

Seminario Evento de Socialización Investigación Interinstitucional en Biocombustibles de Aviación

1 versión



*Seminario Evento de Socialización Investigación Interinstitucional en Biocombustibles
de Aviación*

ISSN 2805-606X

<http://dx.doi.org/10.18180/Memoriasv2.2805-606X>

Edición 1

Editorial Universidad ECCI

Luz Adriana Suarez Suarez, Editor

Corrector de estilo y diagramación Eduard Andres Cardenas Lopez

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio
sin la autorización escrita del titular de los derechos

patrimoniales

Bogotá, Colombia

octubre

2022

Seminario Evento de Socialización Investigación Interinstitucional en Biocombustibles de Aviación

Antecedentes

A nivel mundial, el sector transporte ha concentrado los esfuerzos para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), mediante la sustitución de los combustibles fósiles por biocombustibles. Hace más de 15 años, se ha venido produciendo a escala comercial biodiesel y bioetanol carburante para vehículos terrestres, ante lo cual, el sector aeronáutico visibiliza una oportunidad de integrar combustibles sostenibles debido de su impacto en las emisiones globales GEI el cual es alrededor de 3.5 %. Por lo tanto se han realizado ensayos de biocombustibles en vuelos comerciales de prueba. En el primer semestre de 2019 la Universidad ECCI en trabajo cooperativo con la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) realizando las primeras pruebas en turbinas aeronáuticas, con resultados preliminares satisfactorios en rendimiento y disminución de GEI. La evaluación para que los biocombustibles reemplacen a los combustibles fósiles, se enfocan en que sean: renovables, sostenibles ambientalmente, con mayor o igual eficiencia energética, con propiedades físico-químicas y funcionales que correspondan con los estándares de sus homólogos de los fósiles, con la mejor concentración de mezcla y evitando limitaciones que afecten la vida útil de los motores.

Por lo tanto, para generalizar el uso comercial de los biocombustibles en el sector aeronáutico, se debe superar los obstáculos desde el punto de vista químico, mecánico, ambiental, electrónico y de procesos logísticos para así asegurar las condiciones similares en su rendimiento a los combustibles existentes. Deben tener disponibilidad a un costo adecuado, ser fiables en su manipulación, en los tanques de almacenamiento y poliductos. Su producción debe ser competitiva respecto a los combustibles convencionales. Por último deben ser sostenibles y no emplear biomasa que sean para consumo humano. El presente evento se enmarca en avances en la investigación sobre aspectos relacionados a sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático, promoviendo además la producción sostenible de biocombustibles, a partir de la necesidad o prospección de uso del sector aeronáutico nacional.

Impacto social

La industria de la aviación ha comenzado a medir su progreso técnico en la creciente eficacia de las tecnologías de aviación, dentro de las cuales el combustible es uno de los artículos de costo más elevado de una operación de línea aérea. Es por esta razón que una aerolínea decide invertir en nuevas tecnologías, revisa el consumo del combustible que se va a tener en su operación y en la actualidad el impacto en el planeta. Sin embargo, aunque el camino más directo para una línea aérea es mejorar su logística, se debe proyectar el uso de nuevos biocombustibles amigables con el medio ambiente que hagan eficiente la operación con una reducción en gases de efecto invernadero.

Estos propósitos generan todo un impacto en los diferentes sectores, desde los productores de las materias primas como las biomasa, los fabricantes de motores de aviación, las

aerolíneas comerciales, la aviación militar, las empresas transportadoras y comercializadoras y hasta finalmente el usuario final quien es el cliente a quien se le presta el servicio de toda operación aérea.

Por tal motivo, este evento tiene como participante a todos los sectores relacionados con la industria de la aviación, desde el sector productivo, sector logístico y operacional, sector académico, gobierno nacional y diferentes sectores del estado, quienes serán los actores en la implementación de biocombustible aeronáutico en Colombia.

Por esta razón, los fabricantes tanto de aviones como de combustibles, tienen la responsabilidad de trabajar en nuevas fuentes de producción de biocombustibles y tecnologías en los parámetros de aviación que lleven a un menor consumo e impacto ambiental y con ello a una menor contaminación atmosférica por la emisión de gases de efecto invernadero para el año 2050.

Agenda

Inicio: Jueves 20 de octubre de 2022 - 8:00 a 12:00 y 18:00 a 21:00
Lugar: Sede Crisanto Luque - Auditorio Virtual - Carrera 10 # 19- 62 Localidad Santa fé, Bogotá, Cundinamarca.

1. 08:30 Uso de Bicombustibles Aviación (Vladimir Silva Leal).
2. 9:00 Biocombustibles - Un contexto Nacional e Internacional (Manuel Alejandro Mayorga).
3. 9:30 Desoxigenación de aceites (Alberth Renne González).
4. 10:00 Mezclado estático para biocombustibles (José Luis Orellano).
5. 10:30 Diseño y Construcción de Planta Piloto FASE I (José Mateo Martínez).
6. 11:00 Operación de motor aeronáutico turbohélice PT6 (Nelson Arturo Jiménez).
7. 11:30 Operación de motor aeronáutico a reacción J69 (Hugo Hamilton Henao).
8. 18:00 Diseño y adaptación de sistema DAQ-NI (Juan Sebastián Solís).
9. 18:30 Protocolo y metodología de pruebas motor J69 (Andrés Santiago Camargo).
10. 19:00 Protocolo y Metodología de Pruebas motor PT6 (Renso Luis Arango).

11. 19:30 Logística para uso de biocombustibles (Leidy Lemus).
12. 20:00 Lineamientos operacionales biocombustibles (Edwin Ariza).
13. 20:30 Impacto mecánico motor PT6 (Daniel Alberto Arteaga).

Viernes 21 de octubre de 2022 - 8:00 a 12:00 y 18:00 a 21:00

1. 8:30 Cadena de Valor para la Implementación y Uso de SAF en Colombia (Mauricio López Gómez).
2. 9:00 Transición Energética Colombia (Clara Inés Buriticá).
3. 9:30 Contexto Combustibles Colombia (Félix del Rio).
4. 10:00 Aplicaciones futuras biocombustibles (Carolina Betancourt).
5. 10:45 Contexto Aviación Internacional (John Meisterl).
6. 11:15 Aeronáutica Civil - Perspectivas (Victoria Rico).
7. 18:00 Diseño y adaptación de sistema SCADA (Armando Mateus).
8. 18:30 Pruebas J69 - Fase 1 y 2 (José e Miguel Galindo).
9. 19:00 Simulación en motores aeronáuticos (Diego Castellanos).
10. 19:30 Diseño y adaptación Comando Mecatrónico de Potencia AMT/37 (Jorge Cote).
10. 20:00 Huella de Carbono (Adriana Suarez).
10. 20:30 Estudio de ciclo de Vida de Biocombustibles (William Rodriguez).

Comité Organizador

Vladimir Silva Leal, PhD,
Mauricio López Gómez, PhD,
Manuel Alejandro Mayorga, PhD,
Andrés Esteban Cerón, MSc.,
Juan Sebastián Solís, PhD,
Juan David Pava, MSc.,
Luz Adriana Suárez, MSc.,

Índice

Diseño y adaptación Comando Mecatrónico de Potencia AMT/37 <i>Jorge Eduardo Cote Ballesteros</i>	1
Protocolo y Metodología de pruebas motor J69 <i>Andrés Santiago Camargo</i>	2
Huella de Carbono <i>Carlos Andres Piar, Luz Adriana Suárez, William Evelio Rodriguez</i>	5
Huella de Agua <i>Juan Manuel Pedraza, Luz Adriana Suárez, William Evelio Rodríguez</i>	6
Estudio de ciclo de vida de Biocombustibles <i>William Evelio Rodríguez Delgado</i>	7
Hacia la producción de Sustainable Aviation Fuel (SAF) <i>Juliette Alexandra Mahecha Neira, Karen Lucia Patiño Pantoja, Nelly Fernanda Rodríguez León</i>	8
Cadena de Valor para la Implementacion y Uso de SAF en Colombia <i>Mauricio Lopez Gomez</i>	10
Diseño y Construcción de Planta Piloto FASE I <i>Jose Mateo Martinez Saavedra</i>	13
Transición energética en el sector aeronáutico <i>Kevin Andrés Villalba Chuquen</i>	16
Protocolo y Metodología de Pruebas motor PT6 <i>Renso Luis Arango Buritica</i>	18
Biocombustibles - Un contexto Nacional e Internacional <i>Manuel Alejandro Mayorga Betancourt</i>	21
Generalidades de Pruebas Motor J69 - Fases 1 y 2 <i>Jose Miguel Galindo Castillo</i>	24
Seguridad operacional de los motores J69 y PT6 <i>Edwin Helbert Ariza Bonilla, Juan David Pava Erika Juliana Estrada</i>	26



Diseño y adaptación Comando Mecatrónico de Potencia AMT/37

Jorge Eduardo Cote Ballesteros
UNIVERSIDAD ECCI
jcoteb@ecci.edu.co
Bogotá, Colombia

1. Resumen

El banco de pruebas de los motores PT6, disponible en la base de la fuerza aérea colombiana CAMAN, cuenta con un sistema de control de potencia desde cabina, que está compuesto por un mando tipo palanca y un cable tele-flex que realiza la transmisión de movimiento hacia la unidad de control de combustible (FCU) de la turbina. Este sistema basado en tele-flex tiene varios inconvenientes, como por ejemplo zonas muertas en las cuales el movimiento de la palanca no se traduce en cambios en la FCU. También la imposibilidad de realizar movimientos hacia uno de los extremos de la FCU debido a las curvas que debe seguir el trazado del cable tele-flex.

Teniendo en cuenta lo anterior, es posible lograr una mejora del control de potencia del banco de pruebas reemplazando el actual sistema por un control mecatrónico que evitará los problemas de zonas muertas y rango de movimiento. Esta solución se compone de un servomotor encargado de variar el flujo de combustible directamente desde la FCU. El movimiento del servomotor es comandado desde cabina por una palanca que transmite una señal eléctrica, la cual se procesa en un controlador para que se realice el movimiento deseado.

Para el desarrollo de la solución planteada es necesario considerar, por un lado, los aspectos de acople mecánico entre el servomotor y la FCU y, por otro lado, la estrategia de control de movimiento que se utilizará. En cuanto al diseño mecánico, se ha planteado el uso de un acople basado en mordaza, entre el eje del servomotor y el eje del brazo de la FCU, el cual tiene un fusible mecánico dimensionado para proteger las piezas de la turbina PT6. Así mismo, se diseñó una base ajustable en los tres ejes para facilitar el acople a cualquier turbina PT6 que se monte en el banco de pruebas.

Por otro lado, el control de posición del servomotor ha sido implementado a partir de un encoder que genera aproximadamente 16'000.000 de pulsos, lo cual asegura una resolución de fracciones de grados en el movimiento. En el mismo sentido, el controlador regula torque, velocidad y posición simultáneamente, siguiendo un esquema de control cascada para asegurar que el movimiento se realice de forma precisa de acuerdo con el movimiento del mando de palanca instalado en cabina.

2. Agradecimientos

Se destaca que el presente producto de investigación fue desarrollado en el marco del contrato N° 728 de 2020, convocatoria 852 de 2019 de MINCIENCIAS, el cual fue financiado con recursos provenientes del PATRIMONIO AUTÓNOMO FONDO NACIONAL DE FINANCIAMIENTO PARA LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.



Protocolo y Metodología de pruebas motor J69

Andrés Santiago Camargo Caroprese

UNIVERSIDAD ECCI

andress.camargoc@ecc.edu.co

Bogotá, Colombia

1. Resumen

En la actualidad, cada día se hace más importante disminuir la contaminación en el planeta, y una de las industrias que genera gases de efecto invernadero es la de la aviación, dado por el uso del combustible JET-A1 actual, los cuales tienen propiedades particulares para poder ser utilizados en aviones, este causa un cambio climático descontrolando tanto a largo como a corto plazo en las temperaturas del planeta.

Dentro de la Fuerza Aérea Colombiana se hace uso de combustibles que causan estos gases, como dice [1] Sanchez, el biocombustible en el sector aeronáutico es un tema que ha tomado gran relevancia en el país, ya que Colombia debe cumplir a una serie de compromisos ante la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMNUCC) y a los lineamientos establecidos por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), es por esto que en este proyecto se busca analizar el efecto de los biocombustibles empleados (biodiesel tanto de aceite de palma como de aceite de palmiste) con aditivos mezclado junto al JET-A1, para que de acuerdo con los resultados y conclusiones obtenidas se pueda implementar en un futuro a corto plazo en la FAC sin que se vean afectadas las turbinas.

En el presente trabajo se realizaron pruebas con diferentes mezclas biodiesel de aceite de palma y palmiste, JET-A1 y aditivo para probar su funcionamiento y rendimiento en la turbina aeronáutica J-69-T-25A. En las pruebas experimentales se utilizaron 6 diferentes mezclas de biodiesel y se tomaron datos en 4 regímenes de operación que fueron al 30 %, 70 %, 80 % y 100 %. Se realizaron cinco réplicas con todos los regímenes. Las pruebas se hicieron en un banco de prueba con todos los elementos para tomar las mediciones ubicado en la base de la FAC en Madrid, Cundinamarca. Los datos obtenidos se organizaron y compararon entre cada una de las mezclas. Los resultados esperados son respecto a la contaminación y gases, la eficiencia térmica y el impacto mecánico en la cámara de combustión.

Palabras clave: *turbinas de propulsión por reacción, biodiesel, aceite de palma, aceite de palmiste, banco de prueba, aeronáutica, Jet fuel A1, biocombustibles*

2. Materiales y Métodos

En la búsqueda de mitigar el impacto ambiental que genera la FAC se presentó el proyecto para realizar investigaciones sobre el uso del biocombustible en los motores aeronáuticos, por lo que se presentan resultados y conclusiones de las pruebas para garantizar el uso del biocombustible en un futuro cercano. El motor que se utilizó en las pruebas es una turbina J-69, que como muestra [2] Talero et al., es un motor turborreactor utilizado en el avión militar Cessna T-37 de la Fuerza Aérea Colombiana.



Este motor se adaptó e instaló en un banco de pruebas y es un motor pequeño comparados con los utilizados en los vuelos comerciales. Es un motor 4 tiempos donde se tiene admisión, compresión, combustión y escape. La sección fría es la de admisión y compresión, y la sección caliente se compone de la combustión y escape, en las turbinas se debe tener muy en cuenta y controlada la temperatura para evitar daños que en algunos casos pueden llegar a ser irreparables en algunas partes. Para las pruebas se utilizaron 6 mezclas de combustibles: para las pruebas se utilizaron 6 mezclas de combustibles:

- Primera prueba con Jet-A1.
- Segunda prueba con Jet-A1-aditivos.
- Tercera prueba con la mezcla de Jet-A1- biodiésel de palma.
- Cuarta prueba con la mezcla de Jet-A1- biodiésel de palmiste.
- Quinta prueba con Jet-A1- biodiésel de palma-aditivos.
- Sexta prueba con Jet-A1- biodiésel de palmiste-aditivos.

La cantidad por prueba de combustible Jet-A1 fue de 50 galones, la palma y palmiste de 2.5 galones 5% y el aditivo 100 ml, 0.05%. Cada prueba consta de una corrida y 3 réplicas, cada corrida se compone de 4 regímenes en la turbina que se tomaron al 30%, 70%, 80% y 100%. Se ejecutaron un total de 24 corridas en las que se tomaron los datos. Se realizaron análisis térmicos, mecánicos y de emisiones en la turbina. Para las emisiones se utilizó un conjunto de termopares de salida de gases, adaptador tubo de escape, una riostra de muestreo de gases de escape y analizador de gases para comparar los datos encontrados en cada una de las pruebas. El análisis mecánico que se realizó en la cámara de combustión se hizo por medio de un sensor de presión de combustible, aire y velocidad angular del eje, posterior a las pruebas se desarmara el motor para la verificación del interior comprándolo con el estado inicial.

Para el impacto térmico se toman los resultados de las pruebas, estos se obtienen por medio de sensores que obtienen las variables de temperatura van con unidades de grados Fahrenheit (°F), temperatura entrada de aire (rango entre 30 a 100 °F), temperatura salida de aire (rango entre 0 a 2000 °F) y temperatura del aceite (0 a 440 °F) y también por medio de una cámara termográfica, adicionalmente se realiza un análisis elemental a las mezclas para su posterior estudio por medio de los cálculos.

3. Resultados

De los resultados encontrados se espera que de las mezclas biocombustibles de aceite de palma y palmiste disminuya la emisión de los gases contaminantes sin desmejorar el funcionamiento de la turbina y sin aumentar la cantidad de galones necesarios para la operación de la turbina. También se espera que no se vea afectado el motor por la eficiencia térmica que se encuentre en las mezclas biocombustibles, y es importante verificar que no se vea comprometida la cámara de combustión durante el uso de los combustibles. Todo esto para garantizar que se puede utilizar este tipo de mezclas biocombustibles en los vuelos de la FAC.



4. Agradecimientos

En primera instancia queremos agradecer al proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación y liderado por la Universidad ECCI Evaluación del comportamiento de mezclas de biocombustibles colombianos en turbinas aeronáuticas Convocatoria 852-2019 “conectando conocimiento” por brindarnos la oportunidad de hacer parte de esta investigación.

Referencias

- [1] A. Sanchez. *Desarrollo de pruebas y análisis experimental de un motor PT6A-61A de la Fuerza Aerea Colombiana a condiciones de Bogota, realizadas en banco de ensayos utilizando Jet A-1 y biodiesel*. Universidad ECCI.
- [2] Gabriel Talero, Camilo Bayona-Roa, Giovanni Muñoz, Miguel Galindo, Vladimir Silva, Juan Pava, and Mauricio Lopez. Experimental methodology and facility for the j69-engine performance and emissions evaluation using jet a1 and biodiesel blends. *Energies*, 12(23), 2019.



Huella de Carbono

Carlos Andres Piar
Luz Adriana Suárez
William Evelio Rodriguez
UNIVERSIDAD ECCI
carlosa.piar@ecci.edu.co
suarez.luz@ecci.edu.co
willirodel@gmail.com
Bogotá, Colombia

1. Resumen

La producción de biodiésel inicia con la etapa de cultivo, en esta etapa se adecua el suelo y se aplican fertilizantes. En la etapa de extracción de aceite, se transportan los frutos desde el cultivo hasta una planta donde se utilizan procesos de esterilización y ablandamiento para así facilitar su extracción, igualmente en esta fase se retiran todos los residuos orgánicos como el raquis, estos residuos generados son enviados a procesos de tratamiento. En la etapa de refinación, con la entrada del aceite vegetal de la palma crudo combinado con metanol, se obtiene el biodiésel.

Por lo tanto, es de suma importancia evaluar la huella de carbono de todo el proceso y así poder aportar, desde un conocimiento técnico, estrategias de mitigación de impactos en todo el proceso de producción de combustibles, empezando por su producción y de esta forma aportar una reducción de las emisiones generadas por la aviación. Para así contribuir al compromiso de nuestro país en el acuerdo de París para reducir nuestras emisiones de gases efecto invernadero en un 30 % para el año 2030.

Para evaluar la huella de carbono, se hizo una revisión de las etapas de producción de biodiesel a partir de documentos, listas de campo y artículos de investigación, se determinaron características específicas y datos sobre el proceso como energía, áreas cultivadas, se revisaron datos de investigaciones colombianas, se utilizó el método ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 / EC-JRC Global, equal weighting está incorporado al Simapro [®] el cual analiza las categorías de cambio climático, acidificación, uso de tierra, uso de agua, radiación ionizante, eutrofización, agua fresca entre otras para evaluar el impacto ambiental. Para el presente trabajo de investigación se seleccionó la base de datos Ecoinvent v3 donde se tomó la información para la producción de biodiésel en sus diferentes etapas e igualmente utilizando la norma GTC 274 y e ISO 14044.

Palabras clave: *huella de carbono, biocombustibles, energía, cambio climático*

2. Agradecimientos

Se destaca que el presente producto de investigación fue desarrollado en el marco del contrato N° 728 de 2020, convocatoria 852 de 2019 de MINCIENCIAS, el cual fue financiado con recursos provenientes del PATRIMONIO AUTÓNOMO FONDO NACIONAL DE FINANCIAMIENTO PARA LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.



Huella de Agua

Juan Manuel Pedraza
Luz Adriana Suárez
William Evelio Rodríguez
UNIVERSIDAD ECCI
juanm.pedrazac@ecci.edu.co
suarez.luz@ecci.edu.co
willirodel@gmail.com
Bogotá, Colombia

1. Resumen

El proceso de producción de los biocombustibles consume grandes cantidades de agua. Los cultivos y las plantas productoras de biodiesel a partir de aceite de palma utilizan agua en distintas etapas del proceso de producción, por lo que un incremento en su producción puede significar un incremento en la demanda de agua. Asimismo, como consecuencia del proceso de cultivo y producción, se generan efluentes que, si no son tratados adecuadamente, pueden ocasionar un incremento en la contaminación de los cuerpos receptores. Por lo tanto, se calculará la huella de agua usando la norma NTC ISO 14046:2017, ya que en esta se encuentran los requisitos y directrices necesarias para el cálculo de la huella de agua.

Para ello se determinó el impacto del uso del agua en el proceso de producción de biocombustible a partir del aceite de palma, se evaluarán todas las etapas del proceso de la producción de biodiesel desde su obtención hasta su uso final. Primeramente, se hizo un inventario de datos (teniendo en cuenta la antigüedad de los datos, cobertura geográfica, precisión, representatividad, coherencia y reproducibilidad) en toda la cadena. Una vez obtenidos los datos, se utilizó el método ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 / EC-JRC Global, equal weighting está incorporado al Simapro [®] el cual analiza las categorías de cambio climático, acidificación, uso de tierra, uso de agua, radiación ionizante, eutrofización, agua fresca entre otras para evaluar el impacto ambiental. Para el presente trabajo de investigación se seleccionó la base de datos Ecoinvent v3, donde se tomó la información para la producción de biodiesel en sus diferentes etapas.

Palabras clave: *agua, suelo, cambio climático, sostenibilidad*

2. Agradecimientos

Se destaca que el presente producto de investigación fue desarrollado en el marco del contrato N° 728 de 2020, convocatoria 852 de 2019 de MINCIENCIAS, el cual fue financiado con recursos provenientes del PATRIMONIO AUTÓNOMO FONDO NACIONAL DE FINANCIAMIENTO PARA LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.



Estudio de Ciclo de Vida de Biocombustibles

William Evelio Rodríguez Delgado

CAEM

willirodel@gmail.com

Bogotá, Colombia

1. Resumen

Para el análisis de ciclo de vida, se hizo una revisión de las etapas de producción de biodiésel a partir de documentos, listas de campo y artículos de investigación, se determinaron características específicas y datos sobre el proceso como energía y áreas cultivadas, se revisaron datos de investigaciones colombianas, se utilizó el método ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 / EC-JRC Global; el equal weighting está incorporado al Simapro [®], el cual analiza las categorías de cambio climático, acidificación, uso de tierra, uso de agua, radiación ionizante, eutrofización, agua fresca, entre otras, para evaluar el impacto ambiental. Para el presente trabajo de investigación se seleccionó la base de datos Ecoinvent v3 donde se tomó la información para la producción de biodiésel en sus diferentes etapas e igualmente utilizando la norma GTC 274 y e ISO 14044.

La etapa de cultivo es la que más impacto tiene según las categorías de impacto de acidificación, eutrofización terrestre, y eco toxicidad del agua dulce, por lo tanto, se deben revisar los insumos o fertilizantes para los cultivos y las técnicas agronómicas para los cultivos. A nivel ecosistémico, se presentan impactos importantes en el suelo, ya que se acidifica el suelo, lo cual puede conllevar a pérdidas de las propiedades, y como resultado la aplicación de fertilizantes.

En cuanto a disponibilidad de recurso, el agua se puede ver afectada por el hecho de que se demandan grandes cantidades de agua, tanto para los procesos de cultivo como los de extracción de petróleo. Se deben realizar este tipo de estudios debido a que cada vez son más las áreas dedicadas al cultivo de palma de aceite con el fin de determinar los impactos y tomar medidas de mitigación.

Palabras clave: *análisis de ciclo de vida, cambio climático, sostenibilidad*

2. Agradecimientos

En primera instancia queremos agradecer al proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación y liderado por la Universidad ECCI Evaluación del comportamiento de mezclas de biocombustibles colombianos en turbinas aeronáuticas Convocatoria 852-2019 “conectando conocimiento” por brindarnos la oportunidad de hacer parte de esta investigación.



Hacia la producción de Sustainable Aviation Fuel (SAF)

Juliette Alexandra Mahecha Neira

Karen Lucia Patiño Pantoja

Nelly Fernanda Rodríguez León

UNIVERSIDAD ECCI

mahecha.juliette@ecci.edu.co

patino.karen@ecci.edu.co

rodriguez.nelly@ecci.edu.co

Bogotá, Colombia

1. Resumen

La industria de la aviación es uno de los principales modos de transporte que generan un gran impacto en la economía global, pero a su vez, es uno de los sectores económicos que genera emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) principalmente CO_2 . En los próximos años se proyecta un incremento en el consumo de biocombustibles destinados en el sector de la aviación y por lo tanto de las emisiones. A su vez los gobiernos buscan disminuir las emisiones de CO_2 y lograr que el incremento de la temperatura global sea inferior a $1.5\text{ }^{\circ}C$ para el 2050, expuestos en la conferencia (COP26) de las Naciones Unidas sobre el cambio climático y desarrollo sostenible.

La producción de SAF contribuirá a la generación de energías renovables, economía circular y la bioeconomía. Este trabajo de investigación representado en un material gráfico y visual presenta la información relevante de una revisión exhaustiva del estado del arte de varias bases de datos institucionales, libros, páginas web y tesis académicas, sobre los aspectos generales del SAF (Sustainable Aviation Fuel) abarcando los siguientes temas: principales tecnologías certificadas por la ASTM D7566 para la producción de bioJet aplicado en industria de la aviación comercial a nivel mundial, las cuales son Fischer-Tropsch (FT), ésteres y ácidos grasos hidroprocesados (HEFA) y alcohol a jet (ATJ), los principales catalizadores empleados en cada una de las síntesis de las rutas de producción mencionadas anteriormente, la materia prima potencial que se puede emplear para la obtención de biocombustibles y un análisis de la generación de GEI en cada una de las tecnologías revisadas.

Palabras clave: *SAF, BioJet, HEFA, Fisher Tropsch, Alcohol a Jet, Catálisis, GEI*

2. Materiales y Métodos

Se ha realizado una revisión bibliográfica del estado del arte de manera general sobre la producción de SAF (Sustainable Aviation Fuel) a través de fuentes primarias y secundarias tras la recolección de información cualitativa y cuantitativa, abarcando los siguientes temas principales:



- Tecnologías aprobadas por la ASTM International para su uso en la aviación en julio de 2011 (ASTM D7566) para la producción de Biocombustibles en aviación, las cuales las más empleadas actualmente a escala industrial y comercial son: Hidrotratamiento de Ésteres y Ácidos Grasos (HEFA), Fisher Tropsch (FT) alcohol a Jet (ATJ).
- Materias primas mayormente empleadas para la producción de BioJet.
- Análisis del impacto ambiental generado en dichas tecnologías.

La información anterior se obtiene de bases de datos institucionales, libros, páginas web y tesis académicas.

Posteriormente, se realiza una depuración y selección de información relevante sobre los temas abordados, la cual es sintetizada en informes. A partir de ello, se extraen datos clave de las fuentes consultadas para la elaboración de un material gráfico y visual (Poster) y de esta forma darlo a conocer a la comunidad científica, dada la importancia en el avance de este tipo de tecnologías en el sector de la aviación, teniendo en cuenta el efecto de los catalizadores en cada mecanismo de reacción, adicional al impacto ambiental por el uso de biomasa y materia prima vegetal.

3. Resultados

Con el póster se espera transmitir conocimiento e interés en la comunidad estudiantil y científica y grupos de investigación los avances en la investigación vinculada con el proyecto “Evaluación del comportamiento de mezclas de Biocombustibles Colombianos en Turbinas Aeronáuticas- código 72078”.

4. Agradecimientos

Se destaca que el presente producto de investigación fue desarrollado en el marco del contrato N° 728 de 2020, convocatoria 852 de 2019 de MINCIENCIAS, el cual fue financiado con recursos provenientes del PATRIMONIO AUTÓNOMO FONDO NACIONAL DE FINANCIAMIENTO PARA LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.



Cadena de Valor para la Implementación y Uso de SAF en Colombia

Mauricio Lopez Gomez
FUERZA AÉREA COLOMBIANA
mauricio.lopezg@fac.mil.co
Bogotá, Colombia

1. Resumen

Esta propuesta revisa el escenario actual, las principales incertidumbres y retos asociados al mercado colombiano de Biocombustible Aeronáutico o Combustible Sostenible de Aviación (SAF por sus siglas en inglés), para luego determinar cuál es la tecnología certificada más adecuada bajo la norma ASTM 7566 D para la implementación de uso y producción de SAF. Lo anterior se realizará, con base en la estimación del potencial técnico de producción de biocombustible aeronáutico en Colombia a partir de la disponibilidad por tipo y cantidad de biomasa. Posteriormente soportado en un análisis multivariante (a través de métodos participativos), se seleccionará los diseños de las cadenas de valor que sean más beneficiosas para el contexto económico, social y ambiental colombiano; así como también proporcionar las recomendaciones para mitigar las incertidumbres identificadas.

Este estudio permitirá que la cadena de valor y las instituciones responsables se organicen para una mejor acción estratégica, identificando los campos de investigación y las necesidades de inversión en investigación, desarrollo e innovación I+D+I, como contribución global. Esta evaluación compartirá la experiencia colombiana para construir una base sólida para una nueva industria de biocombustibles aeronáuticos. Cabe anotar que estudios previos también han investigado los principales desafíos del mercado de SAF en el mundo, lo que demuestra que las dificultades que enfrentan los mercados emergentes no son exclusivas de Colombia. Por lo anterior, las estrategias que se proponen inicialmente buscan la incorporación de actores para convertir en opciones reales las propuestas de cadena de valor, con la gestión de una tecnología, cuyo abordaje se realizará bajo la teoría de system dynamics.

Palabras clave: *Biocombustible Aeronáutico, Combustible Sostenible de Aviación, SAF, cadena de valor, sostenibilidad, contexto colombiano*

2. Materiales y Métodos

Dentro de las historias de usuario que soportan el desarrollo de la propuesta de cadena de valor para la implementación en uso y producción de SAF en Colombia, la mayoría coinciden en que lo que se busca es lograr el posicionamiento de Colombia en el escenario internacional mediante la disminución de huella de carbono con la optimización de costos, junto con la generación de nuevos encadenamientos productivos. Por esta razón, los Ministerios de Minas y Energía, de Medio Ambiente, de Transporte y los clientes más importantes de combustible aeronáutico a nivel estatal, como la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), y a nivel comercial (los miembros de la IATA), deben incluirse para que la propuesta de cadena de valor se acerque a una opción real; para ello se deben considerar los pasos de la metodología de system dynamics que muestra la Figura 4, que incluyen desde los síntomas del problema hasta la mejora.

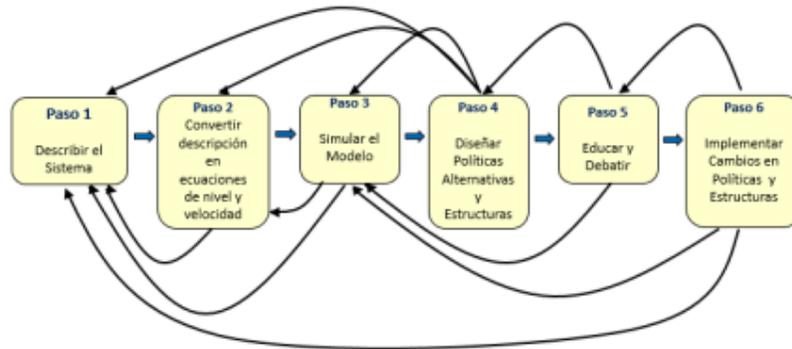


Figura 1: (4) System dynamics desde los síntomas del problema hasta la mejora.
Fuente: System Dynamics Review Vol. 10, nos. 2-3 (Summer-Fall1994): 245

El paso 1 es motivado por un comportamiento indeseable del sistema que debe ser entendido y corregido. La comprensión es lo primero, pero el objetivo es mejorar.

El paso 2 comienza con la formulación de un modelo de simulación. La descripción del sistema es traducida a las ecuaciones de nivel y velocidad de un modelo de dinámica de sistemas.[1]

El paso 3 es la simulación del modelo y puede comenzar después de que las ecuaciones del paso 2 cumplan los criterios lógicos de un modelo operable. La simulación puede exhibir al principio un comportamiento poco realista.

El paso 4 identifica alternativas de políticas para la prueba. Las pruebas de simulación determinan qué políticas muestran la mayor promesa.

El paso 5 trabaja hacia un consenso para la implementación y presenta el mayor desafío para las habilidades de liderazgo y coordinación. Sin importar cuántas personas han participado en los pasos 1-4, muchas otras se involucrarán en la implementación final.

El paso 6 incorpora las nuevas políticas. Las dificultades surgirán principalmente como deficiencias en uno de los pasos anteriores. Si el modelo es relevante y persuasivo, y si la educación en el paso 5 ha sido suficiente, entonces el paso 6 puede progresar.

Con base en la metodología anterior, los experimentos propuestos [2] girarán en torno a la formulación de marcos regulatorios, soportados en vigilancia tecnológica, entrevistas, foros de discusión estudios de campo y casos de éxito, los cuales, al simularse, se validarán y se pondrán a prueba con los actores relevantes. Esto se hará con el fin de encontrar la cadena de valor adecuada que logre volver una opción real la tecnología seleccionada para generar un SAF que cumpla las normas internacionales a un precio competitivo, de forma que se pueda incorporar a la aviación de estado y la comercial, y que logre el interés común de los diferentes actores de posicionar a Colombia en el escenario de sostenibilidad aeronáutica [3], [4], [5], [6], [7].



3. Resultados

3.1. Aporte al conocimiento

Esta solución combina las metodologías disponibles en la literatura para generar una propuesta de cadena de valor que servirá de insumo para la generación de un ecosistema que permita la implementación en el uso y producción de SAF.

El entendimiento detallado de los aspectos (barreras y oportunidades) técnicos y no técnicos de las cadenas de valor que conectan todos los actores incluyendo los usuarios finales de combustible sostenible de aviación SAF.

4. Agradecimientos

Se destaca que el presente producto de investigación fue desarrollado en el marco del contrato N° 728 de 2020, convocatoria 852 de 2019 de MINCIENCIAS, el cual fue financiado con recursos provenientes del PATRIMONIO AUTÓNOMO FONDO NACIONAL DE FINANCIAMIENTO PARA LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

Referencias

- [1] J.W. Forrester. System dynamics, systems thinking, and soft or. *Syst. Dynam. Rev*, 10(2e3):183-210.
- [2] David J Bland and Alexander Osterwalder. *Testing business ideas: A field guide for rapid experimentation*. John Wiley & Sons, 2020.
- [3] Meisterl John. Economista y evaluador de proyectos de iata y experto en saf, reunión hoja de ruta saf colombia.
- [4] Circular Economy Club. Ecocanvas · circular business model design.
- [5] Tamara Melo Juan Guillermo. Reunión saf colombia. Brigadier General Jefe de la Jefatura Logística,.
- [6] Carlos Graterol. Taller de cocreación hoja de ruta saf. Asesor técnico.
- [7] T.U. DELFT. Carlos graterol asesor técnico, taller de cocreación hoja de ruta saf colombia 22 de septiembre.



Diseño y Construcción de Planta Piloto FASE I

Jose Mateo Martinez Saavedra
UNIVERSIDAD ECCI
jmartinezsa@ecc.edu.co
Bogotá, Colombia

1. Resumen

La Fuerza Aérea Colombiana está interesada en reemplazar el 5%wt del bio-jet empleado en sus aviones por combustible renovable. Actualmente, hay empresas que producen Biodiesel por el método de transesterificación [1]. El biodiesel obtenido por este método no cumple con las propiedades de viscosidad a bajas temperaturas, lo que no permite su uso como combustible para aviones. Además, tiene un alto contenido de oxígeno que corroe los motores, limitando su aplicación al 5%wt en mezcla con combustible fósil [2].

Por esta razón, se hace necesario estudiar nuevas rutas de preparación de biocombustibles, tales como el hidrodeseoxigenación [3]. La hidrodeseoxigenación remueve el oxígeno presente en los triglicéridos al adicionar hidrógeno en exceso produciendo H_2O , CO_2 o CO , mediante el uso de un catalizador bifuncional. El catalizador se compone de una fase metálica soportado en sobre un ácido débil. El primer frente de este trabajo comprende explorar la actividad de alloys metálicos que puedan favorecer las reacciones de hidrogenación, como las de PtGa, hacia reacciones que favorezcan la formación de agua en vez de CO_2 y CO [4].

Por otro lado, la elección de un soporte requiere considerar una estructura con alta área superficial y con mesoporos que permitan el acceso de los triglicéridos al interior del catalizador donde se encuentran los sitios activos. El soporte, debe tener una acidez moderada tal que facilite el cracking de enlaces C-O, y la isomerización de las cadenas de hidrocarburo lineales resultantes que mejoren las propiedades en frío del combustible. Una acidez muy fuerte desmejora el rendimiento del proceso rompiendo en exceso los enlaces C-C produciendo gases no deseados. Las relaciones de estas variables del catalizador en el hidrodeseoxigenación aún son tema de exploración científica y que tienen un alto potencial para abastecer la demanda energética en los siguientes años [2].

Palabras clave: *hidrodeseoxigenación, catalizador bifuncional, alloys metálicos, soporte ácido, transporte de masa*

2. Materiales y Métodos

Síntesis de catalizadores de PtGa/r- $Al_2O_3 - ZrO_2$.

La preparación de los catalizadores se llevó a cabo mediante síntesis sol-gel. Se diluyó tri-sec butóxido de aluminio (99% SIGMA Aldrich) en etanol (ETOH, 99,9% SIGMA Aldrich) a 70 °C durante 1 h, y luego se añadió gota a gota HNO_3 (1 M) a la solución precursora hasta producir una solución transparente.



Posteriormente, se bajó la temperatura de la solución a temperatura ambiente y se añadió gota a gota ácido acético (SIGMA Aldrich, Glaciar 99,9%). El sistema se enfrió a 0 °C, para formar un complejo de bohemita manteniendo esa temperatura.

Luego, se añadió lentamente solución de propóxido de Zirconio (70 % SIGMA Aldrich), manteniendo alta agitación durante 1 h. Separadamente precursores de Ga y Pt fueron preparados, el Galio en solución alcohólica y Platino en solución acuosa. Se añadió gota a gota el precursor de Galio, manteniendo en agitación durante 1 hora.

Finalmente, se añadió gota a gota el precursor de Platino, formando el gel que se mantuvo a temperatura ambiente durante 18 horas. El gel se secó en estufa con control de temperatura a 100 °C durante 18 horas, formándose cristales marrones. Estos cristales fueron molidos, hasta formar un polvo, clasificándolo en una malla de 20 micrometros.

El polvo se calcinó en un reactor continuo utilizando aire sintético a 400 °C durante 18 horas, con una rampa de calentamiento de 5 °C/min. La relación molar utilizada para la síntesis fue $Zr/Al = 1$ con un % de Pt constante del 1 % y variando el % de Ga, en 0,1 %, 0,3 % y 0,5 % respectivamente. La relación molar de reactivos fue $Zr+Al/(H^+, CCOH^-) = 2,05$, $EtOH/(Zr+Al) = 28$. Los catalizadores de óxidos fueron etiquetados como PtGa1, PtGa2 y PtGa3.

Test experimentales para evaluar el funcionamiento del Reactor instalado.

Se dispone de un reactor Batch de alta presión, el cual se encuentra ubicado en el laboratorio de Catálisis y Energía en la sede J3 de la Universidad ECCI. El desarrollo del test implica tres pruebas catalíticas: prueba de agitación, prueba de tamaño de partícula, y prueba de masa de catalizador. A continuación, se describe el procedimiento para cada caso:

Prueba de agitación. 50 mL de aceite de girasol se mezclan con 0,01 g de catalizador previamente activado en el reactor de 100 mL y se presuriza a 50 bar de hidrógeno. La reacción se lleva a cabo a 250 °C. El tamaño de partícula del catalizador será entre 100-200 μm . Se llevarán a cabo 5 corridas con esas condiciones de operación variando la agitación de 500 rpm a 1500 rpm.

Prueba de tamaño de partícula. 50 mL de aceite de palma se mezcla con 0,01 g de catalizador previamente activado en el reactor de 100 mL y se presuriza a 50 bar de hidrógeno. La reacción se lleva a cabo a 250 °C. La velocidad de agitación se escogerá de acuerdo con los resultados obtenidos en el test de agitación. Se llevarán a cabo 5 corridas con esas condiciones de operación variando el tamaño de partícula de 100 μm a 1000 μm .

3. Agradecimientos

Se destaca que el presente producto de investigación fue desarrollado en el marco del contrato N° 728 de 2020, convocatoria 852 de 2019 de MINCIENCIAS, el cual fue financiado con recursos provenientes del PATRIMONIO AUTÓNOMO FONDO NACIONAL DE FINANCIAMIENTO PARA LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.



Referencias

- [1] Stella Bezergianni and Athanasios Dimitriadis. Comparison between different types of renewable diesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21:110–116, 2013.
- [2] Gunnar Luderer, Silvia Madeddu, Leon Merfort, Falko Ueckerdt, Michaja Pehl, Robert Pietzcker, Marianna Rottoli, Felix Schreyer, Nico Bauer, Lavinia Baumstark, et al. Impact of declining renewable energy costs on electrification in low-emission scenarios. *Nature Energy*, 7(1):32–42, 2022.
- [3] M. Snåre, I. Kubičková, P. Mäki-Arvela, D. Chichova, K. Eränen, and D.Yu. Murzin. Catalytic deoxygenation of unsaturated renewable feedstocks for production of diesel fuel hydrocarbons. *Fuel*, 87(6):933–945, 2008.
- [4] Mathias Snåre, Iva Kubičková, Päivi Mäki-Arvela, Kari Eränen, and Dmitry Yu Murzin. Heterogeneous catalytic deoxygenation of stearic acid for production of biodiesel. *Industrial & engineering chemistry research*, 45(16):5708–5715, 2006.



Transición energética en el sector aeronáutico

Kevin Andrés Villalba Chuquen

UNIVERSIDAD ECCI

kevina.villalbac@ecci.edu.co

Bogotá, Colombia

1. Resumen

Con el fin de contribuir con la Transición energética, el sector aeronáutico ha buscado opciones viables que sustituyan los combustibles fósiles sin perjudicar el funcionamiento de sus aeronaves. Uno de los sectores que más consume combustible fósil es el sector aeronáutico, debido a los incrementos demográficos y a la misma dinámica global. Este medio de transporte es cada vez más usado lo cual genera gases contaminantes que contribuyen con el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El queroseno, como principal combustible usado en este sector, es uno de los mayores contribuyentes en el consumo del petróleo, debido a las grandes cantidades usadas en el viaje de las aeronaves, con base a este problema, se busca una alternativa más amigable con el medio ambiente, como es el caso del biocombustible. [1]

En este documento se explica la metodología experimental y los resultados obtenidos en las pruebas realizadas de un motor de tipo turborreactor J69-T-25A montado en banco de pruebas, usando Jet A1 y mezclas de aceite de palma y palmiste con y sin aditivos no comerciales, se verificará sus parámetros de operación como empuje, temperatura, presiones y consumo de combustible, además, se analizará los gases producidos con el uso de los biocombustible, verificando el impacto que pueda generar en las partes del motor, debido a que este fue creado pensado en el uso total del combustible derivado del petróleo. [1] [2] [3] [4]

Palabras clave: *biocombustibles, turborreactor, aditivos, rendimiento energético*

2. Materiales y Métodos

Se toma como punto de referencia estudios realizados en investigaciones sobre los biocombustibles, a partir de esto, se evidencia un mejor comportamiento en palma y palmiste, con base a esto, como sugerencia, se agregó un aditivo no comercial basado en un alcohol de alta densidad, se procedió a hacer la mezcla de un 5 % y 95 % de palma y jet A1, respectivamente, al igual que 5 % de palmiste y 95 % jet A1, cada una con el 0,05 % de aditivo, agitado mecánicamente para lograr una mezcla homogénea. Se conectó al motor un medidor de flujo para tener control del consumo a diferentes regímenes, como el 38 %, 70 %, 80 % y 100 % del turborreactor J69-T-25.

3. Resultados

Realizadas las pruebas, se puede evidenciar una variación en las emisiones contaminantes con respecto a las mezclas usadas, dando como resultado menores valores de contaminación el biocombustible de palmiste, seguido el de palma y por último el combustible derivado del petróleo. Según ecuaciones de balance de flujo másico, se obtiene una mayor eficiencia del motor usando las mezclas de biocombustible sin aditivos.



4. Agradecimientos

Se destaca que el presente producto de investigación fue desarrollado en el marco del contrato N° 728 de 2020, convocatoria 852 de 2019 de Minciencias, el cual fue financiado con recursos provenientes del PATRIMONIO AUTÓNOMO FONDO NACIONAL DE FINANCIAMIENTO PARA LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

Referencias

- [1] ECCI Universidad. Evaluación del comportamiento de mezclas de biocombustibles colombianos en turbinas aeronáuticas. *CONVOCATORIA DE PROYECTOS CONECTANDO CONOCIMIENTO 2019*, 1(72078):35,.
- [2] Ozgur Balli and Hakan Caliskan. Turbofan engine performances from aviation, thermodynamic and environmental perspectives. *Energy*, 232:121031, 2021.
- [3] L. Mónico, E. Rincón, and C.M. Manrique Vega. Combustibles alternativos en el transporte aéreo nacional. *Ciencia Y Poder Aéreo*, 15(2):68–76.
- [4] Yazan S.M. Altarazi, Abd Rahim Abu Talib, Ezanee Gires, Jianglong Yu, John Lucas, and Talal Yusaf. Performance and exhaust emissions rate of small-scale turbojet engine running on dual biodiesel blends using gasturb. *Energy*, 232:120971, 2021.



Protocolo y Metodología de Pruebas motor PT6

Renso Luis Arango Buritica
UNIVERSIDAD ECCI
rensol.arangob@ecc.edu.co
Bogotá, Colombia

1. Resumen

Debido al deterioro de la capa de ozono y el incremento de la temperatura anual del planeta como consecuencia del calentamiento global, se han desarrollado políticas amigables con el medio ambiente, de tal manera que se puedan establecer controles y a su vez disminuir las emisiones producto de los gases de combustión especialmente en el sector de la aviación el cual usa combustibles fósiles para el funcionamiento de las turbinas de gas.[1][2] Para cumplir con tal fin, las investigaciones tanto locales como a nivel mundial se han centrado en el desarrollo de combustibles alternativos de tal manera que puedan ser utilizados como reemplazo de los combustibles convencionales o mediante mezclas, dando como resultado una disminución significativa en los gases de efecto invernadero (GEI).[3]

Sin embargo, uno de los puntos importantes en la aplicación de estas mezclas en motores de aviación se relaciona en poder evaluar y conocer cuáles son las variaciones de la eficiencia térmica, el consumo de combustible de acuerdo con los diferentes regímenes de vuelo, temperaturas y presiones en los componentes que hacen parte de las turbinas a gas como de las emisiones producidas posterior al proceso de combustión del combustible Jet A-1 y las diferentes mezclas de biodiésel.

Debido a lo anterior y con el fin de conocer la viabilidad del uso de las mezclas de Jet A-1 con biodiésel, se realizan una serie de pruebas en un motor tipo turbohélice modelo PT6A-61 de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC). Los resultados de estas pruebas son utilizados para evaluar un modelo termodinámico compuesto por un análisis exergético y de emisiones con el fin de conocer las desviaciones en los parámetros mencionados en el párrafo anterior de acuerdo a los datos dados por el fabricante del motor.[4][5]

Palabras clave: *turbina a gas, Jet-A1, biodiésel, exergía, turbohélice, PT6A-61*

2. Materiales y Métodos

La metodología seguida para poder dar solución a esta actividad consistió en verificar la bibliografía existente, manuales y fichas técnicas del motor en estudio. La bibliografía fue filtrada de tal manera que se pudiera conseguir información relacionada con turbinas a gas utilizadas en aviación como el caso de turborreactores, turbofán y turbohélices. Adicionalmente, se discriminan los artículos que tienen análisis energéticos y exergéticos realizados a turbinas de gas.

Luego de esta tarea, se listan los parámetros fijos y medidos relevantes para los motores turbohélices, específicamente para el PT6A-61 como:
Los valores que pueden ser tomados en el banco de pruebas mediante instrumentación en el motor turbohélice son:

- Temperatura y presión del ambiente (T_1 , P_1).



- Velocidad del viento y humedad relativa.
- Temperatura a la salida del compresor (P3).
- Temperatura Inter turbina (Inter Turbine Temperature - T5).
- Flujo másico del combustible que ingresa a la cámara de combustión.
- Torque.
- Velocidad de giro de la etapa de compresión.
- Temperatura de los gases de combustión a la salida del motor.
- Velocidad de giro de la turbina a gas.

Una vez identificados estos parámetros se realiza la planeación de las pruebas a realizar al motor PT6A-61. Esta planeación incluye cual es el personal necesario para la toma de datos, descripción del sitio y banco donde se realizarán las pruebas, el protocolo para la realización de estas, ubicación en un esquema o plano la ubicación de los equipos e instrumentación (medidor de combustible, cámara termografía, analizador de gases, etc.) con el fin de que sea claro para los participantes de las pruebas los roles que tomarán cada uno.

Una actividad que se realizó de forma simultánea con la planeación de las pruebas es el diseño de experimentos. Este diseño incluye la cantidad de pruebas a realizar en el motor PT6A-61 teniendo en cuenta las mezclas y los porcentajes de biodiesel y aditivos a utilizar. Teniendo en cuenta esto se realiza el alistamiento y pedido de la cantidad de biodiesel y aditivos necesarios para las pruebas. En este caso los insumos a utilizar son: combustible Jet A-1, Biodiésel de palma, Biodiésel de palmiste y alcohol anhidro.

Dentro de la etapa de revisión bibliográfica, se identificaron artículos que sirvieron como base para el desarrollo del modelo termodinámico con el fin de poder realizar el análisis exergético y de emisiones del motor PT6A-61. Este análisis tiene como base los balances de energía, entropía y exergía realizado a cada uno de los componentes principales que hacen parte del motor turbohélice como: compresor, cámara de combustión, turbina del compresor y turbina de potencia.

Con los datos obtenidos en la realización de las pruebas se evaluará el comportamiento térmico del motor bajo las diferentes mezclas de Jet A-1 y biodiésel con el fin de poder analizar las variaciones en las eficiencias exergeticas tanto de los componentes como del motor en general, y de esta manera conocer qué porcentajes de mezclas son las adecuadas para el funcionamiento del motor sin que haya una variación significativa de su desempeño.

3. Resultados

Los resultados que se esperan obtener se describen a continuación:

- Se espera tener como resultado de acuerdo con el análisis y pruebas realizadas que exista una disminución del poder calorífico inferior de la mezcla de Jet A-1 con biodiesel. Se estima que ante el aumento del porcentaje de biodiésel en la mezcla esta variable seguirá disminuyendo.
- Se observa que los componentes tales como turbina de gas, compresor y la turbina de gas acoplado al eje mecánico del motor, poseen eficiencias exergéticas altas, por lo cual estos porcentajes nos muestra que la energía en su totalidad se está convirtiendo en trabajo útil, y por ende tanto las perdidas como la destrucción de exergía en estos componentes son relativamente bajas.



- Cabe resaltar que estos resultados de eficiencia exergetica en estos componentes mencionados están calculados bajo los supuestos de que son adiabáticos, es decir que bajo su operación no hay generación de calor y transferencia del mismo, lo cual es una suposición que no es totalmente cierta, debido a que la fricción entre las partes móviles de estos elementos, independientes del grado de lubricación que posean, generará una tasa de transferencia de calor al entorno, lo cual influye en parámetros de salida tales como temperatura, presión, entalpía y entropía, y por ende, conlleva una variación en la eficiencia exergetica del mismo.

- Adicional, como el modelo del fluido de trabajo en estos componentes se basa en un modelo de gas ideal, por lo que existe la posibilidad de que tanto el aire que pasa a través del compresor, como los productos de combustión que mueven las turbinas se encuentren bajo presiones y temperaturas diferentes lo que haría que la condición de dicho fluido se tenga que modelar a través de ecuaciones de estado para gases reales, en los cuales las expresiones termodinámicas a partir de las cuales se hallaron los balances de energía y las eficiencias exergeticas pueden diferir en gran medida.

- La cámara de combustión es uno de los componentes que presenta tanto pérdidas como destrucción de exergía alta, debido a que presenta el fenómeno de transferencia de calor en las paredes de la cámara ocasionando que tanto la energía como exergía química del combustible no sea transferida totalmente a la corriente de salida de este elemento.

4. Agradecimientos

Se destaca que el presente producto de investigación fue desarrollado en el marco del contrato N° 728 de 2020, convocatoria 852 de 2019 de MINCIENCIAS, el cual fue financiado con recursos provenientes del PATRIMONIO AUTÓNOMO FONDO NACIONAL DE FINANCIAMIENTO PARA LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

Referencias

- [1] Mauro Masiol and Roy M. Harrison. Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution: A review. *Atmospheric Environment*, 95:409–455, 2014.
- [2] Marc.A Rosen and Ibrahim Dincer. Exergoeconomic analysis of power plants operating on various fuels. *Applied Thermal Engineering*, 23(6):643–658, 2003.
- [3] Niven Winchester, Robert Malina, Mark D. Staples, and Steven R.H. Barrett. The impact of advanced biofuels on aviation emissions and operations in the u.s. *Energy Economics*, 49:482–491, 2015.
- [4] Hakan Aydın, Onder Turan, Adnan Midilli, and T. Hikmet Karakoc. Energetic and exergetic performance assessment of a turboprop engine at various loads. *International Journal of Exergy*, 13(4):543–564, 2013.
- [5] Ozgur Balli and Arif Hepbasli. Energetic and exergetic analyses of t56 turboprop engine. *Energy Conversion and Management*, 73:106–120, 2013.



Biocombustibles - Un contexto Nacional e Internacional

Manuel Alejandro Mayorga Betancourt
UNIVERSIDAD ECCI
mmayorgab@ecci.edu.co
Bogotá, Colombia

1. Resumen

Los biocombustibles se han venido introduciendo en el mercado global desde hace más de 20 años como una de las estrategias para la reducción de los gases de efecto invernadero mediante la sustitución parcial de los combustibles fósiles. De esta forma, en Colombia se produce bioetanol desde 2005 y biodiésel desde 2008, de acuerdo con las leyes promulgadas (693/2001 y 934/2004 también para cada caso respectivo) [1](González et al., 2008); sin embargo, solo se ha considerado el sistema de transporte terrestre, y no se ha tenido en cuenta el aeronáutico y marítimo para la implementación de estas medidas, cuando por ejemplo la aviación consume el 10 % de los combustibles fósiles [2](Diederichs et al., 2016). Los biocombustibles que se generan en el país han dejado de estar acordes con las necesidades, exigencias y tendencias globales, en cuanto a la sostenibilidad y mayor impacto respecto a la lucha contra el cambio climático [3](Gutiérrez-Antonio et al., 2021). De esta forma se hace un paralelo entre el desarrollo histórico mundial y el nacional en cuanto a las políticas, tecnologías y mercado de biocombustibles.

Se encuentra que a pesar de lograr desde hace ya varios años la introducción de 10 % de biocombustibles en el mercado nacional tanto de ACPM como de gasolina, nos encontramos estancados y rezagados frente a la necesidad urgente de abordar la producción y comercialización de combustibles avanzados no solo para el sector automotriz sino también para el aeronáutico [4](DNP, 2022). Para que un combustible sea catalogado como avanzado no solo debe ser renovable, sino que debe garantizar una completa sostenibilidad por lo que a nivel internacional se ha venido dando alcance y espacio para la participación de estas tendencias [5](Di Gruttola & Borello, 2021). En el contexto local, Colombia al proponerse ser un país líder en el alcance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, se presenta una oportunidad inmejorable de apalancar e impulsar medidas que permitan que los biocombustibles sean opciones más sostenibles para la transición energética en el corto plazo [6](Mayorga et al., 2019).

Palabras clave: *biomasa, combustibles, materia prima, generación, tecnología, comercio, producción industrial, desarrollo científico, consumo energético*

2. Materiales y Métodos

El objetivo de establecer una metodología comparativa es para realizar un diagnóstico lo más objetivo posible de la situación actual y prospectiva de los biocombustibles colombianos respecto a las tendencias y discusiones mundiales, para lo cual se realizó una etapa inicial de revisión en los siguientes aspectos:

- Se hace primero un desarrollo histórico de la implementación de la bioenergía en las actividades humanas respecto a la energía fósil [7](Cleveland & Morris, 2014a), [8](Cleveland & Morris, 2014b).



- Se consultan las principales lineamientos y políticas tanto a nivel mundial [9](ONU, 2021), [10](IEA, 2022), [11](WMO, 2022), [12](The European Parliament and the Council of the European Union, 2021), [13](USDA, 2022b), [14](IEA, 2021a); como a nivel nacional [4](DNP, 2022), [15](USDA, 2020), [16](UPME, 2019), [17](República de Colombia / Departamento Nacional de Planeación, (DNP, 2017).

- Se visualiza el panorama de producción, consumo y plantas de producción a nivel mundial; [14](IEA, 2021a), [13](USDA, 2022b), [18](USDA, 2022a), [19](EIA, 2022), como a nivel nacional [15](USDA, 2020), [16](UPME, 2019).

- Vigilancia tecnológica respecto a las tendencias mundiales y prospectiva en los procesos de I+D+I así como en las proyecciones de producción, así como a nivel nacional dilucidar las proyectos en el tema así como las partes interesadas. Para ellos se revisan las bases de datos de Scopus, WoS y las de patentes a nivel nacional y de Estados Unidos.

Una vez se consolida la información en la anterior etapa, se hizo un análisis comparativo entre los elementos anteriormente señalados entre los niveles nacional y mundial, observando coincidencias y divergencias. Finalmente, se realizó una síntesis que permitió diagnosticar la actual situación nacional respecto a los biocombustibles, teniendo como racero es estado regional y mundial, de tal forma que se puedan esbozar escenarios futuros dentro del marco de la agenda 2030 y el 2050 como punto de completa neutralidad [9](ONU, 2022), [20](IRP-ONU, 2018).

3. Resultados

A partir del análisis comparativo realizado se encontró que a pesar de tener desde hace más de 8 años en el mercado mezclas ya del 10 % de biodiésel en el ACPM, y de 10 % de etanol en la gasolina, el país se encuentra en una situación de estancamiento y relegamiento en cuanto a los biocombustibles, ya que en términos de generación, estos son biocarburantes que aunque aportan a la reducción de los gases de efecto invernadero, tiene un balance negativo respecto a su sostenibilidad, ya al día de hoy la producción sigue siendo subvencionada por el Estado (de lo contrario no sería rentable), pues las materias primas empleadas compiten con los alimentos y pueden llegar a representar hasta un 70 % del costo del proceso; sin mencionar que estos biocombustibles solo sustituyen parcialmente, ya que si aunque la producción no da para más, pero si se pudiera hacer, debido a sus desviaciones en sus propiedades respecto a los combustibles fósiles no se acoplan de igual forma a las tecnologías del parque automotor que han sido diseñadas para los hidrocarburos. En el país apenas se plantea en el CONPES 4075 en la “Política de Transición Energética”, la proyección de combustibles avanzados y más sostenibles, no solo para el sector automotriz sino también para el aeronáutico a partir de los combustibles sostenibles de aviación conocidos como SAF del Sustainable Aviation Fuels [4](DNP, 2022).

4. Agradecimientos

Se destaca que el presente producto de investigación fue desarrollado en el marco del contrato N° 728 de 2020, convocatoria 852 de 2019 de MINCIENCIAS, el cual fue financiado con recursos provenientes del PATRIMONIO AUTÓNOMO FONDO NACIONAL DE FINANCIAMIENTO PARA LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.



Referencias

- [1] Andrés Fernando González, Isabel Cristina Jiménez, Manuel Rodríguez Susa, Silvia Restrepo, and Jorge Mario Gómez. Biocombustibles de segunda generación y biodiesel: Una mirada a la contribución de la universidad de los andes. *Revista de Ingeniería*, (28):70–82, 2008.
- [2] Techno-economic comparison of biojet fuel production from lignocellulose, vegetable oil and sugar cane juice. *Bioresource Technology*, 216:331–339, 2016.
- [3] Claudia Gutiérrez-Antonio, Araceli Guadalupe Romero-Izquierdo, Fernando Israel Gómez-Castro, and Salvador Hernández. 8 - the future trends in the production of biojet fuel. In *Production Processes of Renewable Aviation Fuel*, pages 241–254. Elsevier, 2021.
- [4] D.N.P. Política de transición energética - conpes 4075.
- [5] Francesca Di Gruttola and Domenico Borello. Analysis of the eu secondary biomass availability and conversion processes to produce advanced biofuels: Use of existing databases for assessing a metric evaluation for the 2025 perspective. *Sustainability*, 13(14), 2021.
- [6] Manuel Alejandro Mayorga, Juan Guillermo Cadavid Estrada, Javier Alejandro Bonilla Paez, Camilo Andres Lopez Santamaria, Jose Miguel Galindo Castillo, Vladimir Silva Leal, and Mauricio Lopez Gomez. Use of biofuels in the aeronautical industry. case of the colombian air force. *TECCIENCIA*, 14(26), Jul. 2019.
- [7] Cutler J. Cleveland and Christopher Morris. Section 2 - biomass. In Cutler J. Cleveland and Christopher Morris, editors, *Handbook of Energy*, pages 15–28. Elsevier, Boston, 2014.
- [8] Cutler J. Cleveland and Christopher Morris. Section 6 - oil. In Cutler J. Cleveland and Christopher Morris, editors, *Handbook of Energy*, pages 85–131. Elsevier, Boston, 2014.
- [9] O.N.U. La cop26 termina con un acuerdo, pero se queda corta en acción climática. UNEP.
- [10] I.E.A. Energy statistics data browser.
- [11] W.M.O. State of the global climate 2021. Issue WMO-No. 1290).
- [12] The European European Parliament and Union. European climate law. *Official Journal of the European Union*. Vol. 2021, Issue June).
- [13] U.S.D.A. Biofuels annual european union, 2022.
- [14] I.E.A. Renewables 2021 data explorer.
- [15] U.S.D.A. Biofuels annual - colombia, 2020. In CO2022-0012 (Issue August 01).
- [16] U.P.M.E. Plan energetico nacional 2020-2050. In *Handbook of Pediatric Retinal OCT and the Eye-Brain Connection. PEN 2050*.
- [17] República de Colombia / Departamento Nacional de Planeación (DNP). Energy demand situation in colombia.
- [18] U.S.D.A. Biofuels annual - brazil.
- [19] E.I.A. U.s. renewable diesel fuel and other biofuels plant production capacity.
- [20] I.R.P.-O.N.U. Eficiencia de los recursos para el desarrollo sostenible: Mensajes clave para el grupo de los 20.



Generalidades de Pruebas Motor J69 - Fases 1 y 2

Jose Miguel Galindo
UNIVERSIDAD ECCI
josem.galindoc@ecc.edu.co
Bogotá, Colombia

1. Resumen

El transporte aeronáutico depende en gran medida de los combustibles fósiles y contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero. Durante los últimos años ha tenido un enorme crecimiento que a su vez incrementa el consumo de queroseno de origen fósil (principal combustible de aviación) [1][2], lo cual genera la necesidad de ser sustituido por biocombustibles de forma parcial o completa. El biodiesel ha sido ampliamente considerado como un combustible alternativo para aviones y motores de turbina de generación de energía [3][4]. Desafortunadamente, la experimentación en la literatura se limita principalmente a turbinas de pequeña escala y quedan desafíos abiertos con respecto a la seguridad de la operación [5].

Palabras clave: *aerospace engineering, renewable energy sources, aircraft, biomass energy*

2. Materiales y Métodos

En el presente trabajo se expone la metodología experimental y los resultados obtenidos de las pruebas de un motor turborreactor J69-T-25A a gran escala, utilizando diferentes mezclas de Jet A1, biodiesel de palma aceitera, palmiste y alcohol anhidro con contenidos de volumen del 0% y 5%, además de evaluar sus parámetros de operación (temperaturas, vibraciones, empuje) se analizan los gases de escape generados tras la combustión, eficiencia e impacto mecánico de sus componentes.

3. Resultados

La evaluación experimental del rendimiento del motor J69 utilizando mezclas de combustible de Jet A1, biodiesel de palma aceitera, palmiste y alcohol anhidro de hasta 5% v / v expone una influencia primordial del tipo de combustible cuando se opera en condiciones de ralentí, pero no se observan diferencias significativas en Crucero y Take-off. Se registra una reducción del CO y HC producido en todas las condiciones de operación al aumentar el contenido de biocombustibles.

Se recomienda un examen más detallado del desgaste mecánico de los componentes principales del motor en otros estudios relacionados utilizando mezclas de combustible por tiempos más prolongados, esto debido a que el impacto mecánico no resulta ser relevante debido al poco tiempo de operación. Adicional a esto se requiere un uso de aditivo con el fin de cumplir con la normatividad aeronáutica para combustibles [5][6].



4. Agradecimientos

Se destaca que el presente producto de investigación fue desarrollado en el marco del contrato N° 728 de 2020, convocatoria 852 de 2019 de MINCIENCIAS, el cual fue financiado con recursos provenientes del PATRIMONIO AUTÓNOMO FONDO NACIONAL DE FINANCIAMIENTO PARA LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

Referencias

- [1] Marina Kousoulidou and Laura Lonza. Biofuels in aviation: Fuel demand and co2 emissions evolution in europe toward 2030. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 46:166–181, 2016.
- [2] O.A.C.I. Oaci la aviacion unida organismo especializado de las naciones unidas.
- [3] Philip Krammer, Lynnette Dray, and Marcus O. Köhler. Climate-neutrality versus carbon-neutrality for aviation biofuel policy. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 23:64–72, 2013.
- [4] E.I.A. U.s. energy information administration.
- [5] C.A.A.F.I. Astm d4054 users guide. [Último acceso: 2022 1 10].
- [6] Gabriel Talero, Camilo Bayona-Roa, Giovanny Muñoz, Miguel Galindo, Vladimir Silva, Juan Pava, and Mauricio Lopez. Experimental methodology and facility for the j69-engine performance and emissions evaluation using jet a1 and biodiesel blends. *Energies*, 12(23), 2019.



Seguridad operacional de los motores J69 y PT6

Edwin Helbert Ariza Bonilla
Juan David Pava
Erika Juliana Estrada
Aerocivil-EPFAC
edwin.ariza@aerocivil.gov.co
juandpava@hotmail.com
erika.estrada@epfac.edu.co
Bogotá, Colombia

1. Resumen

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y la Organización de las Naciones Unidas (ONU), iniciaron estrategias dirigidas hacia el Cambio Climático y su impacto en el sector aeronáutico mundial, en concordancia se plantea el siguiente proyecto de grado, que tiene como objetivo identificar los riesgos y evaluar los peligros durante el uso de mezclas con biocombustibles en motores turbo reactores y turbohélices, mediante un programa de gestión de seguridad operacional como metodología predictiva, que promueva la cultura de seguridad operacional durante las pruebas con mezclas a partir de biocombustibles [1]. Para alcanzar lo anterior, se diseñó un instrumento para la recolección de los datos in situ, relacionados con los eventos de seguridad operacional, durante la operación de los motores J69 y PT6, con las mezclas de biocombustibles para posterior análisis y la estructuración de un modelo de gestión de seguridad operacional en el sector aeronáutico [2].

Los hallazgos sugieren que el entorno, debe garantizar la eficacia de los controles de riesgo y la conciencia de los peligros emergentes, usando la información de manera efectiva que permita el ajuste y las modificaciones necesarias para reducir el riesgo.

Palabras clave: *Seguridad Operacional, riesgo operacionales; biocombustibles, aeronáutico, Motor J69*

2. Materiales y Métodos

Los materiales utilizados son:

- Banco de pruebas AM37T-20.
- Diario de campo. - Pruebas operacionales motor J69.
- Bitácora de registro - Observaciones relacionadas con la seguridad operacional en motor J69.
- Reporte de ensayos de investigación y desarrollo [3].



Paso 1. Alistamiento: inicialmente se realizó un alistamiento por parte del equipo técnico al banco de pruebas AMT37-20, ubicado en las instalaciones de CAMAN, previamente el equipo i para la toma de mezcla que por lo general está diseñado por un aprueba inicial y dos confirmatorias; acto seguido, se dispone a preparar la mezcla de biocombustibles, tomado del carro tanque el combustible JET A1, el cual se mezcló en condiciones dadas por el equipo de ingeniería, inicia la corrida de pruebas.

Paso 2. Corrida de motor: se inicia con la toma de notas en el diario de campo (previamente diseñado y validado) dado que ya se encuentra parametrizado, es de tener en cuenta, que el tiempo de operación del motor es de 2 a 15 minutos. Teniendo en cuenta las características que se evalúan del motor a distintas temperaturas.

Paso 3. Obtención de datos: se inicia con la toma de nota en la bitácora de datos de los parámetros operacionales del motor, durante el funcionamiento de este con la mezcla de biocombustible. La bitácora se diligencia durante el tiempo que dura la prueba.

Paso 4. Cierre: se realiza una observación como panorama de lo que ocurre tras el apagado del motor.

Los pasos dos, tres y cuatro se presentan a manera de réplica por 6 veces, por los cuales se identifica el comportamiento del motor a distintas temperaturas.

De los instrumentos, diario de campo y bitácora, diligenciados durante la operación del motor J69, se obtuvo la siguiente información [4]:

1. Diario de Campo.

De los diarios de campo recolectados, que en total fueron tres, se puede determinar de manera general lo siguiente: se observada el procedimiento operacional técnico, y se evidencia que no existe un proceso de seguridad operacional dentro del banco que permita mitigar los riesgos en caso de una emergencia durante la ejecución de las pruebas con el motor encendido

2. Bitácora de registro.

Durante las dos sesiones presenciadas en las cuales, se efectuaron las pruebas con biocombustibles se obtuvieron los datos a partir del siguiente instrumento, el cual tiene dos pruebas adicionales confirmatorias sin variaciones significativas, así:

2.1. Bitácora de registro No. 1. Jet A1 SIN MEZCLA: se efectuó pruebas operacionales donde se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla número 1, de fecha 10 de septiembre de 2021, por la cual, se midieron los parámetros relacionados con RPM, Temperatura, Presión y Vibración, los cuales se relacionan en la citada tabla.

Tabla No. 1. Resultados bitacora de registro No. 1 Jet A1 sin mezcla en motor J69				
II. PARAMETROS MOTOR.	36% - 40%	67% - 70%	80%	100% MÁXIMAS
R.P.M TOTALES	8478 RPM	17004 RPM	17646 RPM	21432 RPM
E.G.T.	1109.1 °F	948.0 °F	962.0 °F	1201.2 °F
III. VIBRACIÓN	46%	58%	76%	88%
MÁXIMO PERMITIDO	3.5 Mils	3.5 Mils	1.5 Mils	1.5 Mils
VIBRACIÓN COMPRESOR	0.1 Mils	0.3 Mils	0.3 Mils	0.5 Mils
VIBRACIÓN TURBINA	0.5 Mils	0.5 Mils	0.3 Mils	0.6 Mils



2.2. Bitácora de registro No. 2. 95 % con Jet A1 y ALCOHOL al 5%: se efectuó pruebas operacionales donde se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla número 2, de fecha 10 de septiembre de 2021, por la cual, se midieron los parámetros relacionados con RPM, Temperatura, Presión y Vibración, los cuales se relacionan en la citada tabla.

II. PARAMETROS MOTOR.	36% - 40%	67% - 70%	80%	100% MÁXIMAS
R.P.M TOTALES	8303 RPM	15085 RPM	16964 RPM	21820 RPM
E.G.T.	1121.6 °F	931.3 °F	943.2 °F	1280.1 °F
III. VIBRACIÓN	46%	58%	76%	88%
MÁXIMO PERMITIDO	3.5 Mils	3.5 Mils	1.5 Mils	1.5 Mils
VIBRACIÓN COMPRESOR	0.3 Mils	0.2 Mils	0.2 Mils	0.5 Mils
VIBRACIÓN TURBINA	0.3 Mils	0.4 Mils	0.4 Mils	0.4 Mils

2.3. Bitácora de registro No. 3. 95 % Jet A1 con PALMISTE al 5%: se efectuó pruebas operacionales donde se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla número 3, de fecha 11 de septiembre de 2021, por la cual, se midieron los parámetros relacionados con RPM, Temperatura, Presión y Vibración, los cuales se relacionan en la citada tabla.

II. PARAMETROS MOTOR.	36% - 40%	67% - 70%	80%	100% MÁXIMAS
R.P.M TOTALES	8261 RPM	15136 RPM	17218 RPM	21839 RPM
E.G.T.	1133.8 °F	936.1 °F	962.2 °F	100.50%
III. VIBRACIÓN	46%	58%	76%	88%
MÁXIMO PERMITIDO	3.5 Mils	3.5 Mils	1.5 Mils	1.5 Mils
VIBRACIÓN COMPRESOR	0.2 Mils	0.3 Mils	0.2 Mils	0.2 Mils
VIBRACIÓN TURBINA	0.3 Mils	0.5 Mils	0.4 Mils	0.5 Mils

3. Agradecimientos

Se destaca que el presente producto de investigación fue desarrollado en el marco del contrato N° 728 de 2020, convocatoria 852 de 2019 de MINCIENCIAS, el cual fue financiado con recursos provenientes del PATRIMONIO AUTÓNOMO FONDO NACIONAL DE FINANCIAMIENTO PARA LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.



Referencias

- [1] O.A.C.I. Plan global oaci para la seguridad operacional de la aviación.
- [2] Aeronáutica Civil Colombia. Reglamentos aeronáuticos de colombia.
- [3] Principios básicos de funcionamiento del motor de reacción.
- [4] R. Hernandez-Sampieri and C. Mendoza Torres. *Metodología de la Investigación - Las rutas cuantitativas, cualitativas y mixtas*. McGRAW-HILL Interamericana editores, Ciudad de México.