



**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y PREVENCIÓN**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, PREVENCIÓN Y**  
**AEROPORTUARIA**

**TESIS:**

**INTEGRACIÓN DE COMBUSTIBLES EN MOTORES AERONÁUTICOS Y**  
**TRANSICIÓN HACIA ENERGÍAS SUSTENTABLES PARA REDUCIR**  
**EMISIONES GLOBALES.**

**POR**  
**DOMINIC CASTRO**  
**8-900-850**

**PROFESOR ASESOR**  
**INGENIERO JOSÉ CEDEÑO**

**PANAMÁ, 2025**

## DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso...Por darme salud, sabiduría y perseverancia para poder cumplir con esta meta universitaria.

*Isaías 60:22 - “A su debido tiempo, yo, el SEÑOR, haré que esto suceda”*

A mi Madre Whanda De Freitas Aguilar...Por estar a mi lado, en cada momento, por sus consejos, sus valores firmes, por la motivación constante que me ha permitido ser mejor persona, pero más que nada por su amor incondicional.

A mi hermana Whanda Castro y hermano Justo Castro. Ustedes, que han sido mi luz en cada uno de mis pasos y mi motivación para conseguir mis sueños. Siempre daré lo mejor y cuidaré de ustedes en cada momento de mi vida. Los quiero mucho.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios Todopoderoso, porque no existe un lugar más grande que estar a sus pies y por darme la fortaleza necesaria, la oportunidad de finalizar mi proceso de formación académica y continuar con mi futuro profesional.

A mi amiga, pareja, prometida y futura esposa; Rosa Ali Morales, por estar siempre a mi lado, por su paciencia, consejos y apoyo incondicional. Tú que siempre creíste en mí y me permitiste seguir adelante con mi carrera profesional.

Gracias a mi profesor asesor, el Ingeniero José Cedeño. Por su paciencia, dedicación y el tiempo invertido para hacer posible la realización de esta tesis.

## RESUMEN

En las últimas décadas, las industrias y la demanda de transporte aéreo han aumentado el uso de combustibles fósiles, lo cual se traduce en emisión de alrededor de 41.000.000.000 (cuarenta y un mil millones) de toneladas anuales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a nivel mundial. Y, consecuentemente, también ha aumentado la producción de otros gases atmosféricos de efecto invernadero (GEI) como metano, óxido nitroso y gases fluorados. El aumento de gases de efecto invernadero, como ha sido ampliamente documentado, está directamente relacionado con el cambio climático y el calentamiento global. En este panorama, la investigación, desarrollo y uso generalizado de biocombustibles es una necesidad imperiosa, ya que, en el futuro cercano, el uso de combustibles fósiles no es viable ni sostenible. La producción de combustibles es un problema con implicaciones ambientales y económicas en la industria de aviación (aproximadamente, 28% de costo operacional de una aerolínea corresponde al gasto en combustibles). Para ello, la investigación tuvo en cuenta que los recursos empleados fueran renovables y tuvieran bajo impacto ambiental y, además, que el precio fuera viable. El objetivo de estudio de esta tesis es brindar una visión sobre los combustibles convencionales. Cómo hacer el cambio de combustibles fósiles a producir biocombustibles, y con ello reducir la huella de carbono. Los biocombustibles son elaborados a partir de fuentes de origen vegetal, como ya se ha mencionado, son insumos importantes en la elaboración de biocombustibles, porque ocupan los terrenos destinados para la seguridad alimentaria. Y, adicionalmente, los niveles de emisión de carbono son menores en combustibles sostenibles en comparación con los combustibles fósiles, lo cual tiene un impacto socioeconómico positivo porque reduce el impacto en los ecosistemas naturales. Brindará una visión ampliada sobre la eficiencia que han tenido los combustibles sobre los motores en la aviación, como los fabricantes han hecho que este líquido tanpreciado juegue varios papeles en su utilización, las ventajas de poder usar grandes y pequeños motores con poca energía, estos siendo desarrollados para tener una mayor capacidad de vuelo, recorrer grandes distancias y permitir a la aviación brindar un transporte seguro y siempre garantizando la seguridad de los elementos involucrados. Incluyendo las energías sustentables, y el papel que juegan nuestras aerolíneas panameñas. Así como las pautas que han puesto los organismos internacionales y las regulaciones nacionales.

## **ABSTRACT**

In recent decades, industries and air transport demand have increased the use of fossil fuels, which translates into emissions of around 41,000,000,000 (forty-one billion) tons of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) annually worldwide. And, consequently, the production of other atmospheric greenhouse gases (GHG) such as methane, nitrous oxide and fluorinated gases has also increased. The increase in greenhouse gases, as has been widely documented, is directly related to climate change and global warming. In this scenario, the research, development and widespread use of biofuels is an urgent need, since soon, the use of fossil fuels is neither viable nor sustainable. Fuel production is a problem with environmental and economic implications in the aviation industry (approximately, 28% of an airline's operational cost corresponds to spending on fuel). To do this, the research took into account that the resources used were renewable and had a low environmental impact and, furthermore, that the price was viable. The objective of this thesis to study is to provide a vision on conventional fuels, how to make the change from fossil fuels to producing biofuels and thereby reduce the carbon footprint. Biofuels are made from sources of plant origin, as has already been mentioned, they are important inputs in the production of biofuels, because they occupy the land intended for food security. And, additionally, carbon emission levels are lower in sustainable fuels compared to fossil fuels, which has a positive socioeconomic impact because it reduces the impact on natural ecosystems. It will provide an expanded vision of the efficiency that fuels have had on engines in aviation, how manufacturers have made this precious liquid play various roles in its use, the advantages of being able to use large and small engines with little energy, these being developed to have greater flight capacity, travel long distances and allow aviation to provide safe transportation and always guaranteeing the safety of the elements involved. Including sustainable energies, and the role played by our Panamanian airlines. As well as the guidelines that international organizations and national regulations have set.

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                                                      |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>DEDICATORIA.....</b>                                                                              | <b>i</b>    |
| <b>AGRADECIMIENTO.....</b>                                                                           | <b>ii</b>   |
| <b>RESUMEN.....</b>                                                                                  | <b>iii</b>  |
| <b>ABSTRAC.....</b>                                                                                  | <b>iv</b>   |
| <b>ÍNDICE GENERAL.....</b>                                                                           | <b>v</b>    |
| <b>ÍNDICE DE IMÁGENES.....</b>                                                                       | <b>viii</b> |
| <b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>                                                                        | <b>x</b>    |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                                                                             | <b>1</b>    |
| <b>CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES.....</b>                                                           | <b>2</b>    |
| 1.1. Antecedentes.....                                                                               | 3           |
| 1.2. Planteamiento del problema.....                                                                 | 3           |
| 1.3. Objetivos.....                                                                                  | 4           |
| 1.3.1. Objetivo general.....                                                                         | 4           |
| 1.3.2. Objetivos específicos.....                                                                    | 4           |
| 1.4. Justificación.....                                                                              | 4           |
| 1.5. Preguntas de investigación.....                                                                 | 5           |
| 1.6. Alcance del trabajo.....                                                                        | 5           |
| 1.7. Limitaciones.....                                                                               | 5           |
| <b>CAPÍTULO II. ESPECIFICACIONES ESTANDARIZADAS.....</b>                                             | <b>7</b>    |
| 2.1. Especificaciones internacionales estandarizadas para combustibles de<br>motores a reacción..... | 8           |
| 2.2. Cumplimiento de Estándares.....                                                                 | 9           |
| 2.3. Combustibles de Aviación Comercial Jet A Jet A-1 Jet-B.....                                     | 9           |
| 2.4. Composición del Jet A-1 Jet A Jet B.....                                                        | 10          |
| 2.5. Fabricación del Queroseno.....                                                                  | 12          |
| 2.6. Fracciones Primarias hidro tratadas (eliminación del azufre).....                               | 12          |
| 2.7. Fracciones de Conversión (FCC, Visbreaking, entre otros).....                                   | 14          |
| <b>CAPÍTULO III. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>                                             | <b>15</b>   |
| 3.1. Desarrollo de la investigación.....                                                             | 16          |

|                                                                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2. Características de Combustión.....                                                                                                                     | 16        |
| 3.3. Punto de Congelación.....                                                                                                                              | 17        |
| 3.4. Contenido energético.....                                                                                                                              | 18        |
| 3.5. Características de combustión.....                                                                                                                     | 18        |
| 3.6. Propiedades de Seguridad.....                                                                                                                          | 18        |
| 3.7. Performance del JET B.....                                                                                                                             | 20        |
| 3.8. Solución a ciertos aspectos componentes de fabricación del combustible.....                                                                            | 23        |
| 3.9. Integración de los motores de última generación al uso de combustibles<br>fósiles y bio-combustibles.....                                              | 25        |
| 3.10. Eficiencia de Combustible de por Vida.....                                                                                                            | 31        |
| 3.10.1. Tecnología.....                                                                                                                                     | 33        |
| 3.10.2. Primeros Trent.....                                                                                                                                 | 36        |
| 3.10.3. Variantes.....                                                                                                                                      | 37        |
| 3.11. Soluciones para mejorar los motores de última generación en cuanto a<br>combustible, ruido y eficiencia.....                                          | 40        |
| 3.11.1. Motores de pistón, turbohélices y motores de aviación recíproca....                                                                                 | 41        |
| 3.11.2. Tipos de motores recíprocos y cómo se conforman.....                                                                                                | 43        |
| 3.12. Aplicación o funcionamiento de los motores recíprocos.....                                                                                            | 44        |
| <b>CAPÍTULO IV. FUNDAMENTOS DEL SAF COMBUSTIBLE ALTERNO PARA<br/>AVIACIÓN CON MOTORES A REACCIÓN.....</b>                                                   | <b>48</b> |
| 4.1. SAF (Sustainable Aviation Fuel).....                                                                                                                   | 49        |
| 4.1.1. Importancia del SAF.....                                                                                                                             | 49        |
| 4.1.2. Funcionamiento del SAF.....                                                                                                                          | 50        |
| 4.1.3. Descarburar vuelo a vuelo.....                                                                                                                       | 51        |
| 4.1.4. Minimizar las emisiones, maximiza las oportunidades.....                                                                                             | 51        |
| 4.1.5. Las rutas a SAF.....                                                                                                                                 | 52        |
| 4.1.6. Conocimiento Especial: SAF TALKS TM.....                                                                                                             | 52        |
| 4.2. Tipos de SAF Implementados en la industria aeronáutica, actualmente,<br><i>Tecnología Mtjet™</i> . Flexible de metanol a combustible para aviones..... | 53        |
| 4.2.1. El Camino del Proceso MTJet™.....                                                                                                                    | 53        |
| 4.2.2. MTJet™ - Operación Dinámica. Producción Estable.....                                                                                                 | 54        |

|                                                                                                                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.3. Beneficios de un solo Punto.....                                                                                                                      | 55        |
| 4.3. Solución G2L TM eFuels le permite producir Combustibles Sintéticos y Productos Químicos Sostenibles a partir de Hidrógeno Verde y CO <sub>2</sub> ..... | 55        |
| 4.4. Tecnología de Combustibles TOPSOE™ eREACT TM: CO <sub>2</sub> e Hidrógeno a Gas de Síntesis.....                                                        | 56        |
| 4.5. Combustibles alternativos emergentes y a nivel comercial, una solución a la descarbonización.....                                                       | 56        |
| 4.6. Estrategias SAF que las aerolíneas están tomando para unirse a la descarbonización y las emisiones para depurar el calentamiento global.....            | 57        |
| 4.7. Logros medioambientales de las empresas productoras de aeronaves.....                                                                                   | 58        |
| 4.8. Sostenibilidad Ambiental en Copa Airlines.....                                                                                                          | 60        |
| 4.9. Emisiones de carbono de la industria de las aerolíneas y su impacto en el cambio climático.....                                                         | 63        |
| 4.9.1. Energía más Sostenible.....                                                                                                                           | 70        |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>                                                                                                                                     | <b>86</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                                                                                                       | <b>88</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                                                                                                                                           | <b>91</b> |



## ÍNDICE DE IMÁGENES

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Imagen N°1:</b> Avión moderno Airbus a319. 2024.....                                                                                     | 10 |
| <b>Imagen N°2:</b> Transporte Larrinaga de JET-A, Aeropuerto Marcos A Gelabert 2024.....                                                    | 11 |
| <b>Imagen N°3:</b> Transporte Larrinaga de JET-A, Aeropuerto Marcos A Gelabert – 2024.....                                                  | 11 |
| <b>Imagen N°4:</b> Destilación del petróleo crudo. Fracciones primarias de la destilación del crudo (Straight-run) – 2024.....              | 12 |
| <b>Imagen N°5:</b> Descomposición química del petróleo del azufre. Fracciones primarias hidro tratadas (eliminación del azufre) – 2024..... | 13 |
| <b>Imagen N°6:</b> Catálisis del crudo. Fracciones de conversión (FCC, Visbreaking, etc.) – 2024.....                                       | 14 |
| <b>Imagen N°7:</b> Producción de AGV parafinas y etanol a partir de desechos de alimentos.....                                              | 25 |
| <b>Imagen N°8:</b> Energías verdes y renovables medio ambientales.....                                                                      | 25 |
| <b>Imagen N°9:</b> Motores Trent 7000. Motores de última generación.....                                                                    | 26 |
| <b>Imagen N°10:</b> General Electric GE90. Para uso del Boeing 777 – 2024.....                                                              | 28 |
| <b>Imagen N°11:</b> Motor GE90-115B. Aviones Boeing 777-200LR, 777-300ER y 777 - 2024.....                                                  | 29 |
| <b>Imagen N°12:</b> MOTOR ROLLS ROYCE TRENT XWB – 2023.....                                                                                 | 30 |
| <b>Imagen N°13:</b> Diseñado y optimizado para el Boeing 787 Dreamliner.....                                                                | 32 |
| <b>Imagen N°14:</b> Motores PRATT & WHITNEY PW4000. 2024.....                                                                               | 35 |
| <b>Imagen N°15:</b> Motor Primeros Trent – 2024.....                                                                                        | 36 |
| <b>Imagen N°16:</b> Motores Variantes del Trent XWB – 2024.....                                                                             | 39 |
| <b>Imagen N°17:</b> Turboventilador de inyección de agua sostenible que Comprende Electricidad Híbrida (SWITCH) 2024.....                   | 41 |
| <b>Imagen N°18:</b> Elaboración propia aeronave Sesna. Aeropuerto Marcos A Gelabert - 2024.....                                             | 42 |

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Imagen N°19:</b> Elaboración propia aeronave Sesna. Aeropuerto Marcos A Gelabert - 2024.....                        | 42 |
| <b>Imagen N°20:</b> Elaboración propia Aeropuerto Marcos A Gelabert – 2024.....                                        | 43 |
| <b>Imagen N°21:</b> Tipos de motores para aviación recíproca estándares – 2024.....                                    | 43 |
| <b>Imagen N°22:</b> Tiempos de funcionamiento de los motores convencionales o recíprocos – 2024.....                   | 43 |
| <b>Imagen N°23:</b> Aeronave FOKER 50 – AIR PANAMA turbopropulsores Pratt & Whitney Canadá PW125B o PW127B – 2024..... | 44 |
| <b>Imagen N°24:</b> Turbopropulsores Pratt & Whitney Canada PW125B o PW127B de Foker-50 – 2024.....                    | 45 |
| <b>Imagen N°25:</b> Aeronave Cessna vi Motor turbo cargado de 6 cilindros -2024.....                                   | 45 |
| <b>Imagen N°26:</b> Aeronave Cessna vi Motor turbo cargado de 6 cilindros. Combustible 100 OCTANOS – 2024.....         | 46 |
| <b>Imagen N°27:</b> Aeronave JET Motor Turbina. Combustible JET A. 100 octanos – 2024.....                             | 46 |
| <b>Imagen N°28:</b> Elaboración propia Aeropuerto Marcos A Gelabert. Aeronave – 2024.....                              | 47 |
| <b>Imagen N°29:</b> ¿Cómo funciona el SAF materia prima, transformación y uso? 2024.....                               | 49 |
| <b>Imagen N°30:</b> Objetivos del FLIGHT PLAN GREEN 2024.....                                                          | 51 |
| <b>Imagen N°31:</b> Primera ruta SAF del Plan Flyht Green con uso de aceites – 2024..                                  | 52 |
| <b>Imagen N°32:</b> Primera ruta SAF del Plan Flyht Green con uso de biomasas sólidas – 2024.....                      | 54 |
| <b>Imagen N°33:</b> Primera ruta SAF del Plan Flyht Green con uso de metanoles – 2024.....                             | 54 |
| <b>Imagen N°34:</b> Funcionamiento de Tecnología Solución G2L™ eFuels – 2024....                                       | 56 |
| <b>Imagen N°35:</b> Adquisición de vehículos eléctricos de soporte en tierra.....                                      | 64 |
| <b>Imagen N°36:</b> Cultura Ambiental de parte de la Aerolínea Nacional COPA AIRLINES – 2023.....                      | 65 |
| <b>Imagen N°37:</b> Bio-Fuel y Rutas de Copa Airlines – 2024.....                                                      | 65 |

|                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Imagen N°38:</b> Reporte de consumo energético de Combustible periodo 2020-2022.-2024.....                                                                                                | 66 |
| <b>Imagen N°39:</b> Sistemas de Navegación RNAV y uso de dispositivos de perfil alar para reducción de combustibles en ruta – 2024.....                                                      | 67 |
| <b>Imagen N°40:</b> Reporte de Emisiones de GEI.....                                                                                                                                         | 69 |
| <b>Imagen N°41:</b> Reporte de Gestión de Materiales y Residuos.....                                                                                                                         | 71 |
| <b>Imagen N°42:</b> Planta de Procesamiento de Residuos – Sistema de Paneles Solares – Optimización de recursos para movilidad de las aeronaves y encendido de motores – 2024.....           | 72 |
| <b>Imagen N°43:</b> Enfoque preventivo que favorece el cumplimiento regulatorio ambiental, el desarrollo y adopción de tecnologías amigables y respetuosas con el medio ambiente – 2024..... | 73 |
| <b>Imagen N°44:</b> Elaboración propia de motor CFM internacional LEAP-1B.....                                                                                                               | 74 |
| <b>Imagen N°45:</b> Elaboración propia motor CFM internacional LEAP-1B.....                                                                                                                  | 74 |
| <b>Imagen N°46:</b> Elaboración propia motor CFM Internacional LEAP-1B.....                                                                                                                  | 75 |
| <b>Imagen N°47:</b> Elaboración propia motor CFM Internacional LEAP-1B.....                                                                                                                  | 75 |
| <b>Imagen N°48:</b> Elaboración propia motor CFM internacional LEAP-1B.....                                                                                                                  | 76 |
| <b>Imagen N°49:</b> Elaboración Propia motor CFM Internacional LEAP-1B.....                                                                                                                  | 76 |
| <b>Imagen N°50:</b> Elaboración propia reservas de combustible JET – A, Aeropuerto Internacional de Tocumen – 2024.....                                                                      | 77 |
| <b>Imagen N°51:</b> Elaboración propia, Zona plataformas de embarques 201 hasta 210, Aeropuerto Internacional de Tocumen – 2024.....                                                         | 78 |
| <b>Imagen N°52:</b> Elaboración propia, equipos eléctricos, Aeropuerto Internacional de Tocumen – 2024.....                                                                                  | 79 |
| <b>Imagen N°53:</b> Elaboración propia, equipos de gaseo diario correas y plantas eléctricas, Aeropuerto Internacional de Tocumen – 2024.....                                                | 80 |
| <b>Imagen N°54:</b> ZONA DE DESCARTE DE EQUIPOS SIN USO DAÑADOS, Aeropuerto Internacional de Tocumen – 2024.....                                                                             | 81 |
| <b>Imagen N°55:</b> Equipos de uso externo de abastecimiento de combustible, Aeropuerto Internacional de Tocumen – 2024.....                                                                 | 82 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Cuadro N°1.</b> Elaboración de propiedades físicas y típicas para jet a / jet a-1 / jet b de los combustibles..... | 20 |
| <b>Cuadro N°2.</b> Ficha de datos de seguridad de combustibles jet a / jet a-1 / jet b.....                           | 21 |
| <b>Cuadro N°3.</b> Elaboración propia ge90 comparación de motores.....                                                | 29 |
| <b>Cuadro N°4.</b> Elaboración propia de variantes del trent 700 y sus especificaciones 2023.....                     | 38 |
| <b>Cuadro N°5.</b> Elaboración propia variantes del trent xwb 2023.....                                               | 39 |
| <b>Cuadro N°6.</b> Indicadores y acciones hacia carbono cero, plan Copa Airlines (2019-2020).....                     | 69 |

## INTRODUCCIÓN

Desde los primeros intentos por conquistar los cielos el hombre ha dedicado innumerables formas para lograrlo. En nuestro tiempo, estar a bordo de un avión y volar a más de 10000 metros de altura casi forma parte de nuestra vida cotidiana. Pero han pasado más de 100 años desde que, en un pequeño pueblo de Ohio (Estados Unidos) los hermanos Orville y Wilbur Wright emprendieron el que se considera el primer vuelo con un aparato a motor más pesado que el aire. Un importante hito del ser humano que hoy celebramos como los orígenes de la aviación.

En este trabajo de graduación, nos enfocaremos en brindar una visión sobre los combustibles convencionales y cómo hacer la transición de combustibles fósiles a producir biocombustibles, y con ello reducir la huella de carbono. las ventajas y desventajas y las mejoras significativas en su mayor eficiencia, tanto en el consumo como en la capacidad y reducción de la huella de carbono en el ambiente con energías sustentables.

Este proyecto consta de tres partes: la primera, es brindar el conocimiento necesario de cómo los combustibles son integrados a los motores y a los sistemas de distribución y almacenamiento de las propiedades como el JET-A -- JET A-1 -- JET-B AVGAS que determinarán el conocimiento.

La segunda, nos habla sobre las competencias de mercados de fabricantes de aeronaves y sus respectivos motores, los combustibles usados según sus rutas, ya que estos variarán de acuerdo con las diferentes condiciones de las cuales serán sometidos. Mencionado Específicamente en el capítulo 6.

La tercera parte se enfocó en tomar en cuenta los combustibles sostenibles para aviones.

Con las crecientes iniciativas para mejorar la sostenibilidad del sector aeronáutico, estos productos son llamados SAF (sustainable aviation fuel). Orientados a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en el ambiente. Así, como también, las Iniciativas que han tomado nuestras aerolíneas panameñas, para salvaguardar el medioambiente.

# **CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES**

## **CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES**

### **1.1. Antecedentes**

Referente a la integración de los combustibles al desarrollo de los motores de la industria aeronáutica, hemos observado que El querosene es utilizado como combustible para motores de turbina. Debido a que estos motores por su diseño llegan a ser insensible a las propiedades del combustible. Además, fue elegido por su disponibilidad, a ser tolerante a diferentes condiciones, generando gran potencia con un consumo relativamente bajo. Sin embargo, las combustibles tradiciones están contribuyendo a la generación de gases de invernadero, acelerando así el cambio climático. Demostrando así que La combustión de queroseno produce dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), un gas que contribuye al efecto invernadero y al calentamiento global. Se estima que la aviación es responsable de entre el 2% y el 5% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> relacionadas con la actividad humana.

También existen antecedentes basados en el proceso de transición de energías sustentables, que los fabricantes están desarrollando para lograr una descarbonización en la cual se necesitan medidas de apoyo político y fiscal para respaldar la transición hacia nuevas e innovadoras fuentes de energía. Por ejemplo, la Ley de Reducción de la Inflación de EE. UU. incluye disposiciones destinadas a reducir el costo de producir SAF y estimular la oferta. junto con organismos internacionales reguladores los cuales han propuesto las pautas para lograr objetivos a largo plazo, junto con los aeropuertos siendo los responsables del 2% de las emisiones totales, tal es el caso que las aerolíneas que se han acogido a la electrificación de equipos y suministro de servicio en las operaciones.

### **1.2. Planteamiento del problema**

Si bien sabemos, los combustibles para sus inicios contaminaban en excesos el ambiente, la problemática que enfrentarían al pasar las décadas se ha acelerado debido a los grandes cambios climáticos que nos enfrentamos. Para esto, la aviación ha encontrado soluciones eficaces, que han reducido el impacto en gran instancia y se plantea mejoras significativas en las próximas décadas tanto en el desarrollo de motores y combustibles alternos SAF.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Brindar una visión general sobre la integración de los combustibles de motores en la industria aeronáutica.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Verificar el comportamiento de los combustibles en motores a reacción y aviación recíproca.
- Analizar el alcance que han tenido los combustibles fósiles sobre los motores para garantizar la seguridad dentro de la aviación llevando sus características a mejoras continuas para reducir la huella de carbono contribuyendo a la descarbonización.
- Evaluar el poder calorífico del combustible tradicional y del sustentable.
- Conocer la viabilidad sobre los combustibles actuales (Queroseno) y la introducción de combustible SAF al desarrollo de motores sin incorporar nuevos parámetros.

### **1.4. Justificación**

Esta investigación brinda un conocimiento general de cómo está compuesta la fuente de energía que mueve la industria aeronáutica, las mejoras que han incorporado los motores de última generación junto con el desarrollo de biocombustibles que las empresas logran introducir con los mismos parámetros y las condiciones energéticas iguales, sin alterar las condiciones de producción y el ocupamiento de los espacios para producción de la materia prima. Para que todo el sector de la aviación difiera notablemente en su preparación para el cambio climático y la transición a una economía más sostenible.

Por tanto, debemos dar a conocer el papel importante de nuestras aerolíneas panameñas con el uso de combustibles SAF con el fin de contribuir a un ambiente más sostenible. Es fundamental que nuestra sociedad conozca que estas empresas están caminando hacia un desarrollo sostenible como lo hace nuestras aerolíneas que se ha acogido a la electrificación de equipos y suministro de servicio en las operaciones. Haciendo tendencias organizacionales líderes para contribuir en prácticas sostenibles que permitan ser un modelo para la región.



### **1.5. Preguntas de investigación**

- ¿Si bien los SAF podrían ser la principal solución para la descarbonización de la industria aérea, esta industria no es económicamente rentable en el escenario actual, y no se desarrollará sin la intervención de otras fuerzas? Su alcance garantizara la seguridad tomando en cuenta los certificados de forma tal que cumplan con los criterios de sostenibilidad establecidos en el anexo 16 volumen IV del Convenio de Chicago.?
- ¿Un desafío y una oportunidad aseguran los combustibles sostenibles la aviación para pueda facilitar los viajes y las necesidades sociales, al mismo tiempo que se hace lo que es bueno para el medio ambiente? Sin afectar las aerolíneas de pasajeros, servicios de aeropuerto, operaciones de vuelo y fabricantes, ¿Estabilizar las emisiones y luego alcanzar cero netos para 2050 dependerá de las acciones que la industria tome ahora?

### **1.6. Alcance del trabajo**

En cuanto al alcance de la investigación es brindar el conocimiento necesario de cómo está compuesta la fuente de energía que mueve la industria aeronáutica, las mejoras que han incorporado los motores de última generación junto con el desarrollo de biocombustibles que las empresas logran introducir con los mismos parámetros y las condiciones energéticas iguales, sin alterar las condiciones de producción y él ocupa miento de los espacios para producción de la materia prima. Para así lograr objetivos a largo plazo tanto en el sector energético y medio ambiental. Esta investigación dará a conocer las limitantes energéticas y las características que deben tener los biocombustibles para ofrecer un rendimiento optimo y garantizar la seguridad en cada vuelo. Y por último, mostrar lo que están haciendo nuestras aerolíneas para salvaguardar el medio ambiente.

### **1.8. Limitaciones**

Entre las limitaciones que han influido en el desarrollo de esta investigación tenemos:

- Limitaciones de tiempo debido al trabajo se dificulta la movilidad para la investigación
- Limitaciones de recursos económicos y equipos necesario.

- Limitaciones metodológicas orientación a la investigación principal del tema.
- Limitaciones de datos información publicada de años anteriores para poder comparar con datos actuales.
- Limitaciones éticas información sensible que solo la aerolínea puede manejar por seguridad.

## **CAPÍTULO II. ESPECIFICACIONES ESTANDARIZADAS**

## **CAPÍTULO II. ESPECIFICACIONES ESTANDARIZADAS**

### **2.1. Especificaciones internacionales estandarizadas para combustibles de motores a reacción**

Existen dos organizaciones que tomaron el rol de la implementación y mantenimiento de las especificaciones para el combustible jet comercial para turbinas de aviones:

- ASTM (American Society for Testing and Materials) y
- MOD (United Kingdom Ministry of Defense)

Las especificaciones emitidas por estos dos organismos son muy similares. Otros países tienen sus propias especificaciones para el combustible jet siendo muy similares o idénticas a las emitidas por ASTM o MOD. En los estados independientes del Commonwealth (CIS) y parte del este europeo las especificaciones del combustible jet adoptan el estándar GOST.

Las principales especificaciones son:

- ASTM D-1655: The Standard Specification for Aviation Turbine Fuels. Incluye las especificaciones de los tres combustibles jets comerciales: Jet A, Jet A-1 y Jet B.
- Defence Standard 91-91: United Kingdom Ministry of Defence mantiene esta especificación (formalmente titulada DERD 2494) para el Jet A-1.
- CGSB-3.22: Es una especificación de Canadá y cubre el Jet B utilizado en partes de Canadá y Alaska.
- GOST 10227: Especificación rusa para combustible tipo querosene liviano, TS-1, usado en CIS y parte del este europeo.
- Joint Checklist: Es la combinación de los requerimientos más estrictos de ASTM D-1655 y DEF STAND 91-91 en un documento: Aviation Fuel Quality Requirements for Jointly Operated System.
- IATA: International Air Transport Association publica el documento Guidance Material for Aviation Turbine Fuels Specifications. Contiene especificaciones para cuatro tipos de combustible para turbina de aviones: Jet A; Jet A-1 y TS-1 y el corte amplio Jet B. El Jet A cumple con los requerimientos de ASTM, Jet A-1 con los de Joint Checklist, TS-1 con los de

GOST de Rusia y Jet B con los de CGSB de Canadá.

<https://www.astm.org/d6469-20.html>

## **2.2. Cumplimiento de Estándares**

El combustible jet A, Jet A-1 debe cumplir:

- DEF STAN 91-91 (Jet A-1)
- La especificación ASTM D1655 (Jet A-1)
- Material de orientación IATA (tipo de queroseno)
- Código OTAN F-35

El combustible Jet A solo debe cumplir la especificación ASTM D1655 (Jet A).

Reglamento Aeronáutico Latinoamericano LAR 34.

Estándares de aeronavegabilidad: Drenaje de combustible y emisiones de gases de escape de aviones con motores a turbina y pistón. Registro de Enmiendas al LAR 34.

- Norma Técnica Colombiana NTC 4643, “Manejo del turbo combustible para aviación”.
- Norma Técnica Colombiana NTC 5261, “Manejo de la gasolina para aviación”.
- Norma Técnica Colombiana NTC 5011, “Manejo de combustibles de aviación en contenedores móviles”.

## **2.3. Combustibles de Aviación Comercial Jet A Jet A-1 Jet-B**

El querosene, utilizado como combustible para iluminación se usó también como combustible para motores a turbina. Debido a que estos motores se diseñaron insensibles a las propiedades del combustible, en cuanto al querosene, fue elegido por su disponibilidad considerando que cada gota de nafta era requerida para necesidades bélicas.

Combustibles a reacción de turbinas ejemplos y sus características Jet A-1: Consigue una gran cantidad de energía con una carga mínima de combustible, dado que su poder calorífico proporciona la máxima potencia a tu avión.

Con un mejor carburante para los aviones más modernos nos indica que:

- Aumenta la autonomía de vuelo disminuyendo la carga de combustible, gracias a su enorme potencia calorífica.

- Alta resistencia al frío. Evita la cristalización que pueden sufrir los aviones en las partes más altas del trayecto.
- Estabilidad térmica y de almacenaje, que previene el deterioro del motor y del combustible.



*Imagen 1. Avión moderno Airbus a319. 2024*

#### **2.4. Composición del Jet A-1 Jet A Jet B**

El crudo es de naturaleza hidrocarbonada y está constituido por una mezcla compleja de diferentes tipos de hidrocarburos, por tanto, se compone de Carbono e Hidrógeno con un pequeño porcentaje de otros elementos como azufre, nitrógeno y metales integrados en hidrocarburos de estructuras más o menos complejas.

Mediante la actividad de refino, se transforma el crudo de petróleo en productos de mayor valor añadido, siendo uno de ellos los combustibles. La práctica total del JET A-1 actual se obtiene de las fracciones medias procedentes de la destilación atmosférica, que constituye la primera etapa del refino de un crudo.

El objetivo de este proceso es vaporizar el crudo y separar por condensación a diferente temperatura distintas fracciones obteniéndose en una de ellas el queroseno. El queroseno o JET A-1 es una mezcla de hidrocarburos que van desde C9 hasta C17.



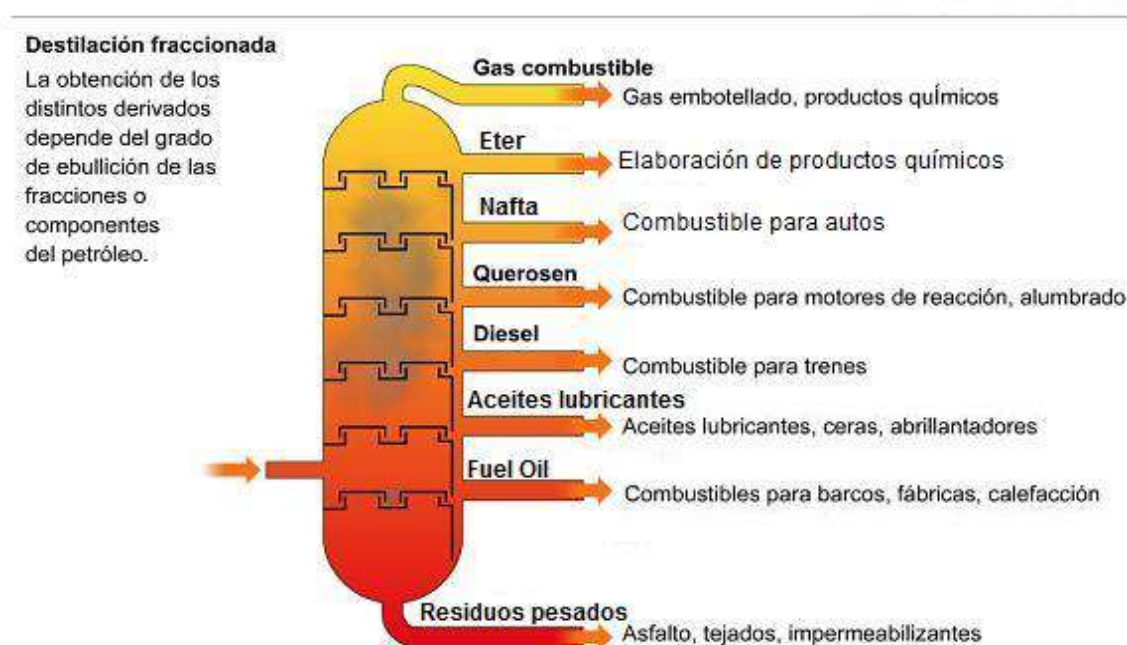
**Imagen 2.** Elaboración propia. Transporte Larrinaga de JET-A, Aeropuerto Marcos A Gelabert 2024



**Imagen 3.** Elaboración Propia. Transporte Larrinaga de JET-A, Aeropuerto Marcos A Gelabert – 2024

## 2.5. Fabricación del Queroseno

- *Fracciones Primarias de la Destilación del Crudo (Straight-run)*



**Imagen 4.** Destilación del petróleo crudo. Fracciones primarias de la destilación del crudo (Straight-run) – 2024

## 2.6. Fracciones Primarias hidro tratadas (eliminación del azufre)

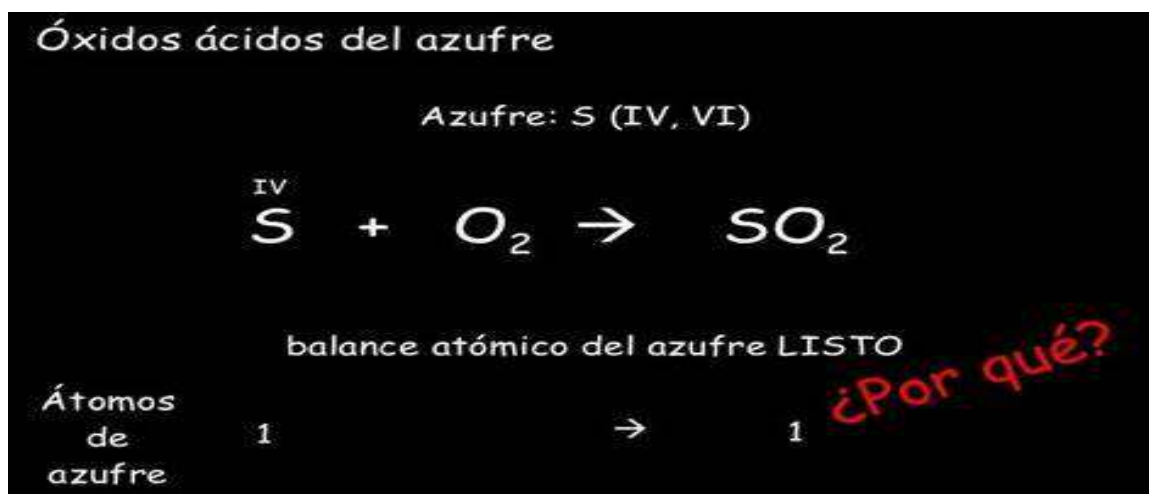
El hidrotratamiento se utiliza para eliminar alrededor del 90% de los contaminantes, como nitrógeno, azufre, metales e hidrocarburos insaturados, de las fracciones de petróleo líquidas, como la gasolina de destilación directa, eliminando los componentes contaminantes haciendo los reaccionar con hidrógeno a temperaturas comprendidas entre 315 y 430 C a presiones que varían de 7 a 210 Kg/cm<sup>2</sup>, en presencia de catalizadores diversos.

Los procedimientos de tratamiento de un efluente de vapor craqueo de hidrocarburos que corresponde a una fracción que tiene una temperatura de ebullición entre 0°C y 250°C, lo que comprenden:

- Una etapa de hidrogenación selectiva, llamada HD1, de la carga.
- Un fraccionamiento en una o más columnas de destilación del efluente de la
- etapa.



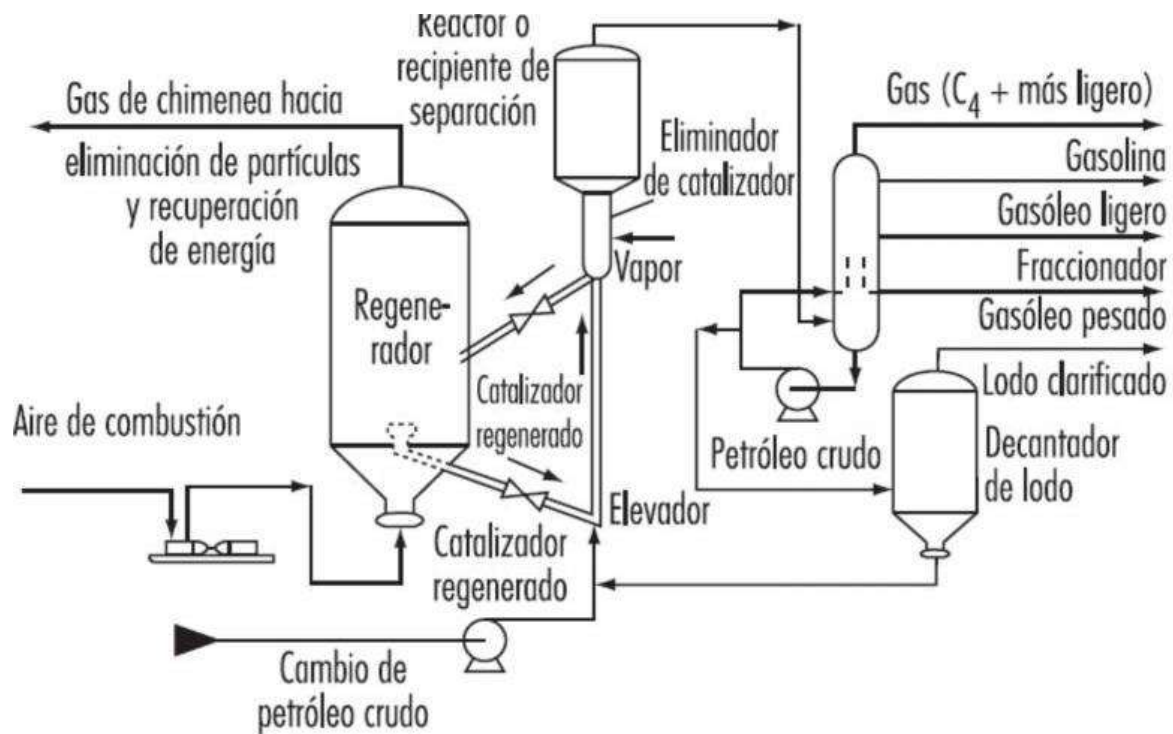
- Para producir, al menos una fracción ligera C5, una fracción intermedia C6 o C6- C7 o C6-C8 para la producción de aromáticos, una fracción pesada C7+ o C8+ o C9+ para la producción de gasolina.
- Una etapa de hidro desulfuración y de hidrogenación profunda de la fracción intermedia llamada HD2.
- Una etapa de alquilación de la fracción pesada C7+, C8+ o C9+ en mezcla con una parte de la fracción ligera C5 a una temperatura comprendida entre 30°C y 300°C, a una velocidad espacial horaria comprendida entre 0,05 h<sup>-1</sup> y 5 h<sup>-1</sup> y a una presión comprendida entre 1,0 MPa y 4,0 MPa, consistiendo dicha etapa de alquilación en un tratamiento sobre catalizador ácido sólido seleccionado entre el grupo constituido por resinas ácidas de intercambio iónico, zeolitas, arcillas, sílices de funcionalización, silico-aluminatos que presentan acidez y soportes injertados con grupos funcionales ácidos, permitiendo dicho catalizador ácido que los compuestos azufrados se hagan más pesados.
- Una etapa de destilación del efluente para producir una fracción ligera directamente utilizable como base de gasolina con bajo contenido de azufre, y una fracción pesada C11+ o C12+ rica en compuestos azufrados y utilizada como destilado medio o fuel.



*Imagen 5. Descomposición química del petróleo del azufre. Fracciones primarias hidro tratadas (eliminación del azufre) - 2024*

## 2.7. Fracciones de Conversión (FCC, Visbreaking, entre otros)

El craqueo catalítico de hidrocarburos en lecho fluidizado (Fluid Catalytic Cracking, FCC) es el proceso más importante en las refinerías, dada su eficiencia y versatilidad en la transformación y aprovechamiento de hidrocarburos de bajo valor hacia productos de alto valor. El proceso produce combustibles líquidos (gasolinas, querosenes, combustibles diésel), y también genera materias primas para procesos derivados.



**Imagen 6.** Catálisis del crudo. Fracciones de conversión (FCC, Visbreaking, etc.) - 2024

## **CAPÍTULO III. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

## **CAPÍTULO III. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1. Desarrollo de la investigación**

- *Performance del JET A JET A -1 JET- B*

La función primaria del combustible para jet es suministrar potencia al avión, siendo parámetros claves su contenido energético y la calidad de combustión. En entornos y condiciones difíciles.

- *Propiedades del JET-A - JET A-1 – JET-B*

Contenido energético: La turbina genera potencia mediante la conversión de la energía química almacenada en el combustible en una combinación de energía mecánica y calor.

### **3.2. Características de Combustión**

En una turbina de avión, durante los procesos de combustión se forman prematuramente pequeñas partículas carbonosas. Estas partículas continúan quemándose a medida que pasan por la llama y se consumen totalmente. Si estas partículas carbonosas no son completamente consumidas por la llama, pueden impactar sobre los álabes de la turbina y sobre los estatores causando la erosión de los materiales. Además, las partículas carbonosas son las responsables del humo visible que pueden emitir las turbinas.

- *Estabilidad*

Existen factores que pueden deteriorar la calidad del combustible: el tiempo (estabilidad al almacenaje) y exposición del JET A-1 a altas temperaturas en el motor (estabilidad térmica). Por estas razones, el combustible es sometido a ensayos bajo condiciones severas.

- *Lubricidad*

Las turbinas de avión están diseñadas para trabajar con JET A-1 dentro de un rango de viscosidad, en el cual el combustible provee una adecuada lubricación hidrodinámica.

- *Fluidez*

Las propiedades físicas como la viscosidad y el punto de congelación se usan para caracterizar la fluidez del JET A-1.

- *Viscosidad*

El combustible se inyecta a alta presión dentro de la cámara de combustión de la turbina a través de los inyectores. Allí el combustible líquido se transforma en gotas muy pequeñas en forma de spray, que se evaporan rápidamente al mezclarse con el aire. El tamaño de gota está influenciado por la viscosidad del combustible. Si esta es muy alta, el motor puede tener dificultades de reencendido en vuelo. Además, somete a la bomba de combustible a trabajo forzado, para mantener una velocidad de flujo de combustible constante.

### **3.3. Punto de Congelación**

El principio básico del combustible para su normal funcionamiento es su bombeabilidad, que es la habilidad que posee el combustible para ser movido desde el tanque hasta la turbina, y que depende de su fluidez y del diseño del sistema de combustible. El combustible generalmente permanece bombeable de 4°C a 15°C por debajo de su punto de congelación.

- *Volatilidad*

Es la tendencia que tiene el combustible a vaporizar y su caracterización se determina mediante dos propiedades físicas como la presión de vapor y la curva de destilación.

- *Corrosión*

El combustible no debe corroer los materiales con los que está en contacto durante su distribución y uso. Para ello, los fabricantes de motores y equipos involucrados en el sistema de combustible lo controlan muy estrictamente, para asegurar la compatibilidad del combustible, antes de aprobar los materiales usados con este fin. El JET A-1 contiene compuestos potencialmente corrosivos, aunque limitados por las especificaciones.

- *Limpieza*

Hablar de un combustible limpio implica libre de partículas sólidas y de agua. Las partículas, como suciedad, óxidos, etc., pueden obstruir filtros y aumentar el desgaste en la bomba de combustible. El agua, además de no quemar, se congela a elevadas altitudes con la consiguiente formación de hielo y el riesgo de bloquear el sistema de flujo de combustible. Además, puede facilitar la corrosión de algunos

metales y permitir el desarrollo microbiano. Aun así, existen otros productos que pueden afectar la pureza del combustible, como los surfactantes, mezclas, anilinas, microbios.

### **3.4. Contenido energético**

La turbina genera potencia mediante la conversión de la energía química almacenada en el combustible en una combinación de energía mecánica y calor. Esta propiedad puede ser medida a partir del calor de combustión, que es el calor liberado cuando se quema una fracción conocida de combustible bajo determinadas condiciones. Su valor dependerá del tipo de hidrocarburos que constituyen el combustible y puede preverse a partir de la densidad, ya que esta también es función de la composición química del combustible. Su valor puede expresarse en volumen (energía por unidad de volumen) o gravimétricamente (energía por unidad de peso). Generalmente, un combustible jet menos denso tiene un contenido energético gravimétrico menor, mientras que un combustible jet más denso tiene un contenido energético volumétrico mayor. Un combustible jet con alto contenido energético volumétrico aumenta la energía que puede almacenarse en los tanques de la aeronave, proveyendo así una mayor autonomía de vuelo.

### **3.5. Características de combustión**

En una turbina de avión, durante los procesos de combustión se forman prematuramente pequeñas partículas carbonosas. Estas partículas continúan quemándose a medida que pasan por la llama y se consumen totalmente. Pero estas partículas se vuelven incandescentes bajo ciertas condiciones de presión y temperatura dentro de la sección de combustión de la turbina, haciendo que las paredes del combusto absorban la radiación infrarroja. Así aumenta el calor recibido por la transferencia de calor de los gases de combustión, pudiendo generar rupturas prematuras o fallas del motor. Si estas partículas carbonosas no son completamente consumidas por la llama, el Jet A-1, debe mantener inalterables sus características fisicoquímicas a través del tiempo.

### **3.6. Propiedades de Seguridad**

El combustible jet puede ser peligroso si no se le manipula adecuadamente, ya que su ignición es muy fácil y quema rápidamente. Existen propiedades que permiten

determinar las características del combustible jet y que están relacionadas con el manipuleo. Tales como temperatura de ignición, volatilidad, estabilidad a la oxidación, potencia, formación de depósitos y emisión de gases.

- *Crecimiento Microbiano*

El combustible para aviones es estéril cuando se produce por primera vez debido a las altas temperaturas de procesamiento de la refinería.

Pero rápidamente se contamina con microorganismos que siempre están presentes en el aire y agua. Los microorganismos que se encuentran en los combustibles incluyen bacterias y hongos (levaduras y mohos). Los sólidos formados por el crecimiento microbiano son muy efectivos para obstruir los filtros de combustible. Algunos microorganismos también generar subproductos ácidos que pueden acelerar la corrosión del metal.

Dado que la mayoría de los microorganismos necesitan agua libre para crecer, el crecimiento microbiano generalmente se concentra en la interfase combustible-agua, cuando exista. Algunos organismos necesitan aire para crecer (organismos aeróbicos), mientras que otros crecen solo en ausencia de aire (organismos anaerobios).

Además de alimentos (combustible) y agua, los microorganismos también necesitan ciertos nutrientes elementales. El combustible para aviones puede suministrar la mayoría de estos. El fósforo es el único cuya concentración podría ser lo suficientemente baja como para limitar el crecimiento microbiano.

Las temperaturas ambientales más altas también favorecen el crecimiento microbiano. Otros factores que afectan a los microbios son el crecimiento y su control que se analizan en la norma ASTM D 6469: Guía estándar para la contaminación microbiana en combustible y sistemas de combustible.

El mejor enfoque para la contaminación microbiana es la prevención. Y el preventivo más importante es mantener la cantidad de agua libre en los tanques de almacenamiento de combustible y en los tanques de combustible de los aviones lo más bajo posible.

Cuando los microorganismos alcanzan niveles problemáticos en los tanques de combustible de los aviones, se pueden usar biocidas aprobados bajo condiciones

controladas. Pero estos, tienen sus límites, porque pueden no funcionar si un pesado de la biopelícula se ha acumulado en la superficie del tanque u otro equipo, también puede que no llegue a los organismos que viven en lo profundo de la biopelícula. En tales casos, el tanque debe ser drenado y limpiado mecánicamente. E incluso si el biocida detiene efectivamente el crecimiento microbiano, aún puede ser necesario eliminar la biomasa acumulada para evitar la obstrucción del filtro. Dado que son tóxicos, cualquier fondo de agua que contengan biocidas deben eliminarse de forma adecuada.

### 3.7. Performance del JET B

Jet B es un combustible del área de la nafta-keroseno que se utiliza para un mejor rendimiento en clima frío. Sin embargo, la composición más ligera del Jet B hace que sea más peligrosa su manipulación. Por esta razón, rara vez se usa, excepto en climas muy fríos; por lo que se utiliza principalmente en el norte de Canadá, Alaska, y a veces en Rusia. Esto es una mezcla de aproximadamente del 30% de queroseno y 70% de gasolina que también se lo conoce como combustible de corte ancho. Tiene un punto de congelación muy bajo de -60 °C (-76 °F), y un bajo punto de inflamación de 28°C.

#### Cuadro Comparativo de Propiedades Físicas Típicas para jet a / jet a-1 / jet b

|                                           | Jet B                                | Jet A-1                                                           | Jet A                                |
|-------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Punto de inflamación                      | 28 °C                                | 38 °C (100 °F)                                                    |                                      |
| Temperatura de autoignición               | 28 °C                                | 210 °C (410 °F)                                                   |                                      |
| Punto de congelación                      | -60 °C                               | -47 °C (-53 °F)                                                   | -40 °C (-40 °F)                      |
| Temperatura de la flama adiabática máxima | =                                    | 2500 K (2230 °C) Temperatura de combustión de aire libre: 1030 °C |                                      |
| Densidad a 15 °C                          | 0,820 kg/l                           | 0,804 kg/l                                                        | 0,820 kg/l                           |
| Energía específica                        | <u>43,02 MJ/kg</u><br>(11,95 kWh/Kg) | <u>42,80 MJ/kg</u><br>(11,90 kWh/Kg)                              | <u>43,02 MJ/kg</u><br>(11,95 kWh/Kg) |
| Densidad de energía                       | <u>43,02 MJ/kg</u><br>(11,95 kWh/Kg) | 34,7 MJ/l <sup>16</sup><br>(9.6 kWh / L)                          | 35,3 MJ/l (9.8 kWh / L)              |

**Cuadro 1.** Elaboración de propiedades físicas y típicas para jet a / jet a-1 / jet b de los combustibles.



**Cuadro Ficha de Datos de Seguridad de Combustibles jet a / jet a-1 / jet b**

| FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD<br>COMBUSTIBLE JET A JET A-1 JET B                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| REF. FDS-06SP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                      |
| <b>IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA / PREPARADO Y DE LA EMPRESA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                      |
| Nombre del producto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Jet A-1                                              |
| Tipo de producto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Combustible para turbo motores de aviación           |
| Suministrador                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Shell Panamá S. A.                                   |
| Dirección                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Panamá                                               |
| Teléfono de información                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 537 0169 (Horas de oficina)<br>537 0100 (Centralita) |
| Teléfono de emergencia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | (977) 54 90 76                                       |
| Teléfono 24 horas al día                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | (91) 537 0133                                        |
| <b>COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE COMPONENTES</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                      |
| <b>Sinónimos</b><br>Combustibles para motores Jet de aviación, combustibles para motores de turbina de aviación, keroseno para turbinas de aviación, AVTUR, keroseno de aviación.                                                                                                                                                                                  |                                                      |
| <b>Descripción del compuesto</b><br>Mezcla de hidrocarburos parafínicos, ciclos parafínicos, aromáticos y olefínicos, donde predominan el N.º de átomos de carbono en el intervalo C8 a C16.<br>También puede contener uno o más de los siguientes aditivos: antioxidantes, desactivadores metálicos, disipadores de corriente estática, inhibidores de corrosión. |                                                      |
| <b>Medioambiente</b><br>Tóxico débil para los organismos acuáticos.<br>Grandes volúmenes de producto que penetran en el suelo y contaminan las aguas subterráneas.                                                                                                                                                                                                 |                                                      |
| <b>MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                      |
| <b>Manipulación</b><br>No comer, ni beber o fumar durante su utilización.<br>Usar en zonas bien ventiladas.<br>Evítese la acumulación de cargas electrostáticas.<br>Conectar en tierra todo el equipo.                                                                                                                                                             |                                                      |
| <b>Temperatura de manipulación</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                      |

Temperatura ambiente.

### **Almacenamiento**

Situar los tanques lejos del calor y de otras fuentes de ignición.

No almacenar en depósitos inapropiados, no etiquetados o etiquetados incorrectamente.

Mantener los depósitos bien cerrados, en lugar seco, bien ventilado, y lejos de la luz directa del sol y de otras fuentes de calor o ignición.

Evitar la entrada de agua.

Los bidones pueden apilarse hasta un máximo de 3 alturas. Mantener en zona aislada.

### **Temperatura de Ambiente / Almacenamiento**

#### **Trasvase de producto**

Durante el bombeo pueden formarse cargas electrostáticas.

Conectar a tierra todo el equipo.

Evitar las salpicaduras durante el llenado.

Esperar 10 minutos después de llenado el tanque antes de abrir las escotillas o bocas de hombre.

#### **Limpieza de depósitos/ tanques**

La limpieza, inspección y mantenimiento de tanques de almacenamiento es una operación muy especializada que requiere la implantación de procedimientos y precauciones estrictos.

Estos incluyen el permiso para el trabajo, ventilación del tanque, uso de cuerdas de seguridad, así como llevar equipo respiratorio con suministro de aire.

Antes de entrar y durante la limpieza, controlar la atmósfera del tanque utilizando un medidor de oxígeno y/o un exposímetro.

Tomar precauciones adicionales si el tanque pudo haber contenido gasolina con plomo. Consultar la publicación de OCTEL "Tanques de gasolina con plomo.

Limpieza y eliminación de residuos".

### **PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS (TÍPICAS)**

|                              |                                   |
|------------------------------|-----------------------------------|
| Estado físico                | Líquido a temperatura ambiente.   |
| Color                        | Claro, amarillo claro, pajizo.    |
| Olor                         | Característico                    |
| Punto de ebullición inicial  | Aprox. 150° C                     |
| Punto de ebullición final    | Aprox. 300° C                     |
| Presión de vapor             | < 0.1 kPa a 40° C                 |
| Densidad                     | 775-840 Kg/m <sup>3</sup> a 15° C |
| Viscosidad cinemática        | 1-2 mm <sup>2</sup> /s a 40° C    |
| Densidad de vapor (aire = 1) | >5                                |

|                                       |                                                                    |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Conductividad eléctrica               | 50-450 pS/m                                                        |
| Punto de inflamación                  | 38° C mínimo (Abel, Setaflash)                                     |
| Límite de inflamabilidad superior     | Aprox. 6 % (v/v)                                                   |
| Límite de inflamabilidad inferior     | Aprox. 1 % (v/v)                                                   |
| Temperatura de auto ignición          | > 220° C                                                           |
| Propiedades explosivas                | Al usarse mezclas, vapor-aire puede formar inflamables explosivos. |
| Propiedades oxidantes                 | No                                                                 |
| Solubilidad en agua                   | Datos no disponibles                                               |
| Coeficiente de partición octanol/agua | Datos no disponibles                                               |

### 3.8. Solución a ciertos aspectos componentes de fabricación del combustible.

- *Producción de AGV parafinas y etanol a partir de desechos de alimentos.*

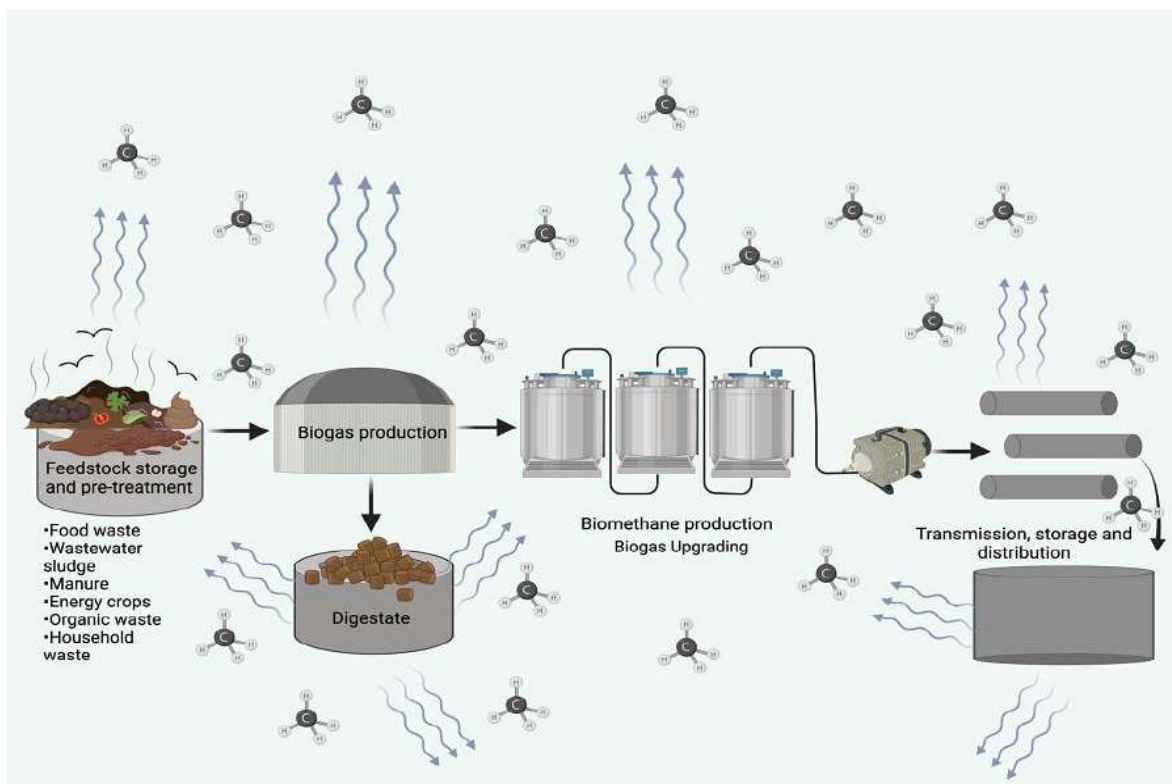
Aumentar la autonomía de vuelo disminuyendo la carga de combustible, gracias a su enorme potencia calorífica. Alta resistencia al frío. Evita la cristalización que pueden sufrir los aviones en las partes más altas del trayecto. Estabilidad térmica y de almacenaje, que previene el deterioro del motor y del combustible.

Para satisfacer la creciente demanda de combustibles de aviación sostenibles (SAF), se necesitan vías de conversión que aprovechen el carbono residual húmedo y cumplan con las especificaciones de las propiedades del combustible para aviones. Aquí, se demuestra la producción de SAF a partir de ácidos grasos volátiles (AGV) derivados de desechos de alimentos al apuntar a las parafinas normales para un camino hacia el mercado a corto plazo y a las isoparafinas ramificadas para aumentar el contenido renovable a largo plazo. Se demostró que la combinación de estas distintas estructuras de parafina mejora sinérgicamente el punto de inflamación y la viscosidad de VFA-SAF para aumentar el límite de mezcla renovable al 70 %. El análisis del ciclo de vida muestra el dramático impacto en la huella de carbono si los desechos de alimentos se desvían de los vertederos para producir VFA-SAF, destacando el potencial para cumplir con los objetivos ambientales, de operatividad y de seguridad del combustible para aviones.

Con la creciente demanda de combustibles de aviación sostenibles (SAF) netos cero, se necesitan nuevas tecnologías de conversión para procesar materias primas residuales y cumplir con los objetivos de reducción de carbono y costos. Los desechos húmedos son una materia prima frecuente y de bajo costo con el potencial energético de desplazar más del 20% del consumo de combustible para aviones en Estados Unidos; sin embargo, su complejidad y alta humedad generalmente relegan su uso a la producción de metano a partir de digestión anaeróbica. Para superar esto, se puede detener la metanogénesis durante la fermentación para producir C2 a C8. Ácidos grasos volátiles (AGV) para la actualización catalítica a SAF.

Aquí, evaluamos la conversión catalítica de AGV derivados de desechos de alimentos para producir SAF de n-parafina para uso a corto plazo como una mezcla al 10% en volumen para la calificación ASTM "Fast Track" y producimos un AGV-SAF de isoparafina altamente ramificado para aumentar el límite de mezcla renovable. Los modelos de cetonización de AGV evaluaron las distribuciones de longitud de la cadena de carbono adecuadas para cada vía de conversión de AGV-SAF, y se demostró la cetonización de AGV derivada de desechos de alimentos durante >100 h de tiempo en funcionamiento con un rendimiento aproximadamente teórico.

Los modelos de mezcla de propiedades del combustible y las pruebas experimentales determinaron que la parafina normal VFA-SAF cumple con las especificaciones de combustible del 10 % en volumen para "Fast Track". La mezcla sinérgica con isoparafina VFA-SAF aumentó el límite de mezcla a 70 % en volumen al abordar las limitaciones del punto de inflamación y la viscosidad con un 34% menos de hollín que el azabache fósil. El análisis tecno económico evaluó los principales factores que influyen en los costos del proceso catalítico, determinando el precio mínimo de venta del combustible en función de los costos de producción de AGV. El análisis del ciclo de vida determinó que, si los desechos de alimentos se desvían de los vertederos para evitar las emisiones de metano, el VFA-SAF podría permitir una reducción de hasta un 165 % en las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con el jet fósil.



**Imagen 7.** Producción de AGV parafinas y etanol a partir de desechos de alimentos.

### 3.9. Integración de los motores de última generación al uso de combustibles fósiles y bio-combustibles



**Imagen 8.** Energías verdes y renovables medio ambientales.

## Turborreactor para Avión de línea Trent 7000



*Imagen 9. Motores Trent 7000. Motores de última generación.*

|                    |                                                                                                                              |                                                                                                                               |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aeronave           | Creado específicamente para el Airbus A330neo                                                                                |                                                                                                                               |
| Motor              | Turborreactor de línea Trent 7000                                                                                            | Capaz de operar en entornos fríos y de alta humedad con su avanzada protección contra el hielo y su ESS calentado.            |
| Mejoras de ruido   | 6dB más silencioso que el modelo 700                                                                                         |                                                                                                                               |
| Tecnología         | Última tecnología de ventilador de cuerda ancha y barrido completo                                                           | El diseño combinado de álabes y discos en los compresores o el avanzado sistema de control de holgura de la turbina modulada. |
|                    | Protección FOD mejorada                                                                                                      | Retención de rendimiento superior, debido a la maximización del flujo de aire por la baja relación cubo-punta del ventilador. |
|                    | Presenta una mejora del 10% en el consumo específico de combustible gracias a su pequeño núcleo de alta relación de presión. |                                                                                                                               |
| Ventajas           | Beneficios en los ingresos incluso en las rutas más difíciles, gracias a su gran empuje.                                     | Alta fiabilidad con un largo tiempo en vuelo.                                                                                 |
| Relación de baipás | Relación superior a 10:1                                                                                                     | Un 10% mejor en SFC que el Trent 700, lo que                                                                                  |

|                        |                                                                                                                                                                 |                                                                |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|                        |                                                                                                                                                                 | permite mejorar el consumo de combustible del avión en un 14%. |
| La toma de potencia IP | Suministra toda la potencia a los sistemas de la aeronave incluso a velocidades de ralentí más bajas, lo que da lugar a un ciclo de funcionamiento más estable. |                                                                |

**NOTA.** *Elaboración propia adaptaciones para motores a reacción de última generación - 2023*

### ***General Electric GE90***

Lanzado en 1990, el motor GE90 es el primer motor de GE Aerospace en la clase de empuje de 100000 libras y se convirtió en el motor turbofán comercial tecnológicamente más avanzado en 25 años.

- Impulsando el avión bimotor Boeing 777, el motor GE90 combinó un empuje récord y una alta confiabilidad con menos ruido.
- Clasificado en 94,000 libras de empuje, el motor GE90-94B se basa en el éxito comprobado de los primeros modelos de motor GE90 para propulsar los aviones Boeing 777-200 y 777-300.
- Emisiones y consumo de combustible para convertirse en un motor a reacción icónico reconocido mundialmente por su tamaño e innovaciones.

GE ha seguido invirtiendo y mejorando el motor. Los ingenieros de GE.

- Han mejorado el compresor, la cámara de combustión y los componentes de la turbina de alta y baja presión del motor GE90-115B para reducir el peso, mejorar la eficiencia del combustible y aumentar la durabilidad.
- Reducción del 3,6 % en el consumo de combustible desde la especificación de lanzamiento inicial.
- 60% de mejora en el tiempo en vuelo.
- Tasa de confiabilidad de clase mundial del 99,98 %
- Servicio en cualquier lugar donde necesite atención.

Con más de 2800 motores GE90 entregados en todo el mundo, GE y su red global de proveedores de mantenimiento, reparación y revisión (MRO) están en cualquier lugar donde nuestros clientes necesiten asistencia. A través de la suite de servicios de motor TrueChoice de GE, los operadores de GE90 tienen acceso a opciones de MRO que pueden optimizar el motor para cumplir con un ciclo de vida deseado con



ámbitos de trabajo específicos, optimizando la utilización del hardware y minimizando el costo de propiedad.



**Imagen 10.** General Electric GE90. Para uso del Boeing 777 – 2024. Elaboración Propia Aeropuerto Internacional de Tocumen.

- **Motor GE90-115B**

Después de ser seleccionado por Boeing para desarrollar un motor de 110.000 a 115.000 lbs. de empuje, GE entregó el motor GE90-115B impulsa los aviones Boeing 777-200LR, 777-300ER y 777 Freighter de mayor alcance.





**Imagen 11.** Motor GE90-115B. Aviones Boeing 777-200LR, 777-300ER y 777 - 2024. Elaboración Propia Aeropuerto Internacional de Tocumen.

### **GE90 comparación de motores**

| PHYSICAL INFORMATION                         | -94B   | -115B   |
|----------------------------------------------|--------|---------|
| Fan/Compressor Stages                        | 1/3/10 | 1/4/9   |
| Low-Pressure Turbine / High-Pressure Turbine | 6/2    | 6/2     |
| Maximum Diameter (Inches)                    | 134    | 135     |
| Length (Inches)                              | 287    | 287     |
| POWER SPECIFICATIONS                         | -94B   | -115B   |
| Max Power at Sea Level                       | 93,700 | 115,300 |
| Overall Pressure Ratio at Max Power          | 40     | 42      |

**CUADRO 3.** Elaboración propia GE90 comparación de motores – 2023

- **ROLLS ROYCE TRENT XWB**

Turborreactor para Avión de Línea Trent XWB



**IMAGEN 12. MOTOR ROLLS ROYCE TRENT XWB - 2023**

Ofrecer la mejor solución energética para la familia Airbus A350 mediante una combinación de diseño Trent de eficacia probada y un servicio posventa de primera clase.

- Aunque no tiene precedentes, el rendimiento del Trent XWB no es inesperado. Es la sexta generación de nuestra familia y ha evolucionado a partir de más de 70 millones de horas de experiencia de la familia Trent. El Trent XWB no solo ofrece una eficiencia líder en el mundo, sino que lo hace con una fiabilidad inigualable en el ala, al tiempo que proporciona a los clientes la versatilidad que desean para satisfacer sus necesidades operativas.
- Gracias a nuestro exclusivo diseño de tres ejes, a los materiales avanzados y a la última tecnología de sistemas de ventilación, el Trent XWB equilibra la eficiencia del combustible y los costes del ciclo de vida, al tiempo que ofrece un ahorro de peso y una aerodinámica mejorada.
- Con un 15% de ventaja en el consumo de combustible con respecto al motor Trent original, llega más lejos con menos combustible y ofrece un rendimiento y unos niveles de ruido sin precedentes.
- Un exclusivo diseño ligero de tres ejes proporciona una solución a medida optimizada para el A350 XWB.
- Diseño probado con más de 70 millones de horas de experiencia Trent incorporadas a la entrada en servicio.

- Ahorro del 15% en el peso del módulo y mejora de la eficiencia aerodinámica mediante el uso de la tecnología de compresores blíster.
- Un sistema de aire interno optimizado que reduce la demanda de aire del núcleo y el consumo de combustible.
- Una cámara de combustión de probada fiabilidad que también es más limpia que todos los objetivos de emisiones actuales y futuros.
- Niveles de rendimiento y ruido sin parangón en el mundo, con un coste operativo reducido gracias a las últimas tecnologías de sistemas de ventilación.
- El sistema de turbina de mayor eficiencia de todos los motores Trent es el programa de desarrollo más intenso/completo jamás emprendido por Rolls-Royce.
- *ROLLS ROYCE TRENT 1000 boeing 787 Dreamliner*

El Boeing 787 con motor Trent 1000 es un 20% más eficiente que el Boeing 767 al que reemplaza. El Trent 1000 está optimizado específicamente para impulsar la familia de aviones Boeing 787 Dreamliner. Se basa en la tecnología y la experiencia de cuatro generaciones anteriores de motores Trent.

### **3.10. Eficiencia de Combustible de por Vida**

Aprovechando la arquitectura y las tecnologías de las generaciones anteriores del motor Trent, el Trent 1000 ha sido diseñado y optimizado para impulsar la familia de aviones Boeing 787 Dreamliner.

El Boeing 787 Dreamliner con motor Trent 1000 es un 20% más eficiente que el avión Boeing 767 al que reemplaza. La arquitectura de tres ejes admite mejor los aviones "totalmente eléctricos" con un sistema de motor sin sangrado. ¿El resultado? Un ciclo operativo más estable.

El motor Trent 1000 tiene una serie de características para proteger contra la formación de hielo en el núcleo y un sistema ESS (estator de la sección del motor) calentado que brinda protección avanzada contra el hielo.

## Trent 1000 para la familia Boeing 787 Dreamliner



10:1

La relación de derivación más alta de cualquier motor Trent



20%

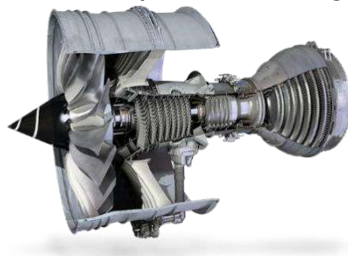
Más eficiente en combustible que el 767 que reemplaza el 787 con motor Trent 1000



99,9%

Fiabilidad de despacho desde EIS

*Diseñado y Optimizado para el Boeing 787 Dreamliner*



**Imagen 13.** Diseñado y optimizado para el Boeing 787 Dreamliner.

### 3.10.1. Tecnología

- Toma de corriente IP: Impulsa de manera eficiente los sistemas eléctricos de la aeronave al tiempo que mejora el manejo y la operatividad del motor a baja potencia.
- La arquitectura totalmente eléctrica del avión Boeing 787 requiere que no se extraiga aire de purga del motor, sino que se extraiga hasta 500 kW de potencia de cada motor para impulsar los sistemas del avión.
- La relación de derivación de 10:1 es la más alta de cualquier Trent.
- Característica clave que brinda eficiencia de combustible y reduce el ruido. Más del 85 % del empuje del motor lo genera el ventilador de 2,8 m de diámetro.
- La baja relación cubo: Punta maximiza el flujo de aire en un diámetro de ventilador dado y mejora la protección FOD para brindar una retención de rendimiento superior.
- Un sistema ESS (estator de la sección del motor) calentado brinda protección avanzada contra el hielo, lo que reduce la carga operativa en entornos fríos o con mucha humedad.
- El sistema de enfriamiento adaptativo HP reduce el consumo de combustible y ofrece una mejor retención del rendimiento del motor.
- Nueva turbina HP con sistema de enfriamiento avanzado para permitir más empuje y eficiencia.

#### 10 PRATT & WHITNEY PW4000

El Pratt & Whitney PW4000 es una familia de motores turbofán con un certificado de empuje de 52.000 a 99.040 lb f (230 a 441 kN). Construido como el sucesor de la serie de motores JT9D, encontró un mayor número de aplicaciones que su predecesor. El PW4000 fue el primer turbofán comercial de alta conducción diseñado con un sistema "Dual FADEC".

|                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| <b>Tipo</b>             | <u>Turbofán</u>        |
| <b>Fabricante</b>       | <u>pratt y whitney</u> |
| <b>Primer encendido</b> | 1980                   |

**Principales aplicaciones**    Airbus A300, Airbus A310, Airbus A330, Boeing 747-400  
Boeing 767, Boeing 777, McDonnell Douglas MD-11

Diseño y desarrollo

El PW4000 está dividido en tres familias distintas basadas en el diámetro del ventilador.

La primera familia es las 94 pulgadas (2,4 m) de diámetro de ventilador:

- Con empujes certificados de 52.000 a 62.000 lb f (230 a 275 kN).
- Motoriza a los Airbus A310 -300 y A300 -600 ya los Boeing 747-400, 767 -200/300 y MD-11
- Está certificado para operación ETOPS 180 minutos si es usado en aviones bimotor. Estos incluyen los modelos PW4052, PW4056, PW4060, PW4062, PW4062A, PW4152, PW4156A, PW4156, PW4158, PW4460, y PW4462.

La segunda familia es las 100 pulgadas (2,5 m) de diámetro de ventilador:

- Desarrollado específicamente para los aviones bimotor Airbus Industrie A330.
- Tiene certificados de empuje de 64.500 a 68.600 lb f (287 a 305 kN).
- Los modelos están numerados como PW4164, PW4168 y PW4168A.
- Empuje certificado a 70.000 lb f (311 kN,) reducirá el consumo de combustible en un 1%, y reducirá los costes de mantenimiento en un 15%.

La tercera familia es las 112 pulgadas (2,8 m) de diámetro de fan:

- Desarrollado específicamente para el Boeing 777 siendo además el motor de lanzamiento.
- Cuenta con empujes certificados de 86.760 a 99.040 lb f (386 a 441 kN).
- Los números de modelo son los PW4074, PW4077, PW4077D, PW4084, PW4084D, PW4090, y PW4098. Entró en servicio en junio de 1995 con United Airlines, y fue el primer motor a reacción en entrar en servicio con una certificación ETOPS de 180 minutos.
- Puede motorizar a todas las versiones del 777 excepto la 300ER y la 200LR.
- El PW4000 presenta materiales para una mejor economía de combustible y flexibilidad.

### *Aplicaciones*

- Airbus A300
- Airbus A310
- Airbus A330
- Boeing 747
- Boeing 767
- Boeing 777
- McDonnell Douglas MD-11

### *Especificaciones (PW4000-100)*

- tipo = Turbofán de doble fase y alta conducción.
- longitud = 163,1 pulgadas (4,14 m)
- diámetro = 100 pulgadas (2,54 m) (fan)
- compresor = Una etapa de fan, cinco etapas de compresor de baja presión, once etapas de compresor de alta presión.
- combustión = Anular
- turbina = turbina de dos etapas de alta presión, turbina de cinco etapas de baja presión.
- empuje = 64.000 - 70.000 lbf (284,7 - 311,4 kN)
- compresión = 32,0:1 - 35,4:1
- conducción = 5,0:1



**Imagen 14.** Motores PRATT & WHITNEY PW4000. 2024. Elaboración Propia Aeropuerto Internacional de Tocumen. Boing 747 Atlas Air.



## ROLLS ROYCE TRENT

- El Rolls Royce Trent es una familia de motores turbofán de alto índice de derivación fabricados por Rolls-Royce.
- Todos son desarrollos basados en el motor RB211 con una fuerza de empuje que varía entre los 236 y los 423 kN (53 000 a 95 000 lbf).
- Las distintas versiones del Trent están en servicio en los Airbus A330, A340, A380 y Boeing 777, y existen variantes en desarrollo para los nuevos 787 y A350. El Trent también ha sido adaptado para aplicaciones marítimas e industriales.
- Significativo, llegando a convertirse en el motor de pruebas para todas las variantes del 787, el A380 y el A350.
- Su cuota total en los segmentos de mercado en los que compite es de un 40 %.
- Las ventas de la familia de motores Trent han convertido a Rolls-Royce en el segundo mayor proveedor de grandes motores turbofán para aviación civil del mundo, tras el fabricante norteamericano General Electric.

### 3.10.2. Primeros Trent

El nombre Trent ha sido utilizado en dos motores anteriores de la Rolls-Royce, fue el primer motor turbohélice de la historia. El nombre fue reutilizado durante los '60 para el turbofán RB203, que fue creado para reemplazar el Rolls-Royce Spey. Fue el primer motor de tres ejes, precursor de la familia Rolls-Royce RB211. Tenía un empuje de 44,4 kN (9980 lbf).



*Imagen 15. Motor Primeros Trent - 2024*



### 3.10.3. Variantes

#### Trent 500

- Esta versión fue diseñada para su uso en aviones tipo A340 de la serie -500 y -600.
- Entró en servicio con la aerolínea Virgin Atlantic de Reino Unido en agosto del año 2002.
- Tiene más de 22 consumidores alrededor del mundo, el diámetro del fan es de: 2.47 m (97.4 pulgadas) y una capacidad de empuje de 56 000 lb.
- Algunos de sus principales operadores son: Iberia, Lufthansa, Qatar Airways, Singapore Airlines y Virgin Atlantic.

#### Trent 700

- Esta versión fue creada para el uso en aviones tipo Airbus A330, tanto de la serie -200 como -300. El motor fue certificado en enero de 1994 y entró en servicio en marzo de 1995 con la aerolínea Cathay Pacific de Hong Kong.
- El diámetro del fan es de: 2.47 m (97.4 pulgadas), tiene un empuje de hasta 72 000 lbf y ha registrado cerca de 8,5 millones de horas en servicio.
- De todos los A330 en servicio, el Trent 700 está presente en el 52% de las unidades. Algunos de sus principales operadores son: Air Canada, Avianca, Etihad Airways, Lufthansa y Singapore Airlines.

#### Variantes del Trent 700

| Motor         | Certificación      | Potencia                                                                                                  | Aeronaves que lo utilizan                            |
|---------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Trent 768-60  | Enero de 1994      | 67,500 lbf (300 kN) al despegue.                                                                          | Airbus A330-341.                                     |
| Trent 772-60  | Marzo de 1994      | 71,100 lbf (316 kN)                                                                                       | Airbus A330-342.                                     |
| Trent 772B-60 | Septiembre de 1997 | 71,100 lbf (316 kN)<br>Genera potencia a mayores de la variante 772B-60 por encima de los 2440m (8,000ft) | Airbus A330-243, Airbus A330-343 y Airbus A330-343X. |
| Trent 772C-60 | Septiembre de 1997 | 71,100 lbf (316 kN)<br>Genera potencia a mayores de la variante 772-60 cuando se                          | Airbus A330-243, Airbus A330-343 y Airbus A330-343X. |

|           |                                                          |                                                       |                         |
|-----------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------|
|           |                                                          | encuentra entre los 610 m (2,000ft) y 2440m (8,000ft) |                         |
| Trent 800 | Dos series: - 200/-300. Fue certificado en enero de 1995 | 75 000 a 95 000 lbf                                   | Aviones tipo Boeing 777 |
| Trent 900 | Noviembre de 2004                                        | 70 000 a 80 000 lbf                                   | Airbus A380             |

**CUADRO 4.** *Elaboración propia variantes del Trent 700 y sus especificaciones - 2023*

### *Trent 1000*

- El Trent 1000 fue el motor seleccionado en 2004 por Boeing para todas las variantes de su nuevo avión: el Boeing 787.
- Para ejecutar las respectivas pruebas se instaló un Trent 1000 en un Boeing 747 como motor N.º 2, durante un año y medio se llevaron a cabo diversas pruebas al motor como: despegues, aterrizajes y maniobras en vuelo, donde se completaron los 1000 ciclos requeridos para el proceso de certificación.
- En 2007 el motor fue certificado por la EASA y la FAA en una ceremonia celebrada en Derby, Reino Unido donde el fabricante tiene su planta principal.
- El Trent 1000 pesará 2000 kg menos que modelos similares, se distingue por su acabado «dentado» que fue diseñado para mezclar la corriente de aire frío y caliente lo cual contribuye a reducir el ruido y a dar una mayor potencia de empuje.
- Su primera entrada en servicio está prevista para 2010 con la aerolínea All Nippon Airways.

### *Trent XWB*

- El Rolls-Royce Trent XWB es un motor turbofán de alto baipás producido por Rolls-Royce plc.
- En julio de 2006, el Trent XWB fue seleccionado para propulsar en exclusiva al Airbus A350.
- El primer motor se encendió el 14 de junio de 2010, voló por primera vez en un Airbus A380 el 18 de febrero de 2012.
- Se certificó en febrero de 2013 y el 14 de junio de 2013 voló por primera vez en un Airbus A350.

- En septiembre de 2018 la flota de motores acumulaba 2,2 millones de horas de vuelo.
- Mantiene la característica disposición de tres ejes del Rolls-Royce Trent, con ventilador de 3,00 m (118 in).
- El motor de 375 a 431 kN (84 200 a 97 000 lbf) tiene una relación de derivación de 9,6:1 y una relación de presión de 50:1.
- Es el motor más poderoso de la familia Trent.
- Hasta el momento se tienen más de 500 pedidos de 29 diferentes consumidores, entre sus operadores estarán: Finnair, Qatar Airways y Singapore Airlines.



**Imagen 16.** Motores Variantes del Trent XWB - 2024

#### Las variantes del Trent XWB

| Modelo<br>máximo continuo | Certificado          | Índice de despegue neto | Neto                  |
|---------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|
| Trent XWB-75              | 7 de febrero de 2013 | 74,200 lbf (330 kN)     | 66,600 lbf (296 kN)   |
| Trent XWB-79              | 7 de febrero de 2013 | 78,900 lbf (351 kN)     | 71,400 lbf (318 kN)   |
| Trent XWB-79B             | 7 de febrero de 2013 | 78,900 lbf (351 kN)     | 71,400 lbf (318 kN)   |
| Trent XWB-84              | 7 de febrero de 2013 | 84,200 lbf (375 kN)     | 71,400 lbf (318 kN)   |
| Trent XWB-97              | 31 de agosto de 2017 | 97,000 lbf (430 kN)     | 83 100 lbf (369,6 kN) |

**CUADRO 5.** Elaboración propia variantes del Trent XWB - 2023

### **3.11. Soluciones para mejorar los motores de última generación en cuanto a combustible, ruido y eficiencia.**

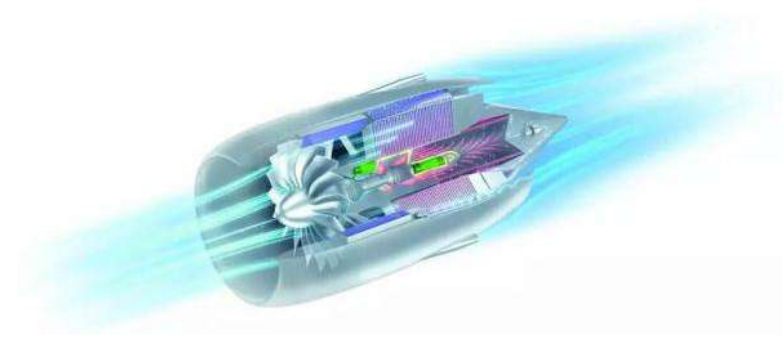
La industria aeronáutica se enfrenta a un futuro marcado por el desarrollo de aviones disruptivos para cumplir con los objetivos de reducción de emisiones contaminantes, manteniendo los niveles de operatividad y controlando los costes. Para alcanzar estos retos, las investigaciones actuales están centradas en la aplicación tecnológica en el diseño y fabricación de las aeronaves, en la implementación de nuevos materiales, en la digitalización, en el desarrollo de tecnologías de generación y en el almacenamiento y gestión de energía, junto con su integración en la estructura.

- *La eficiencia medioambiental:* reducción drástica de las emisiones (la aviación es actualmente responsable del 2% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>). Se trabaja para que las emisiones netas de carbono de la aviación sean en 2050 la mitad de lo que eran en 2005.
- *La eficiencia energética:* Reducción del consumo, factor principal del coste de operación de los aviones.
- *Multifuncionalidad de estructuras:* (Sonorización, amortiguación, tolerancia al daño, propiedades electromagnéticas, corrosión o la mejora de adhesión o el comportamiento a fatiga).

Un grupo de empresas de tecnología aeroespacial ha anunciado la formación de un consorcio colaborativo para desarrollar tecnología de turboventiladores híbridos, eléctricos y mejorados con agua para futuros sistemas de propulsión de aeronaves, con el apoyo de la Empresa Conjunta de Aviación Limpia de la Unión Europea (Clean Aviation).

MTU Aero Engines AG (MTU), Pratt & Whitney, Collins Aerospace (Collins), GKN Aerospace, Airbus, entre otras empresas, tienen como objetivo demostrar el potencial de estas tecnologías para mejorar la eficiencia del combustible y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de los aviones hasta en un 25% en comparación con las emisiones actuales. Se trata de sistemas de propulsión de última generación para aeronaves de corto y mediano alcance.

En concreto, el proyecto turboventilador de inyección de agua sostenible que comprende electricidad híbrida (SWITCH) se centra en el desarrollo de un nuevo concepto de propulsión construido a partir de dos tecnologías revolucionarias y sinérgicas: turboventilador mejorado con agua (WET) y propulsión eléctrica híbrida. Al combinar estas tecnologías con la arquitectura del motor GTF TM de Pratt & Whitney, el concepto SWITCH tiene como objetivo mejorar significativamente la eficiencia y reducir sustancialmente las emisiones en todo el entorno operativo de una aeronave. Las tecnologías desarrolladas como parte de SWITCH serán totalmente compatibles con combustibles alternativos más limpios, como el combustible de aviación sostenible (SAF), y se evaluarán para su uso futuro con hidrógeno.



**Imagen 17.** Turboventilador de inyección de agua sostenible que Comprende Electricidad Híbrida (SWITCH)

2024

### **3.11.1. Motores de pistón, turbohélices y motores de aviación recíproca**

Un motor aeronáutico o motor de aviación, es el que se utiliza para la propulsión de aeronaves mediante la generación de una fuerza de empuje.



**Imagen 18.** *Elaboración propia aeronave Sesna. Aeropuerto Marcos A Gelabert - 2024.*



**Imagen 19.** *Elaboración propia aeronave Sesna. Aeropuerto Marcos A Gelabert – 2024*

- **Motores Recíprocos o de Pistón**

Estos tienen una gran aplicación en la industria aeronáutica son utilizados en aviones pequeños los cuales no requieren un mayor uso de potencia y son ideales para vuelos a bajas alturas.





*Imagen 20. Elaboración propia Aeropuerto Marcos A Gelabert – 2024*

### 3.11.2. Tipos de motores recíprocos y cómo se conforman

Horizontales, en línea, en V, radial.

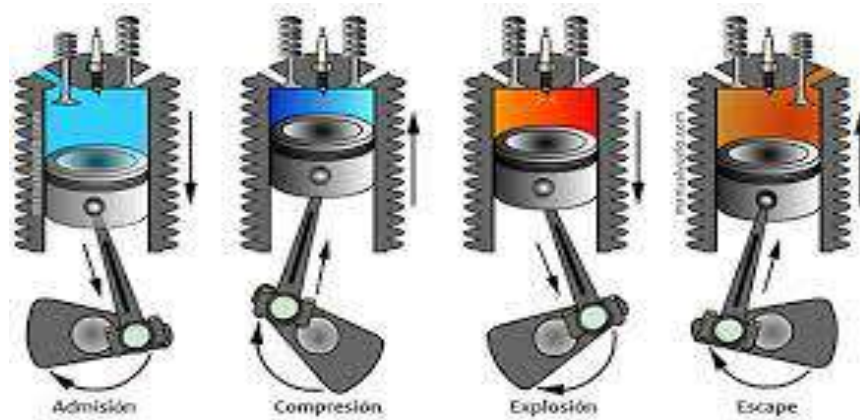
Cigüeñal, biela, pistón, cilindro, culata.



*Imagen 21. Tipos de motores para aviación recíproca estándares - 2024*

- *Tiempo de un motor recíproco*

Admisión, compresión, combustión, escape.



*Imagen 22. Tiempos de funcionamiento de los motores convencionales o recíprocos - 2024*

### 3.12. Aplicación o funcionamiento de los motores recíprocos

En la fase de admisión, la válvula de admisión se abre y el pistón se desliza hacia abajo en el cilindro aspirando la mezcla de combustible y aire. La válvula de admisión se cierra al final de la carrera de admisión y el pistón se mueve hacia arriba del cilindro comprimiendo la mezcla.

Al aproximarse el pistón a la parte superior del cilindro en la carrera de compresión, se enciende la bujía y la mezcla se inflama. Los gases de la combustión se calientan y expansionan con gran rapidez lo que aumenta la presión en el cilindro forzando al pistón de nuevo a bajar en lo que se denomina carrera de expansión o motriz. La válvula de escape se abre y forzada los gases por la subida del pistón pasan a través de ella para salir del cilindro.

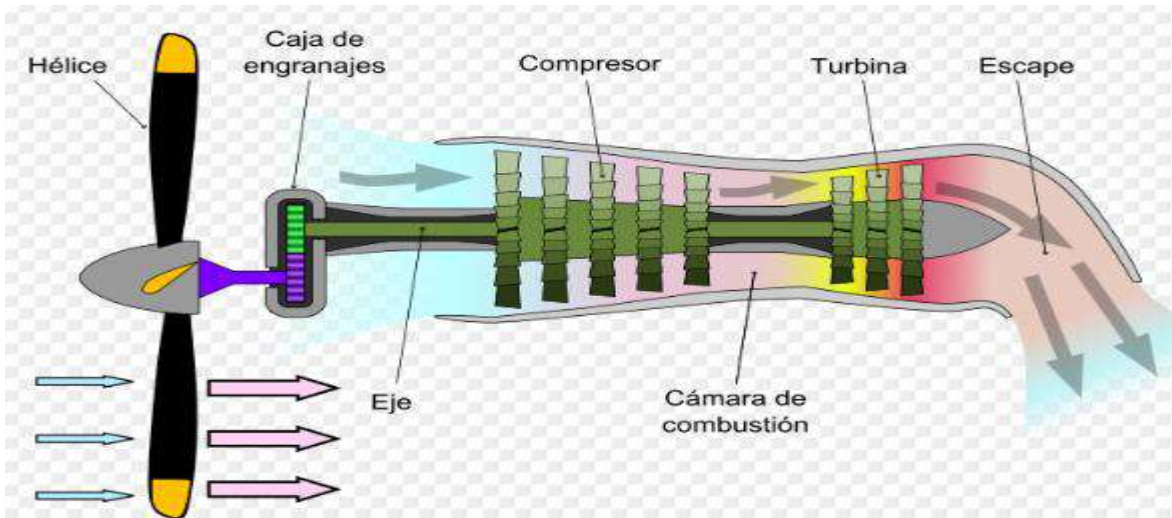
La mayoría de los motores recíprocos aeronáuticos están refrigerados por aire, esta particularidad evita cargar con él, pero de un radiador y del refrigerante para así evitar una avería en el sistema de refrigeración.

Como los motores de aviación funcionan en diferentes altitudes, el piloto dispone de un control manual de la mezcla, control que utiliza para ajustar la proporción adecuada de aire y combustible de entrada a los cilindros.



*Imagen 23. Elaboración propia aeropuerto Marcos A Gelabert. Aeronave FOKER 50 – AIR PANAMA turbopropulsores Pratt & Whitney Canadá PW125B o PW127B - 2024*





**Imagen 24.** Turbopropulsores Pratt & Whitney Canada PW125B o PW127B de Foker-50 - 2024



**Imagen 25.** Elaboración propia aeropuerto Marcos A Gelabert. Aeronave Cessna vi Motor turbo cargado de 6 cilindros -2024



**Imagen 26.** Elaboración propia Aeropuerto Marcos A Gelabert. Aeronave Cessna vi Motor turbo cargado de 6 cilindros. Combustible 100 OCTANOS - 2024



**Imagen 27.** Elaboración propia Aeropuerto Marcos A Gelabert. Aeronave JET Motor Turbina. Combustible JET A. 100 octanos - 2024





**Imagen 28.** *Elaboración propia Aeropuerto Marcos A Gelabert. Aeronave - 2024*

**CAPÍTULO IV. FUNDAMENTOS DEL SAF  
COMBUSTIBLE ALTERNO PARA AVIACIÓN  
CON MOTORES A REACCIÓN**

## CAPÍTULO IV. FUNDAMENTOS DEL SAF COMBUSTIBLE ALTERNO PARA AVIACIÓN CON MOTORES A REACCIÓN

### 4.1. SAF (Sustainable Aviation Fuel)

Es un combustible producido a partir de fuentes de combustibles no fósiles que pueden resultar en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) más bajas que el combustible pesado convencional en base al ciclo de vida. Al ser un combustible directo completamente certificado, su mezcla de combustible pesado convencional será según los estándares de la industria. El SAF es compatible con la infraestructura actual. Debido a que su uso, en lugar de combustible convencional en aviones, tiene el potencial de reducir las emisiones de GEI en su ciclo vital y no requiere ninguna modificación en la infraestructura o la aeronave, porque puede ser crucial para descarbonizar la aviación.

#### 4.1.1. Importancia del SAF

Tiene un papel importante en un plan de 10 años y en el camino hacia la neutralidad de carbono para 2050. Pero para el 2030, se planea reemplazar el 10% del consumo total de combustible por SAF.



*Imagen 29. ¿Cómo funciona el SAF materia prima, transformación y uso? 2024*

#### **4.1.2. Funcionamiento del SAF**

*Se recolecta la materia prima.*

Hay diferentes tipos de materias primas, que incluyen:

- Grasas y aceites (FOG, por sus siglas en inglés), que pueden provenir del aceite de cocina y la grasa usados, cultivos energéticos o de cobertura como madera de sauce y pasto varilla y cultivos oleaginosos comestibles como el maíz.
- Biomasa, como residuos forestales y agrícolas y residuos sólidos municipales. Los ejemplos incluyen biomasa forestal residual y rastrojo de maíz.
- Carbono capturado directamente de la atmósfera, también conocido como captura directa de aire (DAC, por sus siglas en inglés), que no proviene de la biomasa. El combustible fabricado a través de un proceso que involucra energía renovable, carbono de DAC e hidrógeno verde generalmente se conoce como energía a líquido (PtL), combustible sintético (synfuel) y/o e-fuel.

*La Materia Prima se Convierte en SAF*

Existen varios procedimientos aprobados para convertir las materias primas en SAF, que incluyen:

- Los ésteres hidroprocesados y ácidos grasos (HEFA) convierten los FOG en combustible para aviones.
- El proceso "Alcohol-to-Jet (ATJ)" convierte el etanol o isobutanol fabricado a partir de biomasa en combustible para aviones.
- La gasificación/proceso Fischer-Tropsch (FT) convierte la biomasa en combustible para aviones. El FT también se puede usar para convertir el carbono de la DAC en combustible para aviones (PtL, synfuel o e-fuel).

*La Mezcla del SAF con Combustible Convencional para Aviones*

La mezcla del SAF debe estar certificada por los estándares de la Sociedad Estadounidense para pruebas y materiales (Estándar D1655 de la ASTM), que la Administración Federal de Aviación (FAA) ha considerado aceptable para su uso en aeronaves, y es el mismo estándar del combustible convencional para aviones.

### *La mezcla de SAF se Entrega en el Aeropuerto*

La mezcla de SAF ingresa en el suministro de combustible del aeropuerto, lo que significa que cualquier avión que cargue combustible en el aeropuerto podrá utilizarla. Por esta razón, no es posible vincular el SAF a un vuelo específico.



*imagen 30. Objetivos del FLIGHT PLAN GREEN 2024*

#### **4.1.3. Descarburar vuelo a vuelo**

- Hagamos que la industria de la aviación sea más limpia y ecológica. Y comencemos ahora. Porque no hay tiempo para esperar: cada retraso de hoy tendrá consecuencias más adelante, para el mundo y para tu negocio.
- El combustible de aviación sostenible (SAF) ya no es solo una idea de personas inteligentes en batas de laboratorio. Es imprescindible para viajes bajos en carbono. Los actores de la industria, los pasajeros y el planeta se beneficiarán de la tecnología.

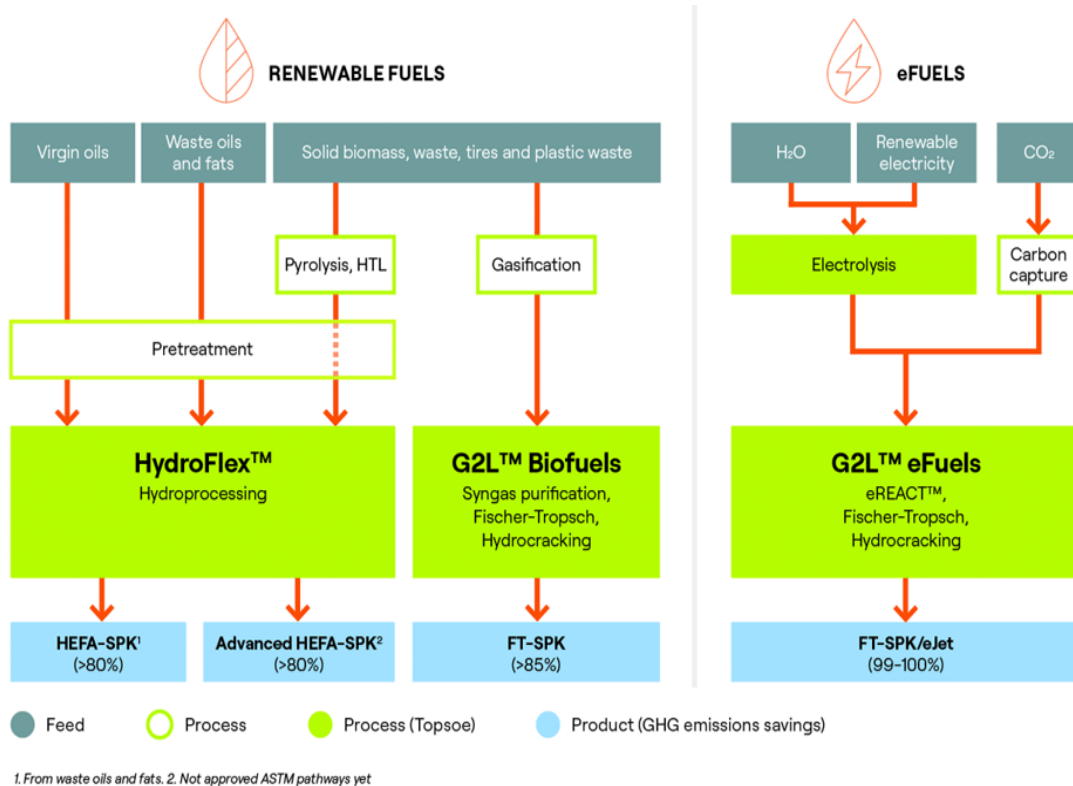
#### **4.1.4. Minimizar las emisiones, maximiza las oportunidades**

- SAF es combustible de aviación sostenible mezclado con queroseno de origen fósil en Jet A1 y utilizado como combustible para aviones.
- El CO<sub>2</sub> emitido por los combustibles fósiles convencionales se suma al CO<sub>2</sub> ya presente en la atmósfera, mientras que el CO<sub>2</sub> de fuentes renovables se recicla.
- La iniciativa Flight Plan Green está diseñada para ayudar a las empresas a encontrar formas de avanzar con bajas emisiones de carbono. Con

flexibilidad de materias primas y una gama de tecnologías que se adaptan a sus necesidades.

#### 4.1.5. Las rutas a SAF

Mientras se habla de los combustibles de aviación sostenibles como el camino más prometedor hacia la descarbonización. Hay rutas aprobadas a SAF, pero en Topsoe, hemos identificado las rutas principales que consideramos comercialmente más avanzadas.



**Imagen 31.** Primera ruta SAF del Plan Flyht Green con uso de aceites - 2024

#### 4.1.6. Conocimiento Especial: SAF TALKS TM

El combustible de aviación sostenible (SAF) es reconocido como la solución más importante actualmente disponible para la industria de la aviación, ya que busca reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub> y reducir su impacto en el medio ambiente. SAF es actualmente la única alternativa sostenible al combustible para aviones convencionales, pero hoy por hoy, se proporciona solo entre el 0,1 y el 0,15 % del uso mundial de combustible para aviones.



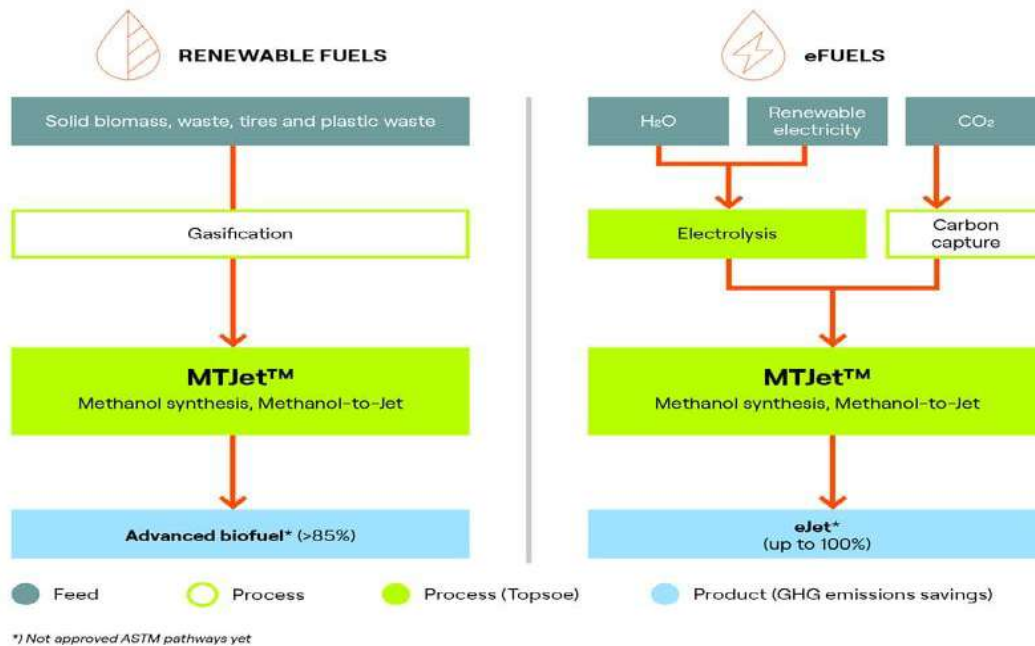
## **4.2. Tipos de SAF Implementados en la industria aeronáutica, actualmente, Tecnología Mtjet™. Flexible de metanol a combustible para aviones.**

Con el despegue de los combustibles de aviación sostenibles (SAF), los productores necesitan un camino sólido, La solución MTJet™ ofrece precisamente el uso del metanol como intermediario para la síntesis de combustible para aviones permite a los productores manejar y capitalizar una gama dinámica de situaciones y materias primas.

### **4.2.1. El Camino del Proceso MTJet™**

La tecnología MTJet™ es la síntesis de metanol y los procesos de conversión de gas en gasolina ricos en metano: TIGAS™. El resultado es una solución de metanol a jet que puede entregar combustible e-Jet a partir de electricidad renovable, agua y CO<sub>2</sub> o biocombustible avanzado a partir de materias primas de biomasa sólida. Existen varios combustibles sostenibles que se clasifican dependiendo de la materia prima que se utiliza para su producción. Como lo son los

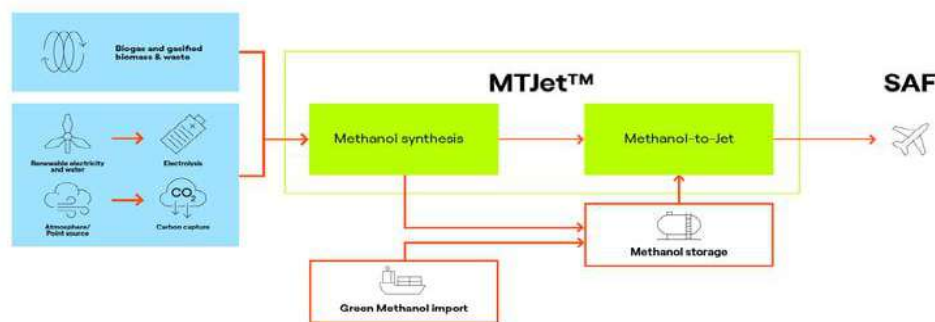
- óleos químicos y lipídicas, convertir materias primas como aceites vegetales, grasa animal o aceite de cocina usado y realizar una mezcla directa con combustible fósil convencional.
- Los bioquímicos: Mediante procesos biológicos (fermentación, hidrólisis enzimática) y los de
- vías termoquímicas, convirtiendo materias primas como la madera, cultivos energéticos, algunos residuos sólidos municipales y residuos de agricultura en queroseno parafínico sintético.



**Imagen 32.** Primera ruta SAF del Plan Flyht Green con uso de biomazas sólidas - 2024

#### 4.2.2. MTJet™ - Operación Dinámica. Producción Estable

La utilización de alta capacidad en el back-end se atribuye al proceso de síntesis de metanol de TOPSOE™, que puede operar al 10 % de su capacidad de diseño y manejar el apagado temporal del electrolizador. Permitir que las operaciones funcionen directamente desde los tanques de almacenamiento de metanol.



**Imagen 33.** Primera ruta SAF del Plan Flyht Green con uso de metanoles - 2024

#### **4.2.3. Beneficios de un solo Punto**

- Amplia experiencia en síntesis de metanol y gasolina.
- Historial comprobado de tecnologías integradas dentro de grandes plantas comercializadas.
- Un proceso de concesión de licencias respaldado por IP, patentes y tecnología patentada y catalizadores.
- Representantes confiables de tecnología y servicio.

#### **4.3. Solución G2L TM eFuels le permite producir Combustibles Sintéticos y Productos Químicos Sostenibles a partir de Hidrógeno Verde y CO<sub>2</sub>.**

Con la solución G2L TM eFuels, puede producir varios tipos de combustibles bajo demanda, y gran parte de la infraestructura, la certificación y la legislación necesarias ya están implementadas.

- *Produce la Salida Premium*

*Combustible E jet/e Kerosene:* Combustión limpia con bajas emisiones de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, material particulado y formación reducida de estelas.

*E Nafta:* Materia prima premium para crackers que no contiene metales ni compuestos aromáticos utilizada como materia prima sostenible en la industria química.

- *Solución de Extremo a extremo*

El uso de nuestra licencia de Punto Único que brinda los siguientes beneficios:

Diseño totalmente integrado. La solución G2L TM eFuels ofrece una licencia única para construir y operar una planta de producción de combustibles completamente integrada, Optimiza la ejecución, aumenta la eficiencia energética y garantiza una producción confiable con una solución integrada.

- *Proceso G2L™ eFuels: una Solución Integrada*

Con la solución G2L TM eFuels, se combinan con tecnologías innovadoras para producir combustibles líquidos sostenibles: a partir de energías renovables a través del hidrógeno verde y de CO<sub>2</sub> a través de la captura de carbono.

## ¿Cómo Funciona la Solución G2L™ eFuels?

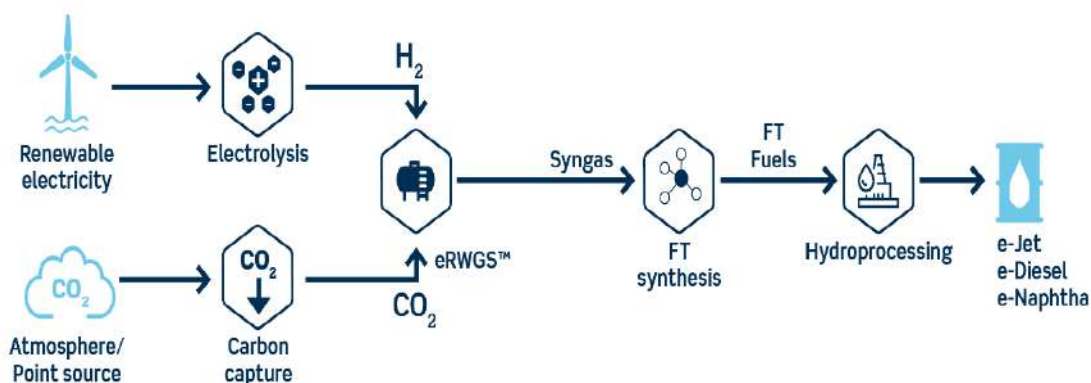


Imagen 34. Funcionamiento de Tecnología Solución G2L™ eFuels - 2024

### 4.4. Tecnología de Combustibles TOPSOE™ eREACT™: CO<sub>2</sub> e Hidrógeno a Gas de Síntesis

Durante años, la tecnología TOPSOE™ SynCOR™ ha sido la opción confiable y óptima para las plantas de conversión de gas a líquido que utilizan gas natural como materia prima. Esta tecnología está adaptada para convertir CO<sub>2</sub> e hidrógeno a través del proceso RWGS (Reverse Water Gas Shift) en dos pasos. Es un proceso totalmente comercializado que da altas tasas de conversión.

Con la novedosa tecnología eREACT™ Fuels, el proceso se electrifica aún más, lo que significa que se puede producir gas de síntesis a partir de energía renovable, agua y CO<sub>2</sub> en un reactor muy compacto, lo que proporciona:

- Altas tasas de conversión y calidad de gas de síntesis
- Alta eficiencia global de carbono +95%
- Bajo consumo de hidrógeno
- Eliminación de gases de combustión

### 4.5. Combustibles alternativos emergentes y a nivel comercial, una solución a la descarbonización

- Biobutanol Biomasa: Cultivos dulces.
- Biocombustibles compatibles: Reemplazan combustibles convencionales sin modificar el motor.
- Metanol: Alcohol de madera, mejor usado como intermedio.
- Series P (Pentano): Mezclas líquidas de gas natural, Pentano.

- Metano renovable: (CH<sub>4</sub>) Biogás acondicionado, para elevar la densidad energética.
- Combustibles F-T: Obtención de combustibles sintéticos líquidos tipo Diésel.

#### **4.6. Estrategias SAF que las aerolíneas están tomando para unirse a la descarbonización y las emisiones para depurar el calentamiento global.**

El Plan de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA) de la OACI supervisará la integridad de los programas climáticos que respaldan las compras de compensación de carbono para garantizar que sean eficaces y sostenibles. Se espera que genere un crecimiento neutral en carbono en los vuelos internacionales a partir del próximo año y que recaude aproximadamente \$40 mil millones en financiamiento para programas climáticos.

Los combustibles de aviación sostenibles (SAF) podrían contribuir a reducciones significativas, al menos un 70%, en las emisiones de carbono para respaldar el crecimiento.

Si bien las entregas de nuevos aviones seguirán ofreciendo ganancias, IATA informa que, “después de 2035, es probable que el potencial para mejorar aún más la economía de combustible en un avión de tubo y ala sea limitado. Se espera que las tecnologías nuevas y revolucionarias de fuselaje y sistemas de propulsión tengan lugar después de 2035”.

La propulsión eléctrica reduciría las emisiones por completo, pero escalar la propulsión eléctrica a aviones más grandes (100-150 asientos) será un desafío de ingeniería y es poco probable que suceda antes de 2035.

Otra estrategia es eliminar las ineficiencias en las operaciones de las aerolíneas a través de rutas de vuelo optimizadas y una gestión del tráfico aéreo más eficiente que evite demoras y rutas tortuosas. Esto choca con la política, especialmente en Europa, donde la iniciativa SES (Single European Skies) no ha progresado como estaba previsto. Los aviones conectados también tienen el potencial de contribuir con el medioambiente, ahorrando combustible al optimizar las rutas de vuelo.

- Durante los IATA Media Days, Airbus hizo una presentación convincente para la recuperación de energía de la estela “fello' fly”, inspirada en los patrones de migración de las aves, que ayudaría a las aeronaves a seguir el camino

de otras aeronaves en rutas de larga distancia. Optimizaría la automatización de la asistencia al piloto y los datos de control de tráfico aéreo para garantizar que las aeronaves permanezcan seguras en la corriente ascendente de aire de la aeronave que siguen. Esta estrategia podría ofrecer un ahorro de combustible del 5 al 10 % por vuelo de larga distancia.

- Airbus está colaborando con aerolíneas y proveedores de ATC para desarrollar un programa de demostración para el concepto y comenzará las pruebas de vuelo en dos aviones Airbus A350 en 2020. También durante el evento para los medios, IAG compartió detalles de su programa Flightpath NetZero, que implica un enfoque holístico para la reducción de CO<sub>2</sub>. Eso incluye la inversión directa del propio grupo de aerolíneas de \$ 400 millones durante 20 años para el desarrollo de combustibles de aviación sostenibles.
- British Airways es socio de la primera planta comercial en Europa para convertir los desechos domésticos en combustible para aviones. Convertirá 500.000 toneladas de residuos no reciclables que, de lo contrario, irían al vertedero en más de 40.000 toneladas de combustible sostenible para aviones al año.

#### **4.7. Logros medioambientales de las empresas productoras de aeronaves**

- Airbus ha firmado el plan Flightpath 2050, un plan de la industria aeronáutica para reducir el ruido y las emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> de los aviones.
- Airbus fue la primera empresa aeroespacial que logró el certificado ISO 14001, (tiene el propósito de apoyar la aplicación de un plan de manejo ambiental en cualquier organización del sector público o privado.) en enero de 2007. Este certificado se otorga tras haber evaluado a toda la empresa, no solo a los aviones que produce.
- ( <https://www.fao.org/4/ad818s/ad818s08.htm> ).

#### **Biocombustible Airbus**

- Airbus se ha unido con Honeywell y con JetBlue para reducir la polución y la dependencia del petróleo. Están intentando desarrollar un biocombustible (biofuel) que podría usarse en torno a 2030.

- Las compañías se han propuesto abastecer a un tercio de los aviones del mundo sin afectar a los recursos alimenticios. Las algas se consideran como una posible fuente de energía alternativa porque absorben dióxido de carbono durante su crecimiento y porque su uso no afectaría a la producción de alimentos.
- Sin embargo, los combustibles realizados a base de algas o a base de otra vegetación siguen siendo experimentales, y el combustible a base de algas es caro de desarrollar.
- Airbus ha hecho funcionar recientemente el primer motor que usa un combustible con un 60% de queroseno y un 40% de gas natural. Esto no acaba con las emisiones de carbono, pero carece de emisiones de azufre. El combustible alternativo puede funcionar adecuadamente en los motores de los aviones Airbus, lo que lo convierte en un combustible alternativo que no requiere nuevos motores de avión.

#### *Boeing Biocombustibles*

Boeing ha calculado que los biocombustibles podrían reducir las emisiones de gases efecto invernadero durante el vuelo de un 60% a un 80%. La solución podría mezclar combustible realizado a base de algas con el combustible de jet ya existente.

Los ejecutivos de Boeing dijeron que la compañía estaba colaborando finalmente con la empresa brasileña líder en biocombustibles Tec-bio, con la neozelandesa Aquaflow Bionomic y con otras empresas desarrolladoras de combustibles en todo el mundo. De hecho, Boeing ha probado seis combustibles de estas compañías, y probablemente probará otros 20 porque, según dicen, "actualmente estamos evaluándolos". Boeing también se unió con otras empresas de la aviación a la Organización de la Biomasa de Algas (Algal Biomass Organization, ABO) en junio de 2008.

#### Las empresas Air New Zealand y Boeing

Están investigando la planta jatropha para ver si es una alternativa al combustible convencional. El 30 de diciembre de 2008 se realizó con éxito una prueba de vuelo de dos horas usando una mezcla al 50% del nuevo biocombustible con el

combustible de jet A-1 con un motor de Rolls Royce RB-211 en el Boeing 747–400 ZK-NBS. Posteriormente, se retiró el motor para ser estudiado para identificar las diferencias entre la mezcla de jatropa y el combustible habitual jet A1. No se descubrieron efectos en su funcionamiento.

#### **4.8. Sostenibilidad Ambiental en Copa Airlines**

De acuerdo con las políticas de Sostenibilidad Ambiental se establecen los lineamientos y definen la ruta para mantener nuestras operaciones bajo un enfoque de conservación ambiental, equilibrando el crecimiento operacional de forma sostenible, procurando la preservación de los recursos naturales y nuestro compromiso con el cumplimiento de nuestros valores, políticas y normas, en el proceso de toma de decisiones y ejecución de nuestras tareas diarias.

Con este propósito, hemos creado el Comité de Sostenibilidad Ambiental liderado por el Comité Estratégico de Copa y compuesto por todas las áreas de la Empresa encargadas de la gestión operativa, administrativa, financiera, contratos y negociaciones, así como de la experiencia de nuestros clientes y colaboradores. Hemos creado comisiones de trabajo y proponemos a la alta gerencia los proyectos, ajustes o alianzas más favorecedores en términos ambientales.

- *Impacto que tenemos hacia el medio ambiente*

Desde el sector en el que nos encontramos, a lo que nos comprometimos con la meta de Carbono Cero para 2050, establecida por la IATA. Esta meta implica una reducción significativa en nuestro impacto ambiental y una contribución activa contra el cambio climático. Hemos establecido nuestra Política de Sostenibilidad Ambiental y de Gobernanza, respaldada por una meta específica a mediano plazo: reducir en un 13% las emisiones de CO2 por asiento-kilómetro ofrecido para el año 2026. Para lograr esta meta, hemos tomado medidas concretas como la incorporación de aviones de última generación, incluyendo los nuevos modelos Boeing 737 MAX. Esto ha resultado en una mejora significativa en la eficiencia del consumo de combustible y en la reducción de emisiones.

Alineados a esta política contamos con un plan estratégico con objetivos a corto, mediano y largo plazo en cuatro pilares fundamentales



Adicionalmente, el Programa de Manejo y Adecuación Ambiental (PAMA) se implementa en todas nuestras instalaciones en Panamá, incluyendo el centro de mantenimiento, las instalaciones de apoyo en el Aeropuerto Internacional Tocumen, las oficinas administrativas en Costa del Este y el centro de capacitación en Ciudad del Saber/Clayton. La aprobación de este programa por parte de la Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá en 2013 (ahora denominada Ministerio del Ambiente) nos ha permitido llevar a cabo acciones como el reciclaje, el uso eficiente de recursos naturales y la disposición adecuada de aguas residuales no tratadas utilizadas para el mantenimiento de aeronaves, entre otros. Bajo este compromiso, informamos anualmente el monitoreo y seguimiento ambiental mediante el informe final del PAMA del Aeropuerto Internacional Copa Tocumen al Ministerio del Ambiente. Durante el 2022, dimos un paso importante hacia un futuro más sostenible, al llevar a cabo un vuelo de demostración en colaboración con Boeing, buscando promover el uso de combustibles sostenibles de aviación. Además, implementamos diversas iniciativas, como el aprovechamiento de energía solar y la reducción de plásticos a bordo, adicional continuamos con nuestro programa de reciclaje para disminuir la cantidad de residuos generados en vuelo. Reconocemos que el camino aún es largo y sabemos que, para alcanzar los objetivos ambientales, es fundamental contar con el compromiso y la colaboración de gobiernos, reguladores, fabricantes y proveedores de la industria. Trabajar en conjunto nos permitirá acceder a combustibles sostenibles de aviación (SAF), mejoras en la eficiencia en el manejo del espacio aéreo y nuevas tecnologías de aviación. Igualmente, buscamos complementar nuestros esfuerzos con proyectos de compensación de carbono de alta calidad para lograr la neutralidad en nuestras emisiones.

En nuestro camino hacia nuestros objetivos, en 2024 continuaremos con:

- El Plan de remplazo de tractores y equipos de soporte para aeronaves y equipaje con vehículos eléctricos.
- El lanzamiento del programa de compensación de CO2 en [www.copaair.com](http://www.copaair.com)
- La implementación de paneles solares (fase 2 en Hangar y Setracasa).
- La definición de estrategia de combustibles SAF.

La eliminación de un alto porcentaje de plásticos de un solo uso en nuestros vuelos.  
El análisis de riesgos ASG.

- *Políticas*

Se está marcando el camino hacia el Carbono Cero para el 2050, reduciendo nuestra huella de carbono y sus efectos sobre el cambio climático.

Con este objetivo, hemos desarrollado un plan a corto, mediano y largo plazo con acciones enfocadas en 4 pilares fundamentales:

- Eficiencia en el uso de combustible y flota: renovación de nuestra flota, iniciativas de eficiencia operacional en nuestras operaciones aéreas, nuevas tecnologías en nuestras aeronaves, electrificación de equipo de tierra (GSE), entre otras acciones.
- Desarrollo y uso de SAF (Sustainable Aviation Fuel): apoyo en el desarrollo de políticas que estimulen la producción y el uso de SAF.
- Gestión eficiente de residuos: reemplazo de productos de plástico de un solo uso a bordo de las aeronaves, implementación de procesos amigables con el medio ambiente y reciclaje de productos en toda la empresa.

Compensación, uso adecuado del agua y energías renovables: uso de energías renovables, proyectos de compensación de emisiones de carbono y utilización de tecnologías neutrales de carbono.

- *Reporte Sostenibilidad 2022*

Redujimos aproximadamente en un 15% el consumo de energía de fuentes fósiles en nuestro hangar gracias a la colocación y uso de paneles solares.

- Hemos logrado reducir un 8% de nuestras emisiones gracias a nuestro plan de renovación de flota con aeronaves Boeing 737 Max.
- Para demostrar la eficacia y viabilidad de las iniciativas sostenibles, durante 2022 utilizamos 39,000 libras (aproximadamente 17,690 kilos) de SAF en un vuelo comercial de demostración entre Los Ángeles y Panamá.
- Adquirimos 10 tractores de equipaje eléctricos para GSE, lo que resultó en una reducción de 157 toneladas de emisiones de CO2.
- Evitamos la emisión de 153 toneladas de CO2 gracias al uso de energía solar. Hemos gestionado adecuadamente un total de 24,570 kilogramos de

residuos químicos provenientes de las operaciones de Mantenimiento de Aeronaves.

- El tratamiento del agua captada nos permitió recuperar 348,703 galones de agua que fueron devueltos a la naturaleza.
- Redujimos el consumo de plástico de un solo uso a bordo en 2.6 millones de unidades.

#### **4.9. Emisiones de carbono de la industria de las aerolíneas y su impacto en el cambio climático**

Se han convertido en un foco particular para la comunidad internacional. Con esta preocupación en mente, hemos implementado diversas iniciativas para mitigar nuestra huella de carbono y reducir las emisiones:

- Reducción en el porcentaje de uso de la unidad de energía auxiliar de las aeronaves.
- Optimización del plan de vuelo para maximizar la eficiencia en el consumo de combustible (Flight Plan Manager).
- Incorporación de tecnologías de última generación a nuestra flota que contribuyan a la reducción de emisiones.
- implementación del plan de acción de renovación de flota, incorporando aeronaves con menor consumo de combustible y menores emisiones de carbono.
- Adquisición de vehículos eléctricos de soporte en tierra.
- En 2022 iniciamos las iniciativas para la reducción de plásticos de un solo uso a bordo de nuestras aeronaves, remplazándolos por productos biodegradables.
- Vuelo de demostración con uso de SAF.
- Incremento del uso de energía solar en 50 KWH por mes, siendo 600 KWH al año.
- Reducción de peso en componentes y catering, así como la utilización de Electronic Flight Bags que ayudan a reducir el consumo de combustible en vuelo.



**Imagen 35:** Adquisición de vehículos eléctricos de soporte en tierra.2024

#### *Compromiso con la sostenibilidad mediante las acciones*

- Cumplimiento regulatorio ambiental.
- Gobernanza de Sostenibilidad Ambiental al más alto nivel de la organización, que establece la estrategia a corto, mediano y largo plazo.
- Inversión y mejoras tecnológicas en aeronaves, equipos y procesos operativos.
- Enfoque preventivo que favorezca la conservación del ambiente y asegure la preservación de los recursos naturales: la flora y fauna silvestre.
- Medición y auditorías de desempeño y prácticas del Sistema de Gestión Ambiental y reportes de sostenibilidad ambiental, social y gubernamental (ESG) con los más altos estándares establecidos en nuestros manuales y políticas.
- Comprometernos con las partes interesadas externas para discutir soluciones comercialmente viables a los problemas ambientales.
- Cultura organizacional con compromiso ambiental e informes regulares sobre nuestro desempeño.



**Imagen 36.** Cultura Ambiental de parte de la Aerolínea Nacional COPA AIRLINES – 2023

Para lograr nuestros objetivos se requiere compromiso y alineación con gobiernos, reguladores y proveedores de la industria, en términos del acceso, suministro y disponibilidad de combustibles sostenibles de aviación.

(SAF), inversión en nuevas tecnologías de aviación, manejo eficiente del espacio aéreo, acompañados de proyectos de compensación de carbono de alta calidad que nos permitan lograr la neutralidad de carbono cero para 2050.



**Imagen 37.** Bio-Fuel y Rutas de Copa Airlines - 2024



### *Eficiencia de Combustible e Implementación de Iniciativas en busca de Reducción del CO<sub>2</sub>*

- Constante modernización de la flota con el Sistema de Navegación RNAV (Navegación Satelital).
- Política y monitoreo para la reducción del uso del APU en estaciones y en el HUB.
- Optimización de los planes de vuelo.
- Reducción en el tiempo de las aeronaves con los motores encendidos en tierra, antes de la señal de partida.
- Implementación de aeropuertos alternos preferidos.
- Adquisición de nuevo sistema Flight Plan Manager (FPM).
- Política de Single Engine Taxing (SET).
- Control de Ground Speed Indicator (GSI).
- Reemplazo de alfombrado de cabinas por material más ligero.
- Reducción de peso en el abastecimiento a bordo.
- Programa de lavado y pulido del fuselaje de las aeronaves.
- Programa de lavado frecuente de motores.
- Promovemos mantener las ventanas cerradas después del aterrizaje para mantener la aclimatación de la cabina con menos uso de energía.

#### **Consumo energético**

| CONSUMO DE COMBUSTIBLES                |         |               |                |                |
|----------------------------------------|---------|---------------|----------------|----------------|
|                                        |         | 2020          | 2021           | 2022           |
| Combustible de aviación Jet A & Jet A1 | Galones | 91,531,706    | 174,543,039    | 288,873,731    |
| Gasolina                               | Galones | 12,086.84     | 12,854.15      | 28,153.47      |
| Diesel                                 | Galones | 213,779.83    | 462,047.38     | 415,422.36     |
| TOTAL                                  | Galones | 91,757,572.67 | 175,017,940.53 | 289,317,306.83 |
| TOTAL                                  | GJ      | 12,290,842.08 | 23,444,196.63  | 38,750,457.24  |

| CONSUMO DE ENERGÍA (kWh)                             |  |              |              |               |
|------------------------------------------------------|--|--------------|--------------|---------------|
|                                                      |  | 2020         | 2021         | 2022          |
| Energía Eléctrica (fuentes no renovables)            |  | 8,259,894.00 | 9,435,672.00 | 10,856,191.00 |
| Energía Eléctrica (fuentes renovables-energía solar) |  | 419,399.56   | 358,197.04   | 301,704.25    |
| TOTAL                                                |  | 8,679,293.56 | 9,793,869.04 | 11,157,895.25 |

**Imagen 38:** Reporte de consumo energético de Combustible periodo 2020-2022.-2024





**Imagen 39.** Sistemas de Navegación RNAV y uso de dispositivos de perfil alar para reducción de combustibles en ruta - 2024

Reporte de consumo de combustible de la flota Copa Airlines parámetros anuales.

A continuación, presentamos el detalle de las emisiones de GEI Alcance 1 y 2:

| EMISIONES DIRECTAS   ALCANCE 1   (tCO <sub>2</sub> eq)                  |              |              |               |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|---------------|
|                                                                         | 2019         | 2021         | 2022          |
| <b>Operación aérea</b><br>(Uso de combustible Jet A1)                   | 3,102,576.53 | 1,693,855.65 | 2,792,340.61  |
| <b>Operación terrestre</b><br>(Diésel y gasolina ATOs y Administración) | 5,836.37     | 4,878.10     | 4,525.76      |
| <b>TOTAL</b>                                                            | 3,108,412.90 | 1,698,733.75 | 2,796,866.37  |
| EMISIONES INDIRECTAS   ALCANCE 2   (tCO <sub>2</sub> eq)                |              |              |               |
|                                                                         | 2019         | 2021         | 2022          |
| <b>Uso de electricidad</b>                                              | 5,912.26     | 4,786.12     | 5,506.66      |
| TOTAL DE EMISIONES                                                      |              |              |               |
| UNIDAD                                                                  | 2019         | 2022         | VAR 19-22 (%) |
| tCO <sub>2</sub> eq                                                     | 3,114,325.15 | 2,802,373.03 | -10%          |



|                                                                                                                                     | 2019  | 2022  | VAR 19-22 (%) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|---------------|
| <b>Intensidad de emisiones<br/>(tonCO<sub>2</sub>eq/ASK*)</b>                                                                       | 77.06 | 71.28 | -8%           |
| * Kilómetros por asiento disponible (ASK)<br>ASM(2022) = 24,430<br>ASK (2022)= 39,316<br>ASM (2019) = 25,113<br>ASK (2019) = 40,415 |       |       |               |

**Imagen 40: Reporte de Emisiones de GEI.**

### *Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)*

- Política de compras de productos y materiales con el 80% de vida útil como mínimo.
- Programa de monitoreo de emisiones de gases en todos los equipos terrestres
- motorizados.
- Programa de reciclaje e implementación de 3R'S (Reducir, reciclar y reutilizar).
- Modificación del programa de mantenimiento preventivo de flota vehicular
- terrestre, aumentando la frecuencia de inspecciones.

**Evitamos la emisión de 153,04 tCO<sub>2</sub>  
gracias al uso de energía solar.**

| CONSUMO ENERGÉTICO (GJ) |               | INTENSIDAD*<br>ENERGÉTICA GJ/ASK | 2021     | 2022   | Var 19-22 (%) |
|-------------------------|---------------|----------------------------------|----------|--------|---------------|
| Electricidad            | 40,168.39     |                                  | 1,382.96 | 986.63 | -28%          |
| Combustibles            | 38,750,547.24 |                                  |          |        |               |
| TOTAL                   | 38,790,715.63 |                                  |          |        |               |

\* A comparación con lo reportado el año pasado hemos sacado la intensidad por ASK en lugar del número de vuelos operados. Por lo que se hace el cambio en 2021.

**Cuadro 6. Indicadores y acciones hacia carbono cero, plan Copa Airlines (2019-2020).**

#### 4.9.1. Energía más Sostenible

Gracias al uso de 1,152 paneles solares en nuestro Aeropuerto Internacional de Tocumen, en el 2020 Copa Airlines consumió un total de 419,399.56 KW-H. El consumo de energía solar que permitió que Copa evitara el consumo de la red pública, reduciendo con ello un total de 450.62tCO<sub>2</sub>.



- *Residuos*

Gracias a nuestro programa de reciclaje que contempla la implementación de las 3Rs: reducir, reutilizar y reciclar, hemos generado 360.58 toneladas de materiales reciclables que no fueron enviados a vertederos, ayudándonos a ahorrar 450.62 toneladas de CO<sub>2</sub>. Lo anterior, es aplicable a nuestros suministros de aeronaves, equipos eléctricos y tecnológicos, así como papel. Este último impulsado por nuestro sistema electrónico que permite a los colaboradores descargar documentación de manera digital, ahorrando y reduciendo más de 10,700,000 libras de uso de papel al año.

Usamos el 30% de productos biodegradables en el servicio a bordo.

La iniciativa de reducción de plástico a bordo redujo el uso de 2.6 millones de unidades de plástico en 2022.



## Gestión de materiales y residuos

(GRI 306-1, 306-2, 306-3, 306-4, 306-5, 3-3)

En 2022, logramos recolectar un total de 150 toneladas de materiales de reciclaje en las instalaciones de Copa Airlines en Panamá, evitando así enviar residuos al vertedero.

Durante el mismo período, reciclamos aceite vehicular y combustible para aeronaves. Contratamos a una empresa especializada para la recolección de 11,063 galones de hidrocarburos. Estos materiales son redirigidos para ser utilizados como combustible alternativo en otras industrias, evitando así la contaminación de los recursos naturales.

Hemos dispuesto adecuadamente un total de 24.570 kilogramos de residuos químicos de las operaciones de Mantenimiento de Aeronaves.

También subcontratamos la recolección de 435,879 galones de agua contaminada con químicos generados durante las operaciones de limpieza y pintura de aeronaves y de los procesos de mantenimiento de vehículos.

El tratamiento posterior del agua captada permitió recuperar 348.703 galones de agua que luego fueron devueltas a la naturaleza.

*Imagen 41: Reporte de Gestión de Materiales y Residuos.*

- **Enfoque**

Bajo un enfoque preventivo que favorece el cumplimiento regulatorio ambiental, el desarrollo y adopción de tecnologías amigables y respetuosas con el medio ambiente y mejores tecnologías en aeronaves, equipos y procesos operativos que permitan alcanzar una operación baja en emisiones de carbono.





**Imagen 42.** Planta de Procesamiento de Residuos – Sistema de Paneles Solares – Optimización de recursos para movilidad de las aeronaves y encendido de motores - 2024



**Imagen 43.** Enfoque preventivo que favorece el cumplimiento regulatorio ambiental, el desarrollo y adopción de tecnologías amigables y respetuosas con el medio ambiente - 2024





**Imagen 44.** Elaboración propia de motor CFM internacional LEAP-1B. Masa máxima de despegue 159 400 lb (72 303 kg), capacidad de carga 966 ft<sup>3</sup> (27.3 m<sup>3</sup>), alcance a plena carga 3800 nmi (7038 km) 3215nmi (5960 km). Aerolínea Copa Airlines, Panamá, Tocumen, hangar Copa Airlines – 2024



**Imagen 45.** Elaboración propia motor CFM internacional LEAP-1B. Masa máxima de despegue 159 400 lb (72 303 kg), capacidad de carga 966 ft<sup>3</sup> (27.3 m<sup>3</sup>), alcance a plena carga 3800 nmi (7038 km) 3215nmi (5960 km). Aerolínea Copa Airlines, Panamá, Tocumen, hangar Copa Airlines - 2024





**Imagen 46.** Elaboración propia motor CFM Internacional LEAP-1B. Masa máxima de despegue 159 400 lb (72 303 kg), capacidad de carga 966 ft<sup>3</sup> (27.3 m<sup>3</sup>), alcance a plena carga 3800 nmi (7038 km) 3215nmi (5960 km). Aerolínea Copa Airlines, Panamá, Tocumen, hangar Copa Airlines – 2024



**Imagen 47.** Elaboración propia motor CFM internacional LEAP-1B. Masa máxima de despegue 159 400 lb (72 303 kg), Capacidad de carga 966 ft<sup>3</sup> (27.3 m<sup>3</sup>), alcance a plena carga 3800 nmi (7038 km) 3215nmi (5960 km). Aerolínea Copa Airlines, Panamá, Tocumen, hangar Copa Airlines - 2024





**Imagen 48.** Elaboración propia motor CFM internacional LEAP-1B. Masa máxima de despegue 159 400 lb (72 303 kg), Capacidad de carga 966 ft³ (27.3 m³), alcance a plena carga 3800 nmi (7038 km) 3215nmi (5960 km). Aerolínea Copa Airlines, Panamá, Tocumen, hangar Copa Airlines - 2024



**Imagen 49.** Elaboración Propia motor CFM Internacional LEAP-1B. Masa máxima de despegue 159 400 lb (72 303 kg), Capacidad de carga 966 ft³ (27.3 m³), alcance a plena carga 3800 nmi (7038 km) 3215nmi (5960 km). Aerolínea Copa Airlines, Panamá, Tocumen, hangar Copa Airlines – 2024





**Imagen 50.** Elaboración propia reservas de combustible JET – A, Aeropuerto Internacional de Tocumen - 2024

**Aporte a la Investigación y Proyecto de Graduación y como Estudiante e Ingeniero en Ejercicio de mi Profesión en el Aeropuerto Internacional de Tocumen.**

**ZONA DE VUELO VERDE**

**GREEN FLIGHT ZONE**

El proyecto consiste en utilizar una zona específica del aeropuerto cerca del patio de recarga eléctrica para los vehículos eléctrico como las corras, Pey-mover y tractores. La zona comprendida seria de acuerdo con la cantidad existente de equipo para prestar servicio a la aeronave mediante la operación de cargue y descargue, así como la utilización de la energía eléctrica y el aire acondicionado de los puentes para evitar utilizar equipos con consumo fósil (Diesel).

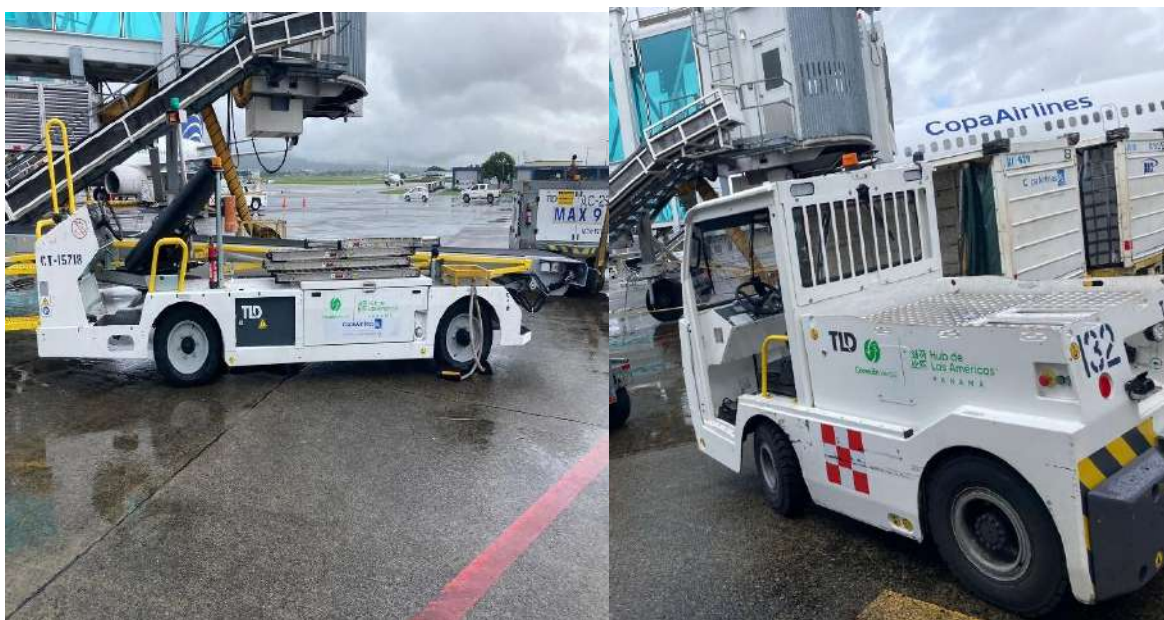
Así como el sistema bravo sierra que funciona con energía eléctrica reduciendo considerablemente la distribución de los equipajes a los diferentes destinos. Hoy en día el Aeropuerto Internacional de Tocumen cuenta con una cantidad especifica de equipos para brindar una operación limpia con carbono cero, en la cual se podría abarcar desde la puerta de embarque o plataforma 201 hasta la puerta de embarque o plataforma 210, utilizando solo equipos eléctricos.



**Imagen 51.** *Elaboración propia, Zona plataformas de embarques 201 hasta 210, Aeropuerto Internacional de Tocumen – 2024.*



El plan consiste en la utilización de estos equipos eléctricos y medir en un cierto tiempo la cantidad de carbono que se estaría emitiendo con equipos de consumo de hidrocarburos en una operación diaria normal. En este sector, para así tomar indicadores que guíen un rumbo a la movilidad eléctrica a toda la terminal 2. Para tomar decisiones certeras que nos acerquen a un 2050 pronto no tan lejano con esperanzas de poder disminuir y contribuir a una descarbonización continua del sector aeroportuario como el aéreo con las aeronaves.



*Imagen 52. Elaboración propia, equipos eléctricos, Aeropuerto Internacional de Tocumen – 2024.*

**ASPECTOS PARA TOMAR EN CUENTA CON USO DE EQUIPO CON CONSUMO DE COMBUSTIBLE FOCIL. Y SU MEJORA PARA REDUCIR EMISIONES.** (Que hacer para evitar más emisiones)

- 1- El más importante la movilidad del equipo a diario para gasearlo y su utilización en diferentes plataformas de embarque.
  - (a- Estipular un área específica de parqueo de todos los equipos para que al final de cada jornada un solo auto de gaseo se movilice a la flota y no toda la flota a un punto de gaseo.



***Imagen 53.** Elaboración propia, equipos de gaseo diario correas y plantas eléctricas, Aeropuerto Internacional de Tocumen – 2024.*

- (b- Hacer un conteo de la cantidad y distribuir en cada sección del aeropuerto la cantidad necesaria para la operación.



**Imagen 54.** *Elaboración propia, ZONA DE DESCARTE DE EQUIPOS SIN USO DAÑADOS, Aeropuerto Internacional de Tocumen – 2024.*

- 2- El uso del equipo dentro de la operación cuando no se esté utilizando.  
(al momento de terminar el embarque de cualquiera de las dos bodegas de la aeronave se debe apagar automáticamente para evitar el consumo de combustible hasta su movilización a parquearla en el área de seguridad de espera de dicho equipo.
- 3- Equipo de suministro alterno o exterior de consumo de combustible.  
(equipos como plantas eléctricas, plantas de aire acondicionado y arranque neumático, deben ser encendidas solo si son necesarias su uso y éstas se encenderán una vez los equipos estén conectados a la aeronave.





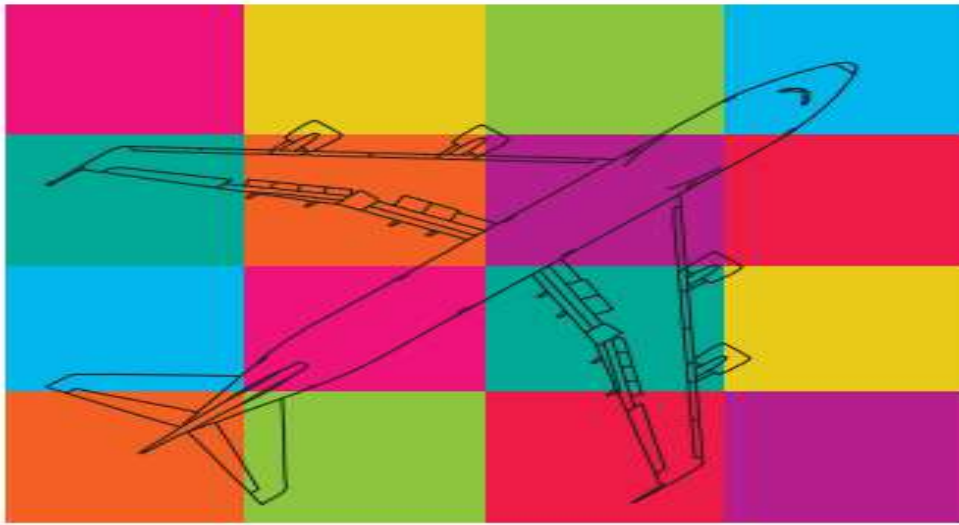
**Imagen 55.** *Elaboración propia, equipos de uso externo de abastecimiento de combustible, Aeropuerto Internacional de Tocumen – 2024.*

**REPORTE DE ORGANISMOS INTERNACIONALES Y SU PLAN EN RUTA  
HACIA CARBONO CERO 2050.**

**DOC.EN LINEA.**

**ICAO REPORTE DE AVIACIÓN, CAMBIO CLIMATICO Y SU PLAN PARA 2050  
DE CARBONO CERO (DOCUMENTO EN LINEA)  
A BORDO DE UN FUTURO SOSTENIBLE**

**ON BOARD  
A SUSTAINABLE FUTURE**



<https://www.icao.int/environmentalprotection/documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf>

ICAO, International Civil Aviation Organization

“Report on the feasibility of a Long-Term Aspirational Goal (LTAG) for international civil aviation CO2 emissions, Appendix M3” <https://www.icao.int/environmentalprotection/LTAG/Pages/LTAGreport.aspx>, 2022. ICAO, International Civil Aviation Organization



“Independent Expert Integrated Technology Goals Assessment and Review for Engines and Aircraft” <https://store.icao.int/en/independent-expert-integrated-technology-goals-assessment-and-review-for-engines-and-aircraft/english-printed>

## **Tecnología Aeronáutica Hoja de Ruta Neta Cero**

### **IATA (DOCUMENTO EN LINEA)**



<https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/aircraft-technology-net-zero-roadmap.pdf>

ATA, Air Transport Analytics, Ellondee Ltd “Understanding the potential and costs for reducing UK aviation emissions – Report to the committee on climate change and the Department for transport”

[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/785685/ata-potential-andcosts-reducting-emissions.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/785685/ata-potential-andcosts-reducting-emissions.pdf)

## CONCLUSIONES

Como conclusión, en este trabajo de graduación, considero que queda como evidencia la importancia del transporte aéreo en el panorama actual. Puesto que, con todo lo anteriormente dicho, el transporte aéreo es un sector estratégico para el desarrollo económico a nivel mundial. Siendo un potenciador del sector terciario, aportando, el 3,5% del PIB global y no es ninguna novedad el problema medioambiental al que el ser humano, como parte del ecosistema, se enfrenta.

Si bien es cierto que el porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub> aportado por el sector aeronáutico, es relativamente menor, a los aportados por otros sectores como el sector industrial. Este es el motivo para tratar de reducir dichas emisiones y potenciar la sostenibilidad del sector. Que, entre otros motivos, aporta una imagen negativa soportada por el transporte aéreo y que puede generar un cambio desfavorable en los hábitos de los consumidores de las aerolíneas.

durante la realización de este trabajo, si bien se han podido apreciar las posibilidades y el potencial que muestran las diferentes formas de propulsión analizadas, para convertir la aviación y otros medios de transporte en modelos más sostenibles, reduciendo las emisiones de este o incluso eliminándolas.

La industria a tomado considerablemente tomar el efecto abanico en los motores a reacción debido a que cuando las aeronaves vuelan a velocidad crucero estas al estar a mayor altura utilizan menos combustible ya que se genera una mayor sustentación lo que se traduce en menor uso de combustible.

Las experiencias aprendidas en campo demuestran que una mayor eficiencia en los procesos en rampa contribuye a una significativa descarbonización utilizando equipos eléctricos para gestionar los servicios brindados a las aeronaves en tierra. De otra forma el control de tráfico aéreo gestionara una mayor eficiencia en llegadas, ruta y descensos para su posterior llegada a destino lo que implica un menor tiempo de vuelo ahorrando grandes cantidades de combustible.

También se ha podido estimar que el 50% del combustible para aviación pueda ser biocombustible en el 2040. Reemplazando el queroseno con sustancias que produzcan una menor cantidad de carbono y incluso ninguna fuente de esta que logre reemplazar el poder calorífico para garantizar la seguridad en vuelo.

A pesar de todo, también hemos podido apreciar que, tanto el consumo de biocombustibles como la existencia de mercados de emisiones, son medidas útiles a corto plazo. Ya que, ni utilizando el 100% de combustibles sostenibles en aviación, se conseguirá la reducción de emisiones de gases efecto invernadero, si se produce el crecimiento esperado del tráfico aéreo. Ya que hasta hace tan solo unos meses la demanda seguía creciendo de manera más rápida que los avances tecnológicos en el sector. A partir de ese punto que se podría dar, si se mantienen dichas previsiones de crecimiento, en los próximos 20 años, la inclusión de las aeronaves con motores de mayor dimensión como los turbo-fan, se ve más que necesaria para lograr la transición energética del combustible tradicional al bio-combustible.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Air Transport Analytics, Ellondee Ltd. (2019). *Understanding the potential and costs for reducing UK aviation emissions – Report to the committee on climate change and the Department for transport*.  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/785685/ata-potential-andcosts-reducing-emissions.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/785685/ata-potential-andcosts-reducing-emissions.pdf)
2. Al Conocimiento, V. (2022, November 10). *Nuevos combustibles verdes para los aviones*. Open Mind.  
<https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/nuevos-combustibles-verdes-para-los-aviones/>
3. ASTM International. (s/f). *Standard guide for microbial contamination in fuels and fuel systems*. <https://www.astm.org/d6469-20.html>
4. CAPITULO IV EVALUACION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CONTROL CALIDAD Y SUMINISTRO DE COMBUSTIBLES DE UN OPERADOR / PROVEEDOR. (n.d.). Gov.Co. <https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/vigilancia/Gua%20Inspector%20Aeronavegabilidad/CAPITULO%20IV%20v2.p9.pdf>
5. Cepsa. (n.d.). *SAF, un combustible sostenible para la aviación*.  
<https://aviation.cepsa.com/es/sustainable-aviation-fuel>
6. DIRECCIÓN GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL. (n.d.). *Parte R. RDAC Parte 00123*. Gob.Ec. <https://www.aviacioncivil.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/06/1.-RDAC-Parte-00123-Mar-10-1.pdf>
7. Engine, F. (n.d.). No. *EASA E.111*. Europa.Eu.  
<https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA%20E111%20TCDS%20issue%2012%20Trent%20XWB.pdf>
8. Fokker 50. (n.d.). *Lunajets.com*. <https://www.lunajets.com/es/flota/fokker/50>
9. Guerrero, M. (2014). *Ecoeficiencia en la producción de biocombustibles a partir de aceites usados. Estudio de caso en Tres Arroyos, Argentina*.

10. Gutiérrez López, M., & Albalat, A. (2013). *El cultivo de la camelina en Aragón*.
11. Hernández, E. (2001). *El efecto invernadero*.
12. Herrera Restrepo, J., & Vélez, J. (2008). *Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible* [Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología Química].
13. International Air Transport Association (IATA). (n.d.). *Aircraft technology – Net zero roadmap*.  
<https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/aircraft-technology-net-zero-roadmap.pdf>
14. International Civil Aviation Organization (ICAO). (2016). *ICAO Environmental Report 2016*.  
<https://www.icao.int/environmentalprotection/documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf>
15. International Civil Aviation Organization (ICAO). (2022). *Report on the feasibility of a Long-Term Aspirational Goal (LTAG) for international civil aviation CO2 emissions, Appendix M3*.  
<https://www.icao.int/environmentalprotection/LTAG/Pages/LTAGreport.aspx>
16. International Civil Aviation Organization (ICAO). (n.d.). *Independent Expert Integrated Technology Goals Assessment and Review for Engines and Aircraft*. <https://store.icao.int/en/independent-expert-integrated-technology-goals-assessment-and-review-for-engines-and-aircraftenglish-printed>
17. Key Publishing Ltd. (n.d.). *La historia de la evolución de los motores de los aviones de pasajeros*. <https://www.key.aero/es/article/la-historia-de-la-evolucion-de-los-motores-de-los-aviones-de-pasajeros>
18. Rolls-Royce. (n.d.). *Pearl 15 - ROLLS-ROYCE - Catálogo PDF*. Aeroexpo.online. <https://pdf.aeroexpo.online/es/pdf-en/rolls-royce/pearl-15/170415-12355.html>
19. Rolls-Royce. (n.d.). *Todos los catálogos y folletos técnicos ROLLS-ROYCE*. Aeroexpo.online. <https://pdf.aeroexpo.online/es/pdf/rolls-royce-170415.html>



20. Turborreactor para avión de línea - Todos los fabricantes de la aeronáutica.  
(n.d.). Aeroexpo.online. <https://www.aeroexpo.online/es/fabricante-aeronautico/turborreactor-avion-linea-1765.html>
21. YouTube. (n.d.). *[Video sobre consorcio de tecnología para propulsión de aeronaves]*. <https://www.youtube.com/watch?v=TZxB3qcqbHM>
22. [Fuente con enlace roto o incorrecto]  
<http://tps://actualidad aeroespacial.com/crean-un-consorcio-para-desarrollar-nueva-tecnologia-para-futuros-sistemas-de-propulsion-de-aeronaves/>.

## **ANEXOS**

## ACRÓNIMOS

- **AAC** – Autoridad Aeronáutica Civil
- **AAF** – Combustibles de Aviación Alternativos
- **ACI** – Consejo Internacional de Aeropuertos
- **APER** – Equipo Especial sobre Combustibles Alternativos
- **ATAG** – Grupo Auxiliar de Energía Internacional, organización de normalización de combustibles de aviación civil, reconocida por fabricantes
- **CAA** – Alcohol para Reactores (también combustible de aviación para aeronaves con motores de pistón)
- **CAEP** – Comité sobre la Protección del Medio Ambiente y la Aviación de la OACI
- **CDM** – Mecanismo para un Desarrollo Limpio (Clean Development Mechanism)
- **CMNUCC** – Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
- **DGLL** – Comisión Nacional de la Energía / Consejo Nacional para el Cambio Climático
- **DRAPER** – Mecanismo para un Desarrollo Limpio del Comité sobre la Protección del Medio Ambiente y la Aviación
- **EU RED** – Directiva sobre Energías Renovables de la Unión Europea (Renewable Energy Directive)
- **FAA** – Federal Aviation Administration
- **GAL** – Normas de Defensa del Reino Unido sobre procedimientos y normalización a nivel nacional e internacional
- **IATA** – International Air Transport Association
- **JIG** – Grupo Común de Inspección (Joint Inspection Group), establece requisitos de calidad para combustibles en sistemas de abastecimiento conjuntos
- **RACP** – Regulación de Aeronáutica Civil Panameña
- **SAF** – Combustible Sostenible de Aviación (Sustainable Aviation Fuel)

- **AES** – Sistema para el Medio Ambiente y la Aviación (incluye requisitos de calidad de combustible según JIG)