mediante cables de control teleflex permitiría el manejo desde cabina del motor en sus diferentes variaciones en el momento de simular la operación real del motor, también se buscó garantizar la seguridad del operador de las pruebas y para las condiciones de conservación del mismo motor. (Quiroga Vargas y Barrios Rojas, 2020)

Se ubicaron y conectaron los indicadores para verificar el comportamiento operacional del motor, para garantizar que el material estuviera bajo estándares de aprobación aeronáutica se utilizaron los instrumentos de indicación de la misma aeronave que sirve de maqueta de práctica en la ESUFA de la que fue desmontado el motor PT6A-61A. En la Figura 4 se muestra la disposición de los instrumentos que en su orden de izquierda a derecha son: Unidad de Control de Torque. (TQ), Indicador de RPM de la Hélice ( $N_p$ ), Sistema de temperatura Entre Turbina (ITT), Indicador de RPM del generador de Gases ( $N_g$ ), Sistema de Presión de la Lubricación del Motor (PSI), Sistema de Temperatura del lubricante de Motor ( $^{\circ}\text{C}$ ), Sistema de Flujo de Combustible (WF/PPH), Sistema de Presión de Combustible de Entrada del Motor (PSI).

**FIGURA 4.** Instrumentos de indicación de condiciones del motor, extraídos de la aeronave Piper PA 42-720 y adaptados al interior de la cabina de pruebas.



### 3. Protocolo de prueba con biodiesel

Para establecer el protocolo de pruebas que es básicamente el procedimiento que se diseñó entre los investigadores, se tuvo en cuenta la experiencia previa del macroproyecto de implementación de Biocombustibles a motores de la Fuerza aérea, en su aplicación a motores J69 (Galindo Castillo, 2018), se llegan a consensos entre el personal técnico con experiencia en operaciones de bancos de pruebas y los investigadores según necesidades de los estudios a evaluar, se definen parámetros y factores experimentales como niveles de marcha, duración, mezclas entre otros, que se puedan controlar para tener resultados en aspectos mecánicos, térmicos, de contaminación y operación, se ajustan recursos tales como humanos, insumos, físicos. Se establecen pautas de seguridad y aspectos para el cuidado del motor y del banco de pruebas. Para poner en marcha el motor y mantener los límites de operación en los rangos de seguridad se siguen las indicaciones del fabricante establecidas en los siguientes documentos técnicos: Type Certificate Data Sheet E4EA, Manual de operación de vuelo Piper Cheyenne III, Manuales de Pratt and Whitney Canadá, Manual de mantenimiento 3034342, Overhaul 3034343 de la casa fabricante, Manual de mantenimiento de avión Piper Cheyenne III 761523.

Antes de iniciar cada prueba como pauta de seguridad se verifican los alrededores del banco para evitar daños por objetos extraños (FOD), se realizan inspecciones pre-operacionales del motor, hélice, sistema eléctrico, extinción de incendios y suministro de combustible.

Luego se procede a la ubicación del personal necesario para operación del motor en los puntos necesarios alrededor del banco mostrado en la Figura 5. Personal de cabina, personal de seguridad para corte de combustible, corte de energía, toma de datos.

**FIGURA 5.** Banco de Prueba adaptado para Motor PT6A-61<sup>a</sup>. Se visualiza el motor montado en el banco listo para pruebas, con su conexión a la planta eléctrica y suministro de combustible



Se consideraron probar mezclas de 100% Jet A1 (B0), Jet A1 y 5% de Biodiesel (B5), Jet A1 y 10% de Biodiesel (B10), Jet A1 y 25% de Biodiesel (B25). Para la realización de réplicas de operación del motor con las diferentes mezclas de biodiesel y combustible Jet A1 se tienen en cuenta los siguientes parámetros: Después de encendido el motor y estabilizado con cada mezcla se llevaba a seis niveles de operación donde se permite la toma de datos con porcentajes de Ng (RPM del generador de gases); iniciando con low idle

(55%-64% de Ng), Hi idle (72%-75% Ng), luego se lleva a dos condiciones transitorias la primera de 75% de Ng y 90% de Ng, luego se lleva a máximas Take off 100% de Ng pero estabilizado en 96% de Ng para toma de datos, para finalmente llevarlo a condición de reversible luego de restablecer el motor a mínimas revoluciones. En cada posición se estabiliza por al menos tres minutos para toma de datos (Sánchez Alba, 2020).

**TABLA 1. Resumen Protocolo de pruebas**

Mezclas	Niveles de operación	Lectura –Datos	Condiciones in situ.	Nº replicas y duración.
B0	Low Idle 62%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Torque (LB-FT)</li> <li>• RPM Np</li> <li>• ITT (°C)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura ambiente</li> <li>• Presión Barométrica</li> </ul>	Dos replicas por nivel de operación, con pausas en ella de 3 minutos para toma de datos.
	Hi Idle 70%			
B5	Transient 75%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RPM Ng</li> <li>• Lubricante (PSI) (°C)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Humedad Relativa</li> <li>• Consumo de combustible</li> </ul>	
B10	Transient 90%			
B25	Take off 100%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuel Flow (LBS PER HOUR)</li> <li>• Fuel PRESS (PSI)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo de Prueba</li> <li>• Hora Local</li> <li>• Fecha de prueba</li> </ul>	
	Reverse NR			

Una vez finalizadas las pruebas con las diferentes Mezclas se procedió a realizar un procedimiento de inspección de la sección caliente del motor PT6A-61A, apoyados en documentos técnicos del motor como el manual de mantenimiento y manual de overhaul, para esta acción se tuvo participación de los estudiantes de la Tecnología de Mantenimiento Aeronáutico de la ESUFA, que en su proceso de formación tienen la oportunidad de aportar a la investigación desde la ejecución de procesos técnicos propios de su futura función laboral para la Fuerza Aeroespacial. Esta inspección se comparó con una inspección de la misma sección caliente antes de la realización de las pruebas antes descritas.

Finalmente, el motor se rearma nuevamente para retomar pruebas con Biodiesel.

#### 4. Resultados

Una vez realizada la inspección a la sección caliente de acuerdo a procedimientos indicados por el fabricante tales como desarme y formas de visualizar las condiciones de cada elemento de la sección, se encontraron principalmente tres aspectos que son de poca frecuencia de ocurrencia en los procesos de inspección en tan corto tiempo de funcionamiento del motor en operación normal con combustibles Jet A1, por este motivo son tenidos en cuenta de manera especial para determinar si fueron causa del uso del biodiesel de palma utilizado en este experimento.

#### 4.1. Termocuplas deteriorados.

TABLA 2. Termocuplas en inspección inicial y posterior a las pruebas



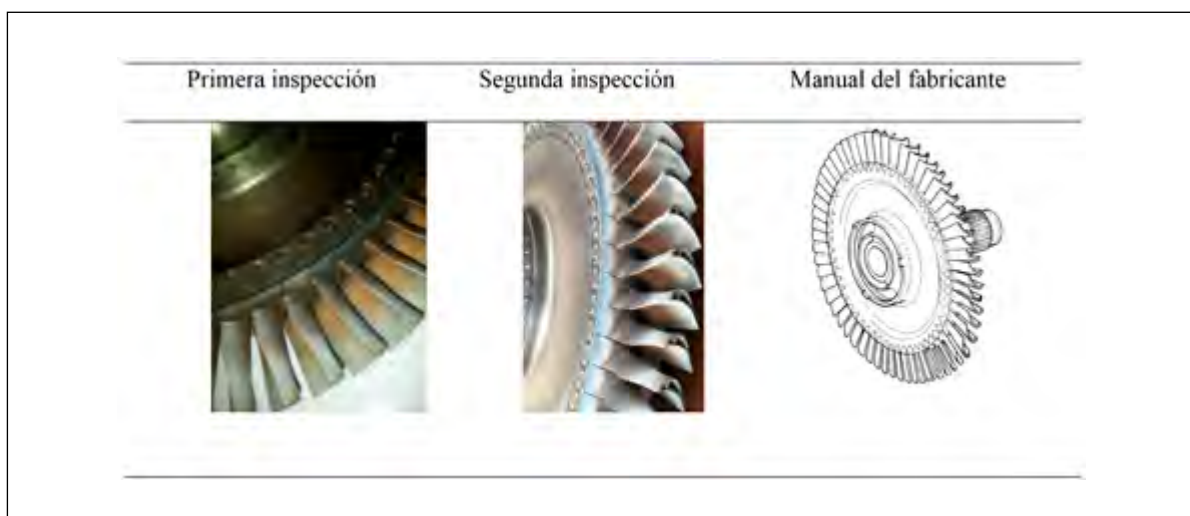
Fuente: Comparadas con imagen de manual tomada de Pratt y Whitney Canada (2005)

El sistema de indicación de temperatura entre turbinas está constituido de ocho termocuplas de aluminio/cromo que están conectadas en paralelo, sobresalen en la carcasa del estator de la turbina de potencia, ubicadas en las posiciones 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10 y 11 según las manecillas del reloj.

En la Tabla 2 se compara la condición de una de las termocuplas antes y después de las pruebas realizadas: se encontraron dos (2) termocuplas abiertas con señales de quemadura. Es una falla poco común, posible sobretemperatura a causa de la combustión de la mezcla.

#### 4.2. Decoloración y alargamiento de alabes de turbina del compresor

TABLA 3. Comparación de inspección inicial y posterior a pruebas. Primera foto: turbina de compresor antes de pruebas. Segunda foto: turbina compresor después de pruebas.



Fuente: Elaboración propia, Comparado con imagen de manual tomada de Pratt y Whitney Canada (2005)

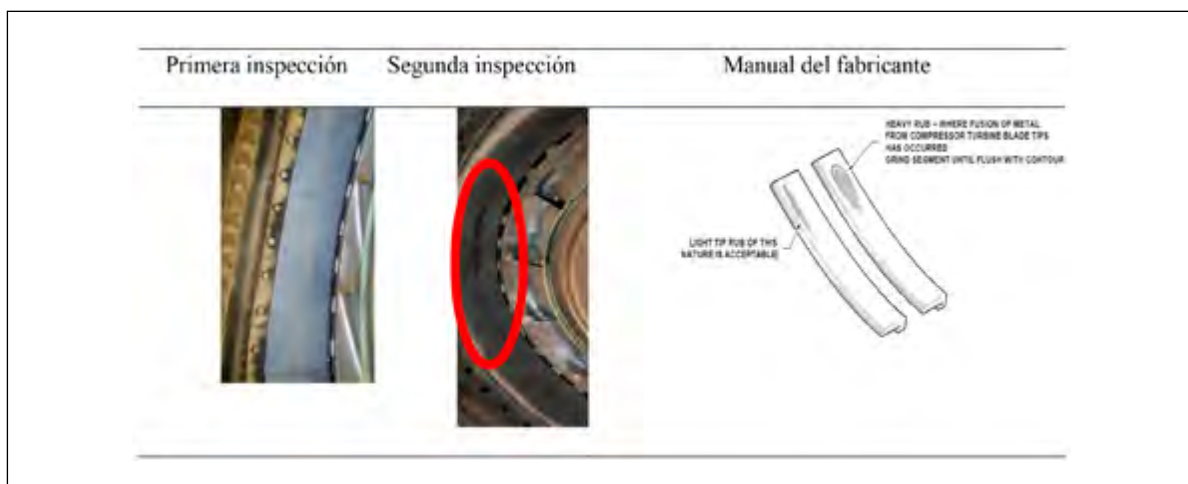


La turbina impulsa el conjunto del rotor del compresor en dirección contraria a las agujas del reloj a través de la extensión del eje. En la Tabla 3 se muestran los alabes de la turbina del compresor en comparación de la inspección realizada antes de las pruebas con mezclas de Jet a1 y biodiesel: Se encontró decoloración de los alabes de la rueda e indicaciones de carbonización (Pratt y Whitney Canada Corp., 2002).

Se presencia decoloración que demostraría, la sulfuración que se produce a las temperaturas de funcionamiento del motor en presencia de sodio y azufre (Pratt y Whitney Canada, 2007). Este tipo de corrosión es común por la presencia de azufre en el combustible JET A1, pero se deberá revisar si la composición de sodio es debido a el biodiesel o condiciones ambiente del lugar de realización de la prueba.

#### 4.3. Rozamiento de la rueda de turbina del compresor con los segmentos de cubierta.

TABLA 4. Comparación de segmentos. Fotografías comparando inspección previa y posterior a pruebas.



Fuente: Comparadas con imagen de manual tomada de Pratt y Whitney Canada (2005)

Los segmentos actúan como un sello y proporcionan un espacio de funcionamiento para la turbina del compresor. Los segmentos se mantienen en posición mediante almohadillas de retención ubicadas alrededor de la cara adyacente del estator de la turbina del compresor (Pratt y Whitney Canada Corp., 2002).

En la Tabla 4 se puede considerar el cambio después de las pruebas de los segmentos, indicando rozamiento de la turbina del compresor.

Se cambian termocuplas afectadas y se deja en óptimas condiciones el sistema de indicación de temperatura interturbina.

Para solucionar y recobrar la funcionabilidad se realizó un proceso de rectificad de los segmentos de los sellos para evitar fricción con los alabes de la turbina de potencia, recuperar medidas y tolerancia, fuga de los gases de combustión, y minimizar pérdidas de torque.

## 5. Conclusiones

Una vez realizada la HSI se considera de acuerdo con la comparación de la literatura del fabricante que las afectaciones que tuvieron las termocuplas se presentaron por sobre-temperatura, producida por las mezclas estudiadas Biodiesel-JetA1 ya que no es un fallo común, por esa misma razón los alabes de la turbina del compresor se decoloraron y alargaron por dilatación térmica produciendo rozamiento con los segmentos de cubierta.

El funcionamiento del motor en parámetros de trabajo no se vio afectado, teniendo en cuenta las lecturas de indicación y comportamiento del motor durante las pruebas, se considera que tienen altas probabilidades las mezclas de biodiesel con porcentaje menor de 25% en su implementación y uso a nivel operacional, teniendo en cuenta que se deben replicar más pruebas para tener un alto nivel de confiabilidad aeronáutica y proceder a certificación de la mezcla más apropiada, beneficiando así la emisión de GEI.

Es necesario continuar con el estudio y la realización de más pruebas para garantizar una confiabilidad aeronáutica alta, por tanto, se proyecta otra fase de pruebas donde se recomiendan inspecciones después de cada replica en ensayo, mediante inspección visual por medio de boroscopio para evitar deterioro a daños en los componentes por sobre-temperatura en la sección caliente como las encontradas en esta investigación.

Se abren más posibilidades para futuras pruebas a razón de la importancia de la implementación de soluciones a la transición energética que presenta Colombia y el mundo, para estas futuras pruebas se pone a consideración un sistema de toma de datos digital para tener más precisión y evitar errores en el manejo de datos análogos como se realizó, también se deben realizar modificaciones al banco de pruebas para evitar vibraciones.

### Referencias bibliográficas

- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Rev Esp Salud Pública*, 79(2), 159-175.
- Blume, M. (2000). *PT-6 Annular Combustor*. <https://www.pprune.org/tech-log/640568-pt-6-annular-combustor.html>
- Cuellar Sánchez, M. (2022, octubre 21). *La palma de aceite y los biocombustibles en Colombia*. Evento Socialización Resultados de Investigación en Biocombustibles de Aviación, Bogotá, Colombia.
- Galindo Castillo, J. M. (2018). *Desarrollo de pruebas y análisis mecánico y energético de un motor j69 de la Fuerza Aérea Colombiana a condiciones de Bogotá, realizadas en banco de ensayos utilizando jet a1 y mezcla de biocombustible*. [UNIVERSIDA ECCI]. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/3239>
- IATA. (2018). *Fact Sheet Climate Change*.
- ICAO. (2022). *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSA)*. <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSA/Pages/default.aspx>
- Lasso Tamayo, A. Y., Urrego Valbuena, K. A., y Almanza Rodríguez, A. F. (2018). *Caracterización del procedimiento realizado para recuperar la estructura del banco de prueba am37t-22, en la sección de bancos de prueba del comando aéreo de mantenimiento CAMAN*. Escuela de Suboficiales Ct. Andrés M. Díaz.
- Pratt y Whitney Canada (2005). *Maintenance manual manual part no. 3034342*. Pratt y Whitney Canada Corp.
- Pratt y Whitney Canada (2007). *PT6A-60 SERIES TRAINING MANUAL*. Pratt y Whitney Canada, Inc.
- Pratt y Whitney Canada Corp. (2002). *PT6A FAMILIARISACION y CAZA FALLAS*.
- Quiroga Vargas, C. G. y Barrios Rojas, J. F. (2020). *Diseño de un Controlador de Comandos Teleflex para el Banco de Pruebas de un Motor Pt6 Operado con Biocombustibles*. Escuela Colombiana de Carreras Industriales.
- RBS (2023). Home | *Sustainable Development and Biomaterials*. RSB. <https://rsb.org/>
- Sánchez Alba, A. P. (2020). *Desarrollo de pruebas y análisis experimental de un motor PT6A-61A de la Fuerza Aérea Colombiana a condiciones de Bogotá, realizadas en banco de ensayos utilizando JET A-1 y biodiesel*. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/1654>