

Estudio de Factibilidad para la utilización de biocombustibles en los vuelos Internacionales de la empresa Avianca operados desde el aeropuerto Internacional el Dorado

Jorge Enrique Cáceres Cárdenas

Universidad Nacional Abierta y a distancia

Escuela ECACEN

Especialización en Gestión de Proyectos

Bogotá

2019

1. Introducción

La presente investigación está centrada en la implementación de los biocombustibles en los motores CFM56 utilizados por la flota de aeronaves de la compañía Avianca para cubrir el banco de vuelos internacionales operados desde el aeropuerto internacional el Dorado. Los biocombustibles son combustibles producidos a partir de biomasa, es decir, de materia orgánica originada en un proceso biológico, utilizable como fuente de energía alternativa amigable con el medio ambiente.

La principal diferencia entre los combustibles fósiles usados en la industria aeronáutica y los combustibles de origen natural, es el porcentaje de emisión de gases de efecto invernadero que oscila entre el 60 y 70 por ciento; por lo que surge la necesidad de analizar el comportamiento de los motores en relación al empuje, el rendimiento y el consumo específico de combustible utilizando como fuente principal de energía el biodiesel con el fin de validar la factibilidad de la implementación de los biocombustibles en Avianca.

Para realizar el estudio del comportamiento de los motores se implementó el software computacional Gas turb 13, en el cual se realizó una simulación con un motor turbofan que cumple con las características detalladas en el certificado tipo del motor CFM56 emitido por EASA. En el cual se tomaron como constantes las relaciones de presión y temperaturas del motor y se varió el poder calorífico de los combustibles para analizar y comparar los resultados obtenidos durante el ciclo termodinámico del motor.

Este análisis permite identificar cual es el combustible que debe utilizar la compañía para tener una operación rentable y aeronavegable, para lo cual se estudian diferentes proveedores que contribuya de manera directa con la emisión de gases de efecto invernadero.

2. Resumen

En la actualidad, la industria aeronáutica se encuentra fabricando nuevas aeronaves y motores más amigables con el medio ambiente, buscando mayor eficiencia con un menor consumo de combustible. Esta relación es directamente proporcional con la cantidad gases de efecto invernadero que emiten las aeronaves. Las principales casas fabricantes como Airbus, Boeing, Embraer, General Electric, International Aero Engines, Pratt & Whitney y Rolls-Royce entre otras, buscan que sus diseños cumplan con parámetros de rendimiento y seguridad que exigen los entes reguladores como la FAA (federal aviation administrativos) y la EASA (European Aviation Safety Agency). Una alternativa que surge para reducir los gases contaminantes producidos por la combustión interna en los motores de las aeronaves es la combinación de los combustibles tradicionales con los Biocombustibles; Los más usados y desarrollados son el bioetanol y el biodiésel, la composición del Etanol está basada en maíz, trigo, caña de azúcar o remolacha, puede usarse como sustituto de la gasolina. El Biodiesel puede usarse como sustituto del diesel y usualmente es un derivado de oleaginosos como el aceite de palma.

3. Palabras Clave

Combustibles fósiles, Biocombustibles, Contaminación ambiental, Avianca, Gas turb 13.

4. Summary

Nowadays the aeronautical industry is making new aircraft and engines more friendly to the environment, with greater efficiency and lower fuel consumption. This relationship is directly proportional to the amount of greenhouse gases produced by aircraft. The main manufacturers as

Airbus, Boeing, Embraer, General Electric, International Aero Engines, Pratt & Whitney and Rolls-Royce have designs that meet performance and safety parameters required by federal aviation administrators and European Aviation Safety Agency. An alternative that arises to reduce the polluting gases produced by internal combustion in the engines of aircraft is the mix of traditional fuels with biofuels; The most used and developed are bioethanol and biodiesel, The composition of Ethanol is based on corn, wheat, sugarcane or beet, it can be used as a substitute for gasoline. The biodiesel can be used as a substitute for diesel and is usually derived from oleaginous such as palm oil.

5. Key Words

Fossil fuels, Biofuels, Environmental pollution, Avianca, Gas turb 13.

6. Objetivos

6.1. General

Estudiar la factibilidad que genera la implementación de los biocombustibles en los vuelos internacionales que opera Avianca, para validar la rentabilidad que tiene el proyecto que a su vez contribuye con la disminución de los gases de efecto invernadero producida por los motores de las aeronaves.

6.2. Específicos

- Descripción del sector aeronáutico respecto al consumo de combustibles fósiles utilizados por Avianca.
- Explicación del proceso de combustión y especificaciones de los motores CFM56 con la implementación del combustible JETA1 y el biodiesel para comparar los resultados obtenidos.
- Análisis de las condiciones del Mercado.
- Desarrollo del estudio ambiental
- Desarrollo del estudio financiero
- Análisis e interpretación de resultados

Contenido

1.	Introducción	2
2.	Resumen	3
3.	Palabras Clave	3
4.	Summary	3
5.	Key Words	4
6.	Objetivos	5
6.1.	General	5
6.2.	Específicos	5
7.	Descripción Del Sector Aeronáutico Respecto Al Consumo De Combustibles Fósiles Utilizados Por Avianca	10
7.1.	Tipos de Combustible utilizados en Avianca	11
7.2.	Características del combustible JET A – JET A1	11
7.3.	Proceso de abastecimiento y desabastecimiento de combustible en Avianca	11
7.3.1	Combustible básico.	12
7.3.2	Combustible de contingencia.	12
7.3.3	Combustible alterno.	13
7.3.4	Combustible de reserva Combustible.	13
7.3.5.	Procedimiento de abastecimiento y desabastecimiento de combustible en Avianca.....	13
7.4.	Consumo de combustible promedio rutas Internacionales Avianca.	13
7.4.1	Detalle gráfico.	14
8.	Explicación del proceso y sus especificaciones	17
8.1.	Motor Turbofan.....	18
8.1.1.	Partes y funcionamiento del motor Turbofan.....	18
8.1.2.	Ingestión del Aire.	19
8.1.3.	Compresión.	19
8.1.4.	Combustión.	20
8.1.5.	Expansión.	20
8.1.6.	Gases de combustión.	20
8.2.	Motor Turboprop.....	20
8.2.1.	Partes y funcionamiento del motor Turboprop.....	20
8.3.	Motores utilizados por las diferentes aeronaves de Avianca para cubrir las rutas internacionales.....	21
8.4.	Comparación del empuje, rendimiento del motor y del Consumo específico de combustible.....	22
8.4.1.	Empuje total de un Motor Turbofan.....	22
8.4.2.	Consumo Específico de combustible (TSFC) del Motor Turbofan.....	23
8.4.3.	Rendimiento del Motor.	23
8.4.4.	Análisis Teórico.	24
8.4.4.1.	Rendimiento del motor implementando combustible JET A1.....	25
8.4.4.2.	Rendimiento del motor implementando combustible biodiesel.....	25
8.4.4.3.	Rendimiento del motor implementando la Mezcla de 90% combustible JETA1 10% Biodiesel (B-10).....	26
8.4.4.4.	Rendimiento del motor implementando la Mezcla de 80% combustible JETA1 20% Biodiesel (B-20).....	26
8.4.4.5.	Rendimiento del motor implementando la Mezcla de 50% combustible JETA1 50% Biodiesel (B-50).....	27
8.4.5.	Análisis Computacional.....	27
8.4.5.1.	Etapas motor CFM56.....	28
8.4.5.2.	Implementación combustible JETA1.....	28
8.4.5.3.	Implementación combustible biodiesel.....	30

8.4.5.4. Implementación combustible con una mezcla de 90% combustible JETA1 10% Biodiesel (B-10).....	31
8.4.5.5. Implementación combustible con una mezcla de 80% combustible JETA1 20% Biodiesel (B-20).....	32
8.4.5.6. Implementación combustible con una mezcla de 50% combustible JETA1 50% Biodiesel (B-50).....	33
8.4.6. Análisis de los resultados.....	34
8.4.7. Resumen de Resultados.....	39
9. Análisis de las Condiciones del Mercado.....	40
9.1. Mercado Internacional de Biodiésel.....	40
9.1.1. Potencias Mundiales en producción de Biodiésel.....	40
9.1.1.1. Estados Unidos.....	41
9.1.1.2. Unión Europea.....	41
9.1.1.3. China.....	41
9.1.1.4. Brasil.....	42
9.1.1.5. Argentina.....	42
9.1.2. Producción de Biodiésel a nivel mundial.....	42
9.1.3. Uso del biodiésel a nivel mundial.....	43
9.1.4. Comercio del Biodiésel a nivel mundial.....	45
9.1.5. Precio del Biodiésel a nivel mundial.....	45
9.2. Mercado Nacional de Biodiésel.....	46
9.2.1. Plantas Productoras de Biodiesel en Colombia.....	46
9.2.2. Distribución de las Plantas de Biodiesel en el territorio Nacional.....	47
9.2.3. Capacidad de Producción.....	47
9.2.4. Precio del Biodiésel.....	48
9.2.4.1. Precio Biodiésel Puro.....	49
9.2.4.2. Precio Biodiésel con Mezcla.....	49
9.2.5. Demanda del Producto.....	50
9.2.5.1. Demanda de Biodiésel por Toneladas.....	51
9.2.6. Oferta vs Demanda.....	52
10. Estudio Ambiental.....	52
10.1. Niveles de Contaminación por el uso de combustibles fósiles.....	53
10.2. Niveles de contaminación por el uso de Biocombustibles.....	56
10.3. Emisión de CO ₂ con el uso de combustible fósil y combustible alternativo.....	57
11. Estudio Financiero.....	58
11.1. Flujo de Caja con la implementación del combustible tradicional.....	58
11.2. Flujo de Caja con la implementación de Biocombustible.....	59
11.3. Comparación Flujos de Caja.....	60
12. Análisis de Resultados.....	60
12.1. Consumo de Combustible.....	60
12.2. Rendimiento del Motor CFM56.....	61
12.3. Producción de Biodiesel en Colombia.....	61
12.4. Precio del Biocombustible.....	61
12.5. Producción de CO ₂	61
12.6. Viabilidad del proyecto.....	62
13. Conclusiones.....	63
14. Opinión Personal.....	64
15. Anexos.....	65
A. Características del Combustible JET A.....	65
B. Procedimiento de Abastecimiento de Combustible.....	66
C. Detalle del Consumo de Combustible.....	67

D.	Motores Operados por Avianca	71
E.	Flujo de caja con el uso de combustible tradicional.....	76
F.	Flujo de caja con el uso de Biocombustible.....	77
16.	Referencias.....	78

Listado de Tablas

<i>Tabla 1 Empuje del motor</i>	34
<i>Tabla 2 TSFC del Motor</i>	35
<i>Tabla 3 Rendimiento Potencial</i>	36
<i>Tabla 4 Resumen de Resultados</i>	39
<i>Tabla 5 Plantas Productoras</i>	46
<i>Tabla 6 Capacidad de Producción.</i>	47
<i>Tabla 7 Precios del Biodiésel Puro de los últimos tres años</i>	49
<i>Tabla 8 Precios del Biodiésel con Mezcla de los últimos tres años</i>	49
<i>Tabla 9 Demanda de Biodiésel por Toneladas de los últimos tres años</i>	51
<i>Tabla 10 Emisión de CO2 en Millones de toneladas</i>	57
<i>Tabla 11 Comparación Flujos de Caja</i>	60

Listado de Figuras

Figura 1 Red de Rutas Internacionales Operadas por Avianca desde Bogotá	10
Figura 2 Partes del Motor Turbopan.....	19
Figura 3 Partes del Motor Turboprop	21
Figura 4 Etapas de análisis motor CFM56.....	28
Figura 5 Análisis computacional con JETA1	29
Figura 6 Resultados del análisis con JETA1.....	29
Figura 7 Análisis computacional con biodiesel	30
Figura 8 Resultados del análisis con biodiesel	30
Figura 9 Análisis computacional con B-10.....	31
Figura 10 Resultados del análisis con B-10.....	31
Figura 11 Análisis computacional con B-20.....	32
Figura 12 Resultados del análisis con B-20.....	32
Figura 13 Análisis computacional con B-50.....	33
Figura 14 Resultados del análisis con B-50.....	33
Figura 15 Distribución de las Plantas de Biodiésel a nivel Nacional	47
Figura 16 Flujo de Caja con la implementación de Combustible Tradicional.....	58
Figura 17 Flujo de Caja con la implementación de Biocombustible	59
Figura 18 Motor Trent 1000	71
Figura 19 Motor Trent 700	72

Figura 20 Motor LEAP	73
Figura 21 Motor V2500	74
Figura 22 Motor CFM56.....	75

Listado de Graficas

Grafica 1 Cantidad de combustible por año de operación	14
Grafica 2 Costo del combustible por año de operación	16
Grafica 3 Emisión CO2 por año de operación	17
Grafica 4 Empuje del Motor CFM56.....	34
Grafica 5 TSFC del motor CFM56	35
Grafica 6 Rendimiento del motor CFM56.....	36
Grafica 7 Temperatura vs Entropía.....	37
Grafica 8 Entalpia vs Entropía.....	38
Grafica 9 Presión vs volumen	39
Grafica 10 Desarrollo del mercado mundial de biodiésel.....	43
Grafica 11 Evolución de las distribuciones regionales del uso mundial de biodiésel	44
Grafica 12 Tendencia ascendente de los precios de los biocombustibles.....	46
Grafica 13 Capacidad de Producción de Biodiesel en toneladas por año	48
Grafica 14 Precio del Biodiésel puro de los últimos tres años.....	49
Grafica 15 Precio del Biodiésel con mezcla de los últimos tres años.....	50
Grafica 16 Demanda de Biodiésel de los últimos tres años.....	51
Gráfica 17 Tendencia del Consumo de Combustible.....	53
Grafica 18 Proyección en la demanda de combustibles fósiles	54
Grafica 19 Producción de CO2 con el uso de combustible fósil	55
Grafica 20 Producción de CO2 con el uso de Biocombustibles	56

7. Descripción Del Sector Aeronáutico Respecto Al Consumo De Combustibles Fósiles Utilizados Por Avianca

Avianca como la segunda empresa más antigua en el mundo dedicada al transporte de carga y pasajeros han logrado expandir su red de rutas a nivel mundial, tanto así que en la actualidad opera cada día alrededor de 37 vuelos internacionales desde el aeropuerto Internacional el Dorado ubicado en la ciudad de Bogotá. Por la ubicación geográfica de Colombia, los pasajeros optan por realizar sus conexiones desde Bogotá hacia Norte América, Centro América, Sur América y Europa. Actualmente Avianca cubre el siguiente banco de rutas Internacionales desde el Dorado.

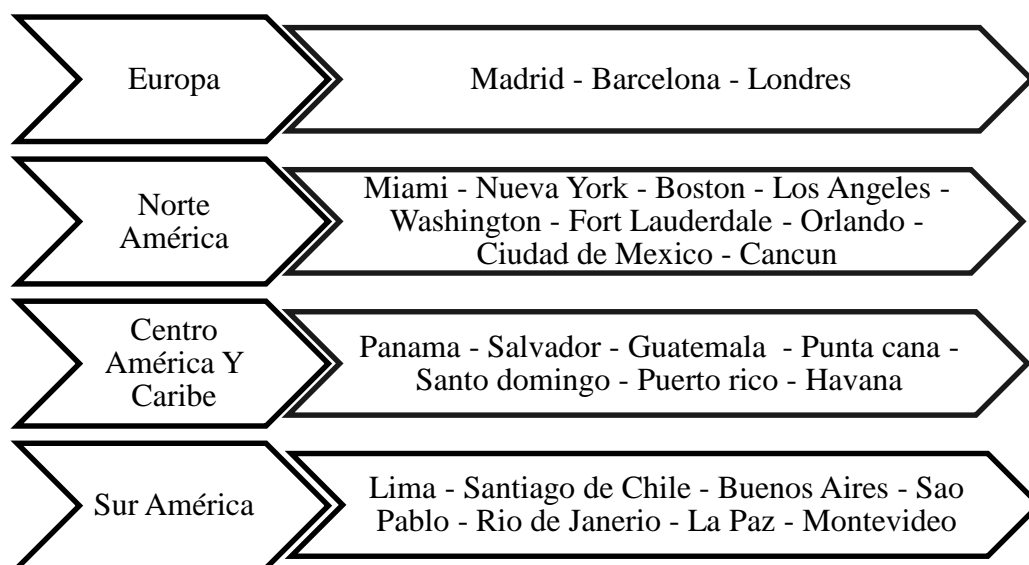


Figura 1 Red de Rutas Internacionales Operadas por Avianca desde Bogotá

Con el incremento de las operaciones áreas, se presenta un mayor consumo de combustibles fósiles, generando mayores costos para la compañía y a su vez se incrementa la producción de gases de efecto invernadero los cuales deterioran el medio ambiente.

En este estudio se presentan las características de los combustibles y los procesos de abastecimiento utilizados por Avianca, para determinar la cantidad de combustible promedio consumido en los vuelos, el costo y la cantidad de CO₂ que producen las aeronaves en cada una de las ru-

tas internacionales que opera Avianca desde Bogotá; con la finalidad de presentar una propuesta de combustible alternativo que genere menos costos para la compañía y contribuya con la sostenibilidad del medio ambiente, sin afectar la aeronavegabilidad y el rendimiento de las aeronaves.

7.1. Tipos de Combustible utilizados en Avianca

Las aeronaves que opera Avianca son tanqueadas con combustible JET A ó JET A1 que cumplen con el estándar ASTM D – 1655 (Standard Specification for Aviation Turbine Fuels) por sus siglas en ingles. Estos combustibles son los más usados a nivel mundial y son de uso exclusivo aeronáutico para motores a reacción, compuestos de Carbono e Hidrógeno con pequeños porcentajes de otros elementos como Azufre, Nitrógeno, y metales integrados en los hidrocarburos. El factor de emisión de CO2 estos combustibles fósiles es de 9,840 Kg/gal aproximadamente 3.15 Kg de CO2 por Kg de JET A1 quemado. La principal diferencia entre estos dos tipos de combustible es el punto de congelación, el Jet A tiene su punto de congelación a los -40 °C (-40 °F) y el Jet A1 tiene su punto de congelación a los -47 °C (-53 °F).

7.2. Características del combustible JET A – JET A1

El combustible entregado a las aeronaves de Avianca debe ser recomendado por las especificaciones aplicables de la aeronave (hoja de datos del certificado tipo, Manual de mantenimiento o manual de vuelo del avión. En el anexo A de este documento se pueden visualizar las especificaciones estándar del combustible JET A ó JET A1 dirija.

7.3. Proceso de abastecimiento y desabastecimiento de combustible en Avianca

Para los vuelos internacionales que opera Avianca, el combustible requerido es el siguiente.

- A. El suficiente para volar del aeropuerto de Origen al Destino
- B. Después de llegar al Destino, efectuar sobrepaso, volar y aterrizar en el aeropuerto alternativo más lejano que esté incluido en el plan de vuelo; y

- C. Además, agregar el combustible necesario para cumplir con el 5% del tiempo total en ruta de Origen a Destino, calculando este combustible con un promedio de consumo a las diferentes alturas que tenga el plan de vuelo; y
- D. Combustible suficiente para sostener en el alterno durante 30 minutos a 1.500 ft sobre la altura del aeropuerto Alterno.

7.3.1 Combustible básico. Es el combustible calculado para despegar del aeropuerto de Origen, ascender, volar a la altitud de crucero, efectuar cambios de nivel en ruta, descender, aproximar y aterrizar en el aeropuerto de destino. Este combustible es parte del Minimum Fuel Required (MFR).

7.3.2 Combustible de contingencia. Es un combustible que regulatoriamente se requiere para mitigar eventuales desviaciones de las condiciones originalmente planeadas que pueden afectar el vuelo, como las que a continuación se enuncian:

- Desviaciones no planificadas de la ruta autorizada (plan de vuelo)
- Desviaciones del nivel de vuelo planeado (plan de vuelo)
- Variaciones de viento y/o temperatura (plan de vuelo)
- Utilización imprevista de sistemas de anti-hielo
- Meteorología adversa en ruta no planificada
- Demoras en ruta no anticipadas

La cantidad de este combustible es calculada con base en el segmento Origen -Destino, utilizando el peso estimado, velocidad y altitud de crucero en el TOD hacia el aeropuerto de destino. Corresponde al 5% del tiempo total requerido para volar de Origen a Destino traducido en combustible. Es parte del Minimum Fuel Required (MFR).

7.3.3 Combustible alternativo. Es el combustible calculado para proceder al aeropuerto alternativo especificado en el plan de vuelo, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Aproximación frustrada en el aeropuerto de Destino
- Ascenso, Crucero (Long Range Cruise Speed) y Descenso al aeropuerto alternativo (plan de vuelo)
- Aproximación y Aterrizaje en el aeropuerto alternativo

7.3.4 Combustible de reserva Combustible. Para volar durante 45 minutos (reserva doméstica) calculado a velocidad normal de crucero ó 30 minutos (reserva internacional) calculado a velocidad de sostenimiento a 1.500 ft AGL, en condiciones ISA (International Standard Atmosphere) sobre el aeropuerto Alterno. Este combustible calculado de reserva (doméstica o internacional), no está específicamente destinado para sostenimiento, sino, para sortear una posible eventualidad que pueda demorar el aterrizaje de la aeronave, ya sea en el aeropuerto alternativo o en el destino cuando una vez en vuelo un alternativo no es necesario para la operación bajo las circunstancias operacionales actuales

7.3.5. Procedimiento de abastecimiento y desabastecimiento de combustible en Avianca. El procedimiento de abastecimiento puede realizarse a presión o por gravedad dependiendo de las facilidades con las que se cuenten en la estación donde se encuentra operando el avión. En el anexo B de este documento se pueden visualizar el proceso que se debe llevar a cabo durante cada procedimiento.

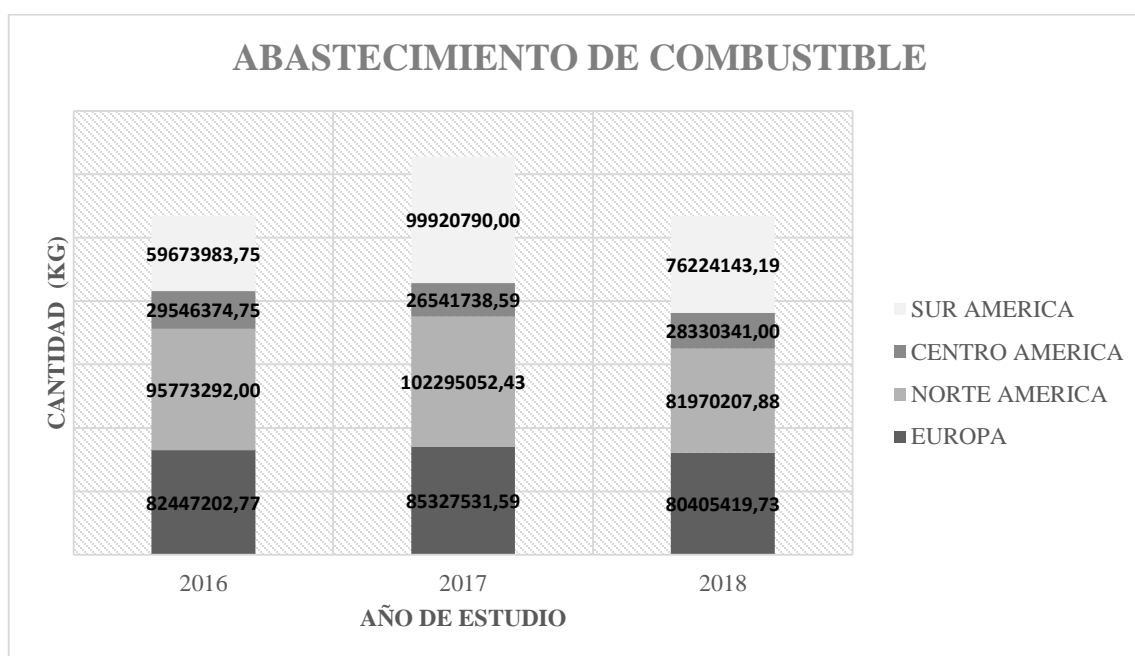
7.4. Consumo de combustible promedio rutas Internacionales Avianca.

Avianca como la aerolínea líder de Colombia, actualmente posee una de las flotas más modernas en el mundo, con las que cubre su red de rutas. Estas aeronaves de última generación permiten un consumo óptimo de combustible y reducen la emisión de gases de efecto invernadero.

ro; aumentando la rentabilidad en las operaciones. Para validar el consumo de combustible, los costos y la emisión de CO₂ en las rutas internacionales que opera actualmente Avianca, se validaron y se analizaron los datos estadísticos desde el año 2016 hasta el mes de octubre del año 2018 y se pueden visualizar en el anexo C de este documento.

Los datos obtenidos permiten evidenciar que a pesar de que Avianca opera una flota de última generación, los costos del combustible y la cantidad de CO₂ emitidas por las aeronaves son elevadas. Por tal motivo nace la necesidad de estudiar una opción de combustible que reduzca los gastos y las emisiones de gases de efecto invernadero.

7.4.1 Detalle gráfico. A continuación, se presenta el resumen detallado del consumo de combustible de los años 2016, 2017 y 2018.



Gráfica 1 Cantidad de combustible por año de operación

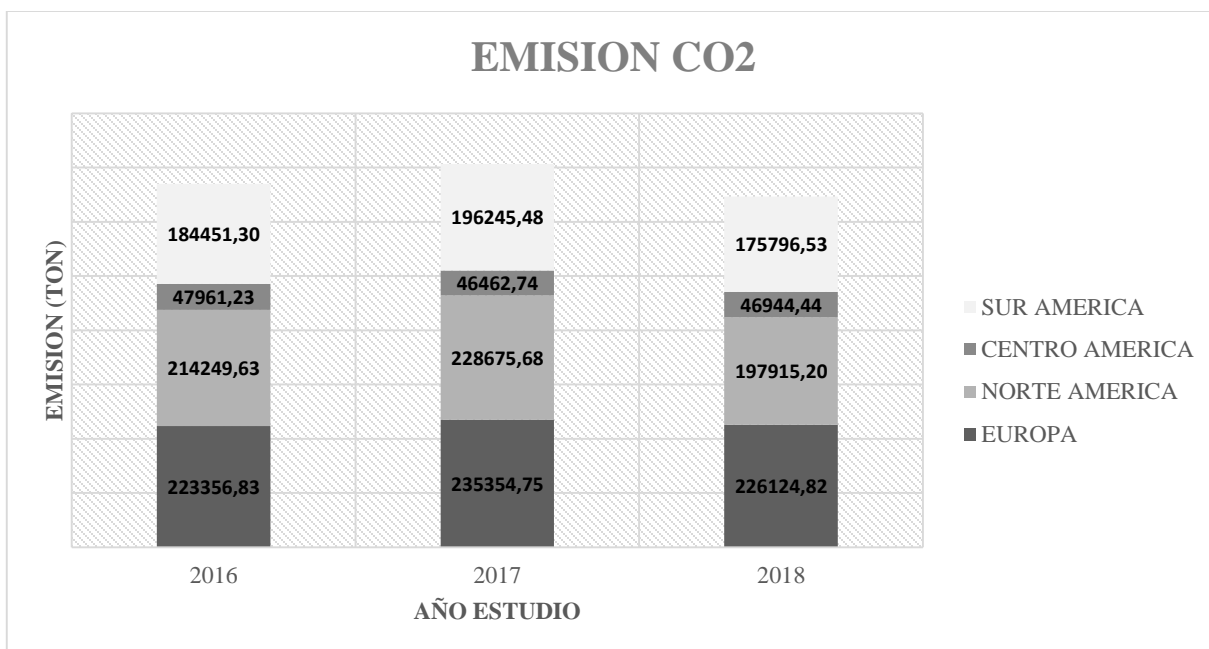
En la Gráfica 1 se observa que durante el año 2017 se presentó un incremento significativo en la cantidad de combustible utilizado en las operaciones a Sur América; esta variación se presenta

debido a que durante este año se empezó a operar la ruta Bogotá – Montevideo, uno de los trayectos con mayor duración que opera la compañía en la flota Airbus. Si se comparan los datos obtenidos en el año 2017 y en el año 2018, se evidencia una reducción en la cantidad de combustible utilizado en el año 2018 en las rutas a Norte América, Sur América y Europa. Esta diferencia tiene origen en la incorporación de aeronaves de última generación como los Airbus A321 Neo que operan con motores CFM LEAP de la casa fabricante General Electric y los Boeing 787 que operan con motores TRENT 1000 de la casa fabricante Rolls Royce los cuales son diseñados para tener mayor autonomía de vuelo y menor consumo de combustible. Actualmente en estas aeronaves se programan las rutas de mayor duración como son los vuelos ETOPS (Extended-range Twin-engine operation performance standards) por sus siglas en inglés, los vuelos a Santiago de Chile y a Nueva York. Con la implementación de nuevas tecnologías, es necesario evaluar la posibilidad de implementar combustibles de origen natural que garanticen el rendimiento del motor tal y como ocurre con un combustible fósil, a su vez esto permitiría reducir los costos de operación y las emisiones de gases de efecto invernadero.



Grafica 2 Costo del combustible por año de operación

Los costos del combustible son directamente proporcionales al costo del petróleo, ya que el combustible de aviación es uno de sus derivados. En el año 2018 se evidencia un mayor costo en el combustible de las operaciones a Europa en comparación con el año 2017, esto debido a que en el año 2017 Avianca dejó de operar algunas de sus frecuencias en las rutas Medellín – Madrid y Cali – Madrid a causa de la huelga de pilotos que trajo como consecuencia grandes pérdidas para la compañía. A partir del 2018 Avianca retomó estas rutas provocando un mayor consumo de combustible y a su vez un mayor costo de operación. A finales del 2018 se empezaron a operar dos nuevas rutas hacia Múnich y Chicago; posiblemente en 2019 se empiece a operar un vuelo a Roma, con el crecimiento que tienen la operación, es preciso validar una opción de combustible que permita mejores márgenes de rentabilidad sin descuidar el rendimiento y la aeronavegabilidad de las aeronaves.



Grafica 3 Emisión CO2 por año de operación

Gracias a las nuevas tecnologías implementadas en los motores que operan las aeronaves de Avianca, se han reducido las emisiones de gases de efecto invernadero; en este caso los niveles de CO2 han sido proporcionales a la cantidad de vuelos operados por año y a la cantidad de combustible utilizado. En las rutas hacia Europa se evidencian las mayores emisiones de CO2 debido a que estos vuelos son de largo alcance; al tener que atravesar el océano Atlántico se requiere un mayor reserva y consumo de combustible. Conociendo estas cifras, es viable estudiar un combustible más amigable con el medio ambiente que produzca una cantidad menor a los 3.15 Kg de CO2 que produce un Kg de JET A1.

8. Explicación del proceso y sus especificaciones

La flota de aeronaves que opera actualmente Avianca cuenta con motores a reacción de última generación de tipo Turbofan en las flotas Airbus y Boeing y de tipo turbo hélice en la flota ATR. Estos motores son fabricados por compañías como General Electric, Rolls Royce e Internatio-

nal Aero Engines; todos estos motores tienen como característica el bajo consumo de combustible, lo que permite a la compañía operar en niveles rentables.

Entre las varias clasificaciones que pueden realizarse sobre motores mecánicos, hay una importante que establece dos tipos: endotérmicos y exotérmicos. Los primeros, entre los que cabe citar el motor de reacción y el alternativo, se caracterizan porque tanto el órgano donde se realiza la combustión como el encargado de realizar el trabajo se encuentran dentro (endo) del motor, mientras que los exotérmicos, como la máquina de vapor, el elemento encargado de realizar el trabajo se encuentra fuera (exo) de la zona de combustión.

Se denomina motor a reacción al motor térmico en el que la energía liberada en la combustión se transforma en energía cinética de la corriente de gas que sale del motor. La fuerza de reacción que se obtiene de dicha corriente (empuje) sirve para impulsar la aeronave.

Esta característica es la que, en principio, diferencia a los motores de reacción de los motores de émbolo o alternativos. El motor de émbolo transforma la energía de la combustión en trabajo para mover el eje de la hélice, siendo esta quien crea el empuje y, por tanto, el órgano propulsor del avión.

8.1. Motor Turbofan

El motor tubo fan es la variación más moderna del motor básico de turbina a gas. El núcleo del motor está rodeado por un fan en la parte frontal y una turbina en la parte posterior; el fan y la turbina están compuestos por varios alabes los cuales están interconectados por un eje el cual permite su movimiento.

8.1.1. Partes y funcionamiento del motor Turbofan. El motor turbo fan está compuesto por cinco componentes principales, el fan, el compresor, la cámara de combustión, la turbina y la tobera. Cada uno de estos componentes permite el correcto funcionamiento del motor;

el cual está basado en un ciclo termodinámico en donde el aire ingresa al motor a través del fan, es comprimido en el compresor, es quemado en la cámara de combustión, es expandido por la turbina y finalmente expulsado por la tobera, estos cinco pasos generan el empuje del motor originando la propulsión del vehículo.

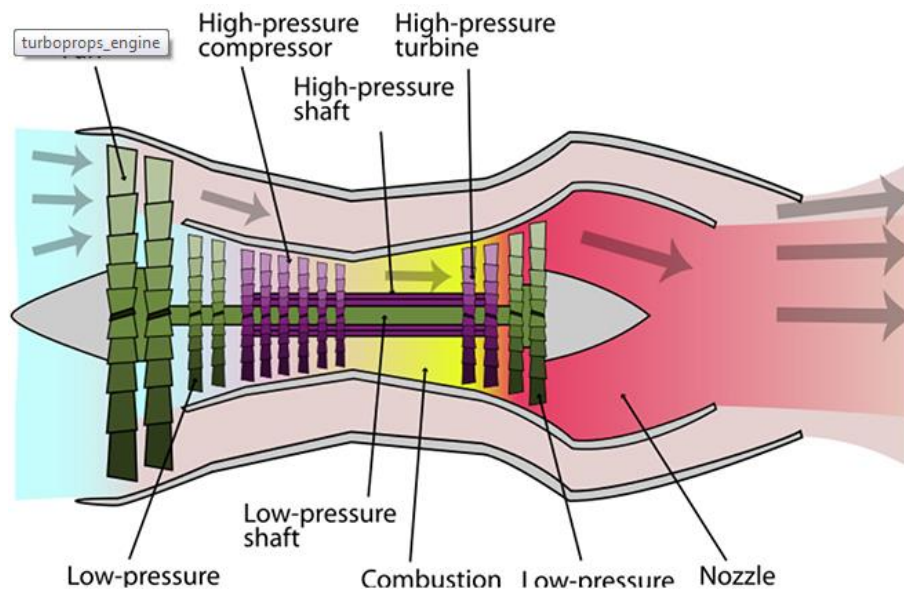


Figura 2 Partes del Motor Turbopropulsor

8.1.2. Ingestión del Aire. El aire ambiental entra en el motor mediante el paso a través del ventilador. La mayor parte del aire que pasa a través del ventilador viaja alrededor del núcleo del motor. Este aire que viaja alrededor del núcleo se conoce como el aire de bypass y es acelerado por la parte trasera del motor por el fan creando así empuje. Nunca interactúa con el compresor, cámara de combustión, turbina, o tobera de escape. El aire restante entra en el núcleo del motor. Este aire ha sido un tanto acelerado por el fan, y entra inmediatamente en el compresor de baja presión.

8.1.3. Compresión. El propósito de la compresión es preparar el aire para la combustión; esto se logra a través del compresor de baja presión (LPC) y el compresor de alta presión

(HPC), los cuales funcionan de manera similar reduciendo el volumen e incrementando la presión y la temperatura del aire.

8.1.4. Combustión. La combustión se produce dentro de la cámara de combustión y el propósito es añadir aún más energía para el flujo del aire por medio de la adición de calor. Dentro de la cámara de combustión, el combustible se inyecta y se mezcla con el aire. Esta mezcla de combustible-aire se enciende, creando un aumento brusco de temperatura y energizar el flujo, impulsándola hacia atrás hacia la turbina de alta presión.

8.1.5. Expansión. La expansión se produce dentro de las turbinas de alta y baja presión. Las cuales aumentan el volumen del aire y reducen la presión y la temperatura de los gases. El propósito de las turbinas es extraer energía del flujo que luego se utiliza para hacer girar los compresores y el fan.

8.1.6. Gases de combustión. El propósito de la tobera de escape es impulsar el flujo de gases calientes fuera del motor generándonos un empuje adicional. Esto se logra gracias al diseño que tienes (geometría o forma). La boquilla también ayuda regular las presiones dentro del motor para mantener los otros componentes funcionando correcta y eficientemente.

8.2. Motor Turboprop

El motor Turboprop o también conocido como Turbo hélice, es una variación de los motores a reacción cuyo diseño está fundamentado en el transporte a bajas velocidades. Este tipo de motor está conformado por dos partes principalmente, el núcleo del motor tal y como el del motor Turboprop y el propeller (hélice). El eje del motor conecta una caja de accesorios donde se transmite el movimiento al propeller creando el empuje para la propulsión del vehículo.

8.2.1. Partes y funcionamiento del motor Turboprop. El motor Turboprop está compuesto por seis componentes principales, el propeller o hélice, la caja de accesorios, el compresor

El motor turboprop, la cámara de combustión, la turbina y la tobera. Cada uno de estos componentes permite el correcto funcionamiento del motor; el cual está basado en un ciclo termodinámico en donde el aire ingresa al motor a través la hélice, es comprimido en el compresor, es quemado en la cámara de combustión, es expandido por la turbina y finalmente expulsado por la tobera; la gran diferencia con el motor Turbofan es que la mayor parte del empuje es proporcionado por el propeller originando la propulsión del vehículo a velocidades bajas.

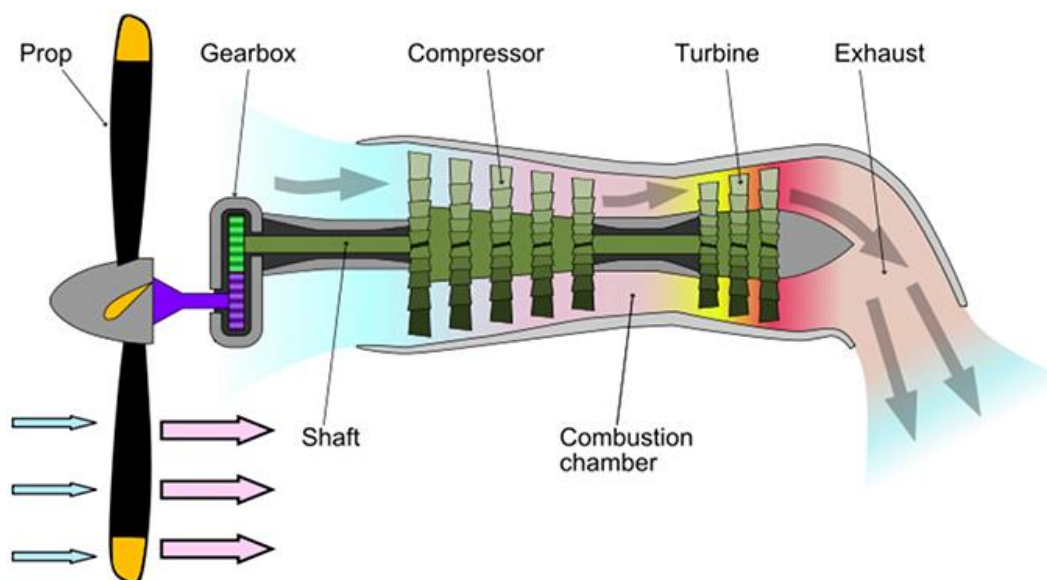


Figura 3 Partes del Motor Turboprop

La principal ventaja de este tipo de motores es que pueden realizar vuelos cortos tan rápido como un motor turbo jet y con un menor consumo de combustible.

8.3. Motores utilizados por las diferentes aeronaves de Avianca para cubrir las rutas internacionales.

Avianca cuenta actualmente con tres tipos diferentes de flotas para cubrir el banco de rutas internacionales, Boeing 787, Airbus A330 y Airbus A32s; estas aeronaves cuentan con motores de última generación fabricados por las principales casas fabricantes como Rolls Royce, General Electric e International Aero Engines. En el anexo D de este documento se detallan las principa-

las características de cada tipo de motor operado por la compañía para cubrir las rutas internacionales.

8.4. Comparación del empuje, rendimiento del motor y del Consumo específico de combustible

Con el fin de validar la factibilidad de la implementación de los biocombustibles en las rutas internacionales que opera Avianca, se realiza el análisis de empuje total y consumo específico de combustible (TSFC) del motor CFM56; implementando el combustible fósil tradicional JET A1, el Biodiesel y unos de sus derivados. Es importante aclarar que el estudio se centra en este tipo de motor, debido a que más del 50 por ciento de la flota de la compañía tiene equipado este tipo de reactores.

Para realizar la comparación de estos datos se van a implementar dos procesos, uno teórico y otro computacional por medio del software GasTurb 13.

8.4.1. Empuje total de un Motor Turbofan. El empuje total es el empuje desarrollado en la tobera de salida del motor. Este incluye ambos, el empuje generado por la cantidad de movimiento de los gases de escape y el empuje adicional resultante de la diferencia entre la presión estática en la tobera y la presión ambiente. El empuje total no toma en consideración las cantidades de movimiento del aire que entra y del combustible. Se considera cero la cantidad de movimiento entrante, lo cual es cierto solamente cuando el motor está estático. Sin considerar el flujo de combustible, la ecuación para el empuje total es:

$$F_{gross} = \frac{W_a}{g} (V_2) + A_j (P_j - P_{atm})(1)$$

Dónde: $F_{gross} = \text{Empuje Total}$

$W_a = \text{Peso del Aire que entra al motor}$

$g = \text{Constante gravitacional}$

$V_2 = \text{Velocidad de los gases en la tobera de escape}$

$A_j = \text{Área de salida de la tobera de escape}$

$P_j = \text{Presión de los gases en la tobera de escape}$

$P_{atm} = \text{Presión atmosférica}$

8.4.2. Consumo Específico de combustible (TSFC) del Motor Turbofan. Los Datos de estudio sobre las actuación del motor que nos interesan son el empuje (F_{gross}), flujo de combustible (mf), que corresponden a la cantidad de combustible consumido en una hora de vuelo, y el consumo específico de combustible (TSFC), que es el flujo de combustible necesario para producir un Newton de empuje. La relación entre estas tres variables se presenta en la siguiente ecuación:

$$TSFC = \frac{mf}{F_{gross}} \quad (2)$$

Dónde: $TSFC = \text{Consumo específico de combustible}$

$mf = \text{Flujo de combustible}$

$F_{gross} = \text{Empuje Total}$

8.4.3. Rendimiento del Motor. El rendimiento es un concepto mediante el cual se puede hacer un balance de la energía disponible en función de la que se comunicó al motor. Hay que tener en cuenta que lo que realmente se pretende con un motor, es el obtener una energía de tipo mecánica, y no tiene ningún interés en calentar la atmósfera. Por lo tanto el motor que consiga devolver el gas lo más frío posible es el que mejor está utilizando la energía que se le había comunicado.

Por todo lo dicho la forma de expresar el rendimiento será:

$$\eta = \frac{\text{Energía util entregada al avión}}{\text{Energía calorífica del combustible consumido}} \quad (3)$$

8.4.4. Análisis Teórico. En la práctica real, el flujo de combustible normalmente se desprecia cuando se calcula el empuje, porque el peso del aire que se pierde por las distintas secciones del motor, se calcula que es aproximadamente equivalente al peso del combustible consumido.

Para realizar el análisis del motor CMF56 se tendrán en cuenta los siguientes datos experimentales:

$$W_a = 1166 \text{ lb/s}$$

$$g = 32 \text{ ft/s}^2$$

$$V_2 = 420 \text{ ft/s}$$

$$A_j = 3.2527 \text{ ft}^2$$

$$P_j = 5184.839 \text{ lb/ft}^2$$

$$P_{atm} = 2116.220 \text{ lb/ft}^2$$

Para obtener el empuje total del motor, se debe implementar la ecuación (1)

$$F_{gross} = \frac{W_a}{g} (V_2) + A_j (P_j - P_{atm})$$

$$F_{gross} = \frac{1166 \text{ lb/s}}{32 \text{ ft/s}^2} (420 \text{ ft/s}) + 3.2527 \text{ ft}^2 (5184.839 \text{ lb/ft}^2 - 2116.220 \text{ lb/ft}^2)$$

$$F_{gross} = \frac{1166 \text{ lb/s}}{32 \text{ ft/s}^2} (420 \text{ ft/s}) + 3.2527 \text{ ft}^2 (3068.619 \text{ lb/ft}^2)$$

$$F_{gross} = \frac{1166 \text{ lb/s}}{32 \text{ ft/s}^2} (420 \text{ ft/s}) + 9981.297 \text{ lb}$$

$$F_{gross} = \frac{489720 \text{ lb ft/s}^2}{32 \text{ ft/s}^2} + 9981.297 \text{ lb}$$

$$F_{gross} = 15303.75 \text{ lb} + 9981.297 \text{ lb}$$

$$F_{gross} = 25285.047 \text{ lb} = 112.47 \text{ KN}$$

Una vez determinado el empuje que genera el motor, se puede identificar el consumo específico de combustible partiendo del flujo de combustible entregado por el fabricante del motor.

$$m_f = 2.18876 \text{ Kg/s} = 2188.76 \text{ g/s}$$

Para obtener el TSFC, se debe implementar la ecuación (2)

$$TSFC = \frac{m_f}{F_{gross}}$$

$$TSFC = \frac{2188.76 \text{ g/s}}{112.47 \text{ KN}} = 19.46 \text{ g/s N}$$

Después de realizar el análisis teórico con los datos experimentales, se identificó que el motor CFM56 proporciona un Empuje de 112.47 KN con TSFC de 19.46 g/s N

Para determinar el rendimiento del motor se va a comparar la energía potencial almacenada en el combustible con la cantidad de potencia que el motor está produciendo.

8.4.4.1. Rendimiento del motor implementando combustible JET A1.

1 kg de JET A1 contiene 46'890.000 J de energía calorífica, 1 J equivale a 0.102 Kg m

Para determinar el trabajo potencial se debe multiplicar 42'800.000 J por 0.102 Kg m.

$$46'890.000 * 0.102 \text{ Kg m} = 4'782,780 \text{ Kg m} = 34'593.914 \text{ lb Ft}$$

Para determinar el rendimiento del motor se divide el valor del trabajo potencial por la cantidad de libras / pies por minuto que tiene un caballo de fuerza (Hp).

$$Hp = \frac{34'593.914 \text{ lb ft}}{33000 \text{ lb ft /min}} = 1048.3 \text{ Hp} = 781.71 \text{ KW}$$

Este valor será el equivalente en Hp de 1 libra de combustible si fuese quemada completamente en 1 min.

8.4.4.2. Rendimiento del motor implementando combustible biodiesel

1 kg de biodiesel contiene 37'100.000 J de energía calorífica, 1 J equivale a 0.102 Kg m

Para determinar el trabajo potencial se debe multiplicar 37'100.000 J por 0.102 Kg m.

$$37'100.000 * 0.102 \text{ Kg m} = 3'784,200 \text{ Kg m} = 27'371.171 \text{ lb Ft}$$

Para determinar el rendimiento del motor se divide el valor del trabajo potencial por la cantidad de libras / pies por minuto que tiene un caballo de fuerza (Hp),

$$Hp = \frac{27'371.171 \text{ lb ft}}{33000 \text{ lb ft /min}} = 829.429 \text{ Hp} = 618.50 \text{ KW}$$

Este valor será el equivalente en Hp de 1 libra de combustible si fuese quemada completamente en 1 min.

8.4.4.3. Rendimiento del motor implementando la Mezcla de 90% combustible JETA1 10% Biodiesel (B-10).

1 kg de la mezcla 90% JET A1 10% biodiesel contiene 45'910.000 J de energía calorífica, 1 J equivale a 0.102 Kg m. Para determinar el trabajo potencial se debe multiplicar 45'910.000 J por 0.102 Kg m.

$$45'910.000 * 0.102 \text{ Kg m} = 4'682,820 \text{ Kg m} = 33'870.901 \text{ lb Ft}$$

Para determinar el rendimiento del motor se divide el valor del trabajo potencial por la cantidad de libras / pies por minuto que tiene un caballo de fuerza (Hp),

$$Hp = \frac{33'870.901 \text{ lb ft}}{33000 \text{ lb ft /min}} = 1026.3 \text{ Hp} = 765.3 \text{ KW}$$

8.4.4.4. Rendimiento del motor implementando la Mezcla de 80% combustible JETA1 20% Biodiesel (B-20).

1 kg de la mezcla 80% JET A1 20% biodiesel contiene 45'870.000J de energía calorífica, 1 J equivale a 0.102 Kg m. Para determinar el trabajo potencial se debe multiplicar 45'870.000J por 0.102 Kg m.

$$45'870.000 * 0.102 \text{ Kg m} = 4'678,740 \text{ Kg m} = 33'841.391 \text{ lb Ft}$$

Para determinar el rendimiento del motor se divide el valor del trabajo potencial por la cantidad de libras / pies por minuto que tiene un caballo de fuerza (Hp),

$$Hp = \frac{33'841.391 \text{ lb ft}}{33000 \text{ lb ft /min}} = 1025.4 \text{ Hp} = 764.6 \text{ KW}$$

8.4.4.5. Rendimiento del motor implementando la Mezcla de 50% combustible JETA1 50% Biodiesel (B-50).

1 kg de la mezcla 50% JET A1 50% biodiesel contiene 45'625.000 de energía calorífica, 1 J equivale a 0.102 Kg m. Para determinar el trabajo potencial se debe multiplicar 45'625.000J por 0.102 Kg m.

$$45'625.000 * 0.102 \text{ Kg m} = 4'653,750 \text{ Kg m} = 33'660.638 \text{ lb Ft}$$

Para determinar el rendimiento del motor se divide el valor del trabajo potencial por la cantidad de libras / pies por minuto que tiene un caballo de fuerza (Hp),

$$Hp = \frac{33'660.638 \text{ lb ft}}{33000 \text{ lb ft /min}} = 1020 \text{ Hp} = 760.6 \text{ KW}$$

8.4.5. Análisis Computacional. Con el fin de validar el empuje y el TSFC del motor se hace uso del software computacional GasTurb 13, en el cual se hace la respectiva simulación del ciclo termodinámico del motor implementando los siguientes datos experimentales:

<i>Intake Pressure Ratio = 0.99</i>	<i>Bypass Duct Pressure Ratio = 0,975</i>
<i>N0 (0)or Average (1)core dP/P = 1</i>	<i>Burner Exit Temperature = 1636,29 K</i>
<i>Inner Fan Pressure Ratio = 1</i>	<i>Fuel Heating value = ?</i>
<i>Outer Fan Pressure Ratio = 1,71353</i>	<i>Overboard Bleed = 0 kg</i>
<i>IP Compressor Pressure Ratio = 2,23709</i>	<i>Power offtake = 0 KW</i>
<i>HP Compressor Pressure Ratio</i>	<i>Gear Ratio = 1</i>
<i>= 10,6724</i>	<i>Burner Pressure Ratio = 0,95</i>

Para esta simulación se van a mantener constantes los datos anteriormente relacionados y únicamente se va a cambiar el Fuel Heating value que es la relación del poder calorífico del combustible con el que opera el motor.

8.4.5.1. Etapas motor CFM56. Con el fin de interpretar los datos que arroja la simulación en el software computacional es necesario conocer las etapas del motor en las cuales se realiza el análisis del ciclo termodinámico.

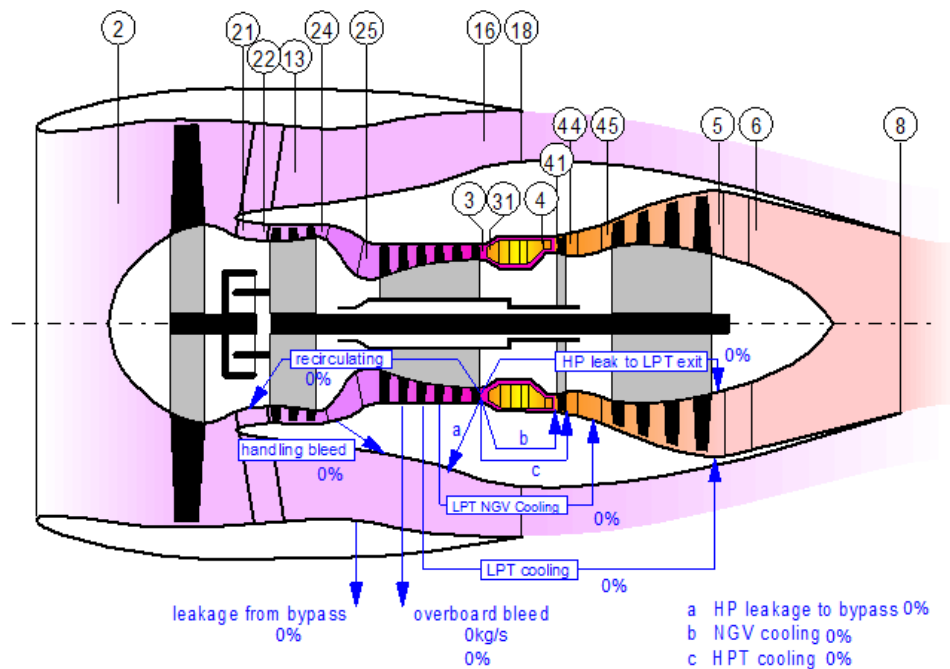


Figura 4 Etapas de análisis motor CFM56

8.4.5.2. Implementación combustible JETA1. Para este análisis se toma un Fuel Heating value equivalente a 46,89 MJ/kg y se mantienen constantes los otros datos experimentales.

Property	Unit	Value	Comment
Intake Pressure Ratio		0,99	
No (0) or Average (1) Core dP/P		1	
Inner Fan Pressure Ratio		1	
Outer Fan Pressure Ratio		1,71353	
IP Compressor Pressure Ratio		2,23709	
HP Compressor Pressure Ratio		10,6724	
Bypass Duct Pressure Ratio		0,975	
Design Bypass Ratio		5,29426	
Burner Exit Temperature	K	1636,29	
Fuel Heating Value	MJ/kg	46,89	
Overboard Bleed	kg/s	0	
Power Offtake	kW	0	
Gear Ratio		1	
Burner Pressure Ratio		0,95	

Figura 5 Análisis computacional con JETA1

Una vez ingresados los datos experimentales al software computacional se realiza la respectiva simulación en la que se encuentran los siguientes resultados:

Station	W kg/s	T K	P kPa	WRstd kg/s		
amb		288,15	101,325		FN	= 111,80 kN
2	583,236	324,96	152,899	410,450	TSFC	= 17,9917 g/(kN*s)
13	490,574	385,06	261,997	219,321	WF	= 2,01150 kg/s
21	92,662	324,96	152,899	65,210	s NOX	= 1,3557
22	92,662	324,96	152,899	65,210	Core Eff	= 0,5243
24	92,662	416,70	342,049	33,009	Prop Eff	= 0,7412
25	92,662	416,70	342,049	33,009	BPR	= 5,2943
3	92,662	846,25	3650,483	4,408	P2/P1	= 0,9900
31	92,662	846,25	3650,483		P3/P2	= 23,88
4	94,673	1636,29	3467,959	6,592	P5/P2	= 1,6078
41	94,673	1636,29	3467,959	6,592	P16/P13	= 0,9750
43	94,673	1280,78	1043,307		P16/P6	= 1,03909
44	94,673	1280,78	1043,307		P16/P2	= 1,67069
45	94,673	1280,78	1043,307	19,385	P6/P5	= 1,00000
49	94,673	943,59	245,837		A8	= 0,30389 m ²
5	94,673	943,59	245,837	70,612	A18	= 0,95562 m ²
8	94,673	943,59	245,837	70,612	XM8	= 1,00000
18	490,574	385,06	255,447	224,945	XM18	= 1,00000
Bleed	0,000	846,25	3650,483		WB1d/w2	= 0,00000
Efficiency	isent	polytr	RNI	P/P	CD8	= 0,98000
Outer LPC	0,8961	0,9037	1,308	1,714	CD18	= 0,97600
Inner LPC	0,9100	0,9100	1,308	1,000	PWX	= 0,0 kW
IP Compressor	0,9107	0,9201	1,308	2,237	V18/v8_id	= 0,64596
HP Compressor	0,8788	0,9100	2,175	10,672	WBLD/w22	= 0,00000
Burner	1,0000			0,950	wreci/w25	= 0,00000
HP Turbine	0,9030	0,8900	4,506	3,324	Loading	= 100,00 %
LP Turbine	0,9000	0,8828	1,795	4,244	WCHN/w25	= 0,00000
HP Spool mech Eff	1,0000	Nom Spd	14320 rpm		WCHR/w25	= 0,00000
LP Spool mech Eff	1,0000	Nom Spd	4850 rpm		WCLN/w25	= 0,00000
P22/P21=1,0000	P25/P24=1,0000	P45/P44=1,0000			WCLR/w25	= 0,00000
					WBLD/w25	= 0,00000
					WLkBy/w25	= 0,00000
					wlkLP/w25	= 0,00000
hum [%]	war0	FHV	Fuel			
0,0	0,00000	46,890	Generic			

Figura 6 Resultados del análisis con JETA1

Al validar los datos obtenidos se evidencia un empuje de 111.80 KN con un consumo específico de combustible TSFC de 17.9917 g/ (KN s).

8.4.5.3. Implementación combustible biodiesel. Para este análisis se toma un Fuel Heating value equivalente a 37,10 MJ/kg y se mantienen constantes los otros datos experimentales

Property	Unit	Value	Comment
Intake Pressure Ratio		0,99	
No (0) or Average (1) Core dP/P		1	
Inner Fan Pressure Ratio		1	
Outer Fan Pressure Ratio		1,71353	
IP Compressor Pressure Ratio		2,23709	
HP Compressor Pressure Ratio		10,6724	
Bypass Duct Pressure Ratio		0,975	
Design Bypass Ratio		5,29426	
Burner Exit Temperature	K	1636,29	
Fuel Heating Value	MJ/kg	37,10	
Overboard Bleed	kg/s	0	
Power Offtake	kW	0	
Gear Ratio		1	
Burner Pressure Ratio		0,95	

Figura 7 Análisis computacional con biodiesel

Una vez ingresados los datos experimentales al software computacional se realiza la respectiva simulación en la que se encuentran los siguientes resultados:

Station	W	T	P	WRstd		
amb						
2	583,236	288,15	101,325	410,450	FN =	113,57 kN
13	490,574	385,06	261,997	219,321	TSFC =	22,7721 g/(kN*s)
21	92,662	324,96	152,899	65,210	WF =	2,58620 kg/s
22	92,662	324,96	152,899	65,210	s NOX =	1,3557
24	92,662	416,70	342,049	33,009	Core Eff =	0,5260
25	92,662	416,70	342,049	33,009	Prop Eff =	0,7386
3	92,662	846,25	3650,483	4,408	BPR =	5,2943
31	92,662	846,25	3650,483	4,408	P2/P1 =	0,9900
4	95,248	1636,29	3467,959	6,632	P3/P2 =	23,88
41	95,248	1636,29	3467,959	6,632	P5/P2 =	1,6590
43	95,248	1286,85	1053,740		P16/P13 =	0,9750
44	95,248	1286,85	1053,740		P16/P6 =	1,00704
45	95,248	1286,85	1053,740	19,355	P16/P2 =	1,67069
49	95,248	955,40	253,662	69,278	P6/P5 =	1,00000
5	95,248	955,40	253,662	69,278	A8 =	0,29850 m ²
8	95,248	955,40	253,662	69,278	A18 =	0,95562 m ²
18	490,574	385,06	255,447	224,945	XM8 =	1,00000
Bleed	0,000	846,25	3650,483		XM18 =	1,00000
Efficiency	isentr	polytr	RNI	P/P	WBld/w2 =	0,00000
Outer LPC	0,8961	0,9037	1,308	1,714	CD8 =	0,98000
Inner LPC	0,9100	0,9100	1,308	1,000	CD18 =	0,97600
IP Compressor	0,9107	0,9201	1,308	2,237	PWx =	0,0 kw
HP Compressor	0,8788	0,9100	2,175	10,672	V18/v8_id=	0,63171
Burner	1,0000			0,950	WBLD/w22 =	0,00000
HP Turbine	0,9028	0,8900	4,499	3,291	wreci/w25=	0,00000
LP Turbine	0,9000	0,8832	1,803	4,154	Loading =	100,00 %
HP Spool mech Eff	1,0000	Nom Spd	14320 rpm		WCHN/w25 =	0,00000
LP Spool mech Eff	1,0000	Nom Spd	4850 rpm		WCHR/w25 =	0,00000
P22/P21=1,0000	P25/P24=1,0000	P45/P44=1,0000			WCLN/w25 =	0,00000
					WCLR/w25 =	0,00000
					WBLD/w25 =	0,00000
					WLkBy/w25=	0,00000
					WlklP/w25=	0,00000

Figura 8 Resultados del análisis con biodiesel

Al validar los datos obtenidos se evidencia un empuje de 113.57 KN con un consumo específico de combustible TSFC de 22.7721 g/ (KN s).

8.4.5.4. Implementación combustible con una mezcla de 90% combustible JETA1 10% Biodiesel (B-10). Para este análisis se toma un Fuel heating value equivalente a 45,91 MJ/kg y se mantienen constantes los otros datos experimentales

Property	Unit	Value	Comment
Intake Pressure Ratio		0,99	
No (0) or Average (1) Core dP/P		1	
Inner Fan Pressure Ratio		1	
Outer Fan Pressure Ratio		1,71353	
IP Compressor Pressure Ratio		2,23709	
HP Compressor Pressure Ratio		10,6724	
Bypass Duct Pressure Ratio		0,975	
Design Bypass Ratio		5,29426	
Burner Exit Temperature	K	1636,29	
Fuel Heating Value	MJ/kg	45,91	
Overboard Bleed	kg/s	0	
Power Offtake	kW	0	
Gear Ratio		1	
Burner Pressure Ratio		0,95	

Figura 9 Análisis computacional con B-10

Una vez ingresados los datos experimentales al software computacional se realiza la respectiva simulación en la que se encuentran los siguientes resultados:

Station	W	T	P	WRstd		
amb	kg/s	K	kPa	kg/s	FN	= 111,95 kN
2	583,236	288,15	101,325	410,450	TSFC	= 18,3860 g/(kN*s)
13	490,574	385,06	261,997	219,321	WF	= 2,05825 kg/s
21	92,662	324,96	152,899	65,210	s NOX	= 1,3557
22	92,662	324,96	152,899	65,210	Core Eff	= 0,5242
24	92,662	416,70	342,049	33,009	Prop Eff	= 0,7410
25	92,662	416,70	342,049	33,009	BPR	= 5,2943
3	92,662	846,25	3650,483	4,408	P2/P1	= 0,9900
31	92,662	846,25	3650,483	4,408	P3/P2	= 23,88
4	94,720	1636,29	3467,959	6,595	P5/P2	= 1,6120
41	94,720	1636,29	3467,959	6,595	P16/P13	= 0,9750
43	94,720	1281,28	1044,160		P16/P6	= 1,03641
44	94,720	1281,28	1044,160		P16/P2	= 1,67069
45	94,720	1281,28	1044,160	19,382	P6/P5	= 1,00000
49	94,720	944,57	246,474		A8	= 0,30344 m ²
5	94,720	944,57	246,474	70,500	A18	= 0,95562 m ²
8	94,720	944,57	246,474	70,500	XM8	= 1,00000
18	490,574	385,06	255,447	224,945	XM18	= 1,00000
Bleed	0,000	846,25	3650,483		WB1d/w2	= 0,00000
Efficiency	isentr	polytr	RNI	P/P	CD8	= 0,98000
Outer LPC	0,8961	0,9037	1,308	1,714	CD18	= 0,97600
Inner LPC	0,9100	0,9100	1,308	1,000	PWX	= 0,0 kw
IP Compressor	0,9107	0,9201	1,308	2,237	V18/v8_id	= 0,64476
HP Compressor	0,8788	0,9100	2,175	10,672	WBLD/w22	= 0,00000
Burner	1,0000			0,950	wreci/w25	= 0,00000
HP Turbine	0,9030	0,8900	4,506	3,321	Loading	= 100,00 %
LP Turbine	0,9000	0,8828	1,796	4,236	WCHN/w25	= 0,00000
HP Spool mech Eff	1,0000	Nom Spd	14320 rpm		WCHR/w25	= 0,00000
LP Spool mech Eff	1,0000	Nom Spd	4850 rpm		WCLN/w25	= 0,00000
P22/P21=1,0000	P25/P24=1,0000	P45/P44=1,0000			WCLR/w25	= 0,00000
					WBLD/w25	= 0,00000
					WLkBy/w25	= 0,00000
					w1kLP/w25	= 0,00000

Figura 10 Resultados del análisis con B-10

Al validar los datos obtenidos se evidencia un empuje de 111.95 KN con un consumo específico de combustible TSFC de 18.3860 g/ (KN s).

8.4.5.5. Implementación combustible con una mezcla de 80% combustible JETA1 20%

Biodiesel (B-20) Para este análisis se toma un Fuel Heating value equivalente a 45,87 MJ/kg y se mantienen constantes los otros datos experimentales

Property	Unit	Value	Comment
Intake Pressure Ratio		0,99	
No (0) or Average (1) Core dP/P		1	
Inner Fan Pressure Ratio		1	
Outer Fan Pressure Ratio		1,71353	
IP Compressor Pressure Ratio		2,23709	
HP Compressor Pressure Ratio		10,6724	
Bypass Duct Pressure Ratio		0,975	
Design Bypass Ratio		5,29426	
Burner Exit Temperature	K	1636,29	
Fuel Heating Value	MJ/kg	45,87	
Overboard Bleed	kg/s	0	
Power Offtake	kW	0	
Gear Ratio		1	
Burner Pressure Ratio		0,95	

Figura 11 Análisis computacional con B-20

Una vez ingresados los datos experimentales al software computacional se realiza la respectiva simulación en la que se encuentran los siguientes resultados:

Station	W	T	P	WRstd		
amb					FN	= 111,95 kN
2	583,236	288,15	101,325	410,450	TSFC	= 18,4024 g/(kN*s)
13	490,574	324,96	152,899	219,321	WF	= 2,06021 kg/s
21	92,662	324,96	152,899	65,210	s NOX	= 1,3557
22	92,662	324,96	152,899	65,210	Core Eff	= 0,5242
24	92,662	416,70	342,049	33,009	Prop Eff	= 0,7410
25	92,662	416,70	342,049	33,009	BPR	= 5,2943
3	92,662	846,25	3650,483	4,408	P2/P1	= 0,9900
31	92,662	846,25	3650,483	4,408	P3/P2	= 23,88
4	94,722	1636,29	3467,959	6,595	P5/P2	= 1,6122
41	94,722	1636,29	3467,959	6,595	P16/P13	= 0,9750
43	94,722	1281,30	1044,195		P16/P6	= 1,03630
44	94,722	1281,30	1044,195		P16/P2	= 1,67069
45	94,722	1281,30	1044,195	19,382	P6/P5	= 1,00000
49	94,722	944,61	246,500		A8	= 0,30342 m ²
5	94,722	944,61	246,500	70,496	A18	= 0,95562 m ²
8	94,722	944,61	246,500	70,496	XM8	= 1,00000
18	490,574	385,06	255,447	224,945	XM18	= 1,00000
Bleed	0,000	846,25	3650,483		WB1d/w2	= 0,00000
Efficiency	isent	polytr	RNI	P/P	CD8	= 0,98000
Outer LPC	0,8961	0,9037	1,308	1,714	CD18	= 0,97600
Inner LPC	0,9100	0,9100	1,308	1,000	PWX	= 0,0 kw
IP Compressor	0,9107	0,9201	1,308	2,237	V18/v8_id	= 0,64471
HP Compressor	0,8788	0,9100	2,175	10,672	WBLD/w22	= 0,00000
Burner	1,0000			0,950	wrecj/w25	= 0,00000
HP Turbine	0,9030	0,8900	4,506	3,321	Loading	= 100,00 %
LP Turbine	0,9000	0,8828	1,796	4,236	WCHN/w25	= 0,00000
HP Spool mech Eff	1,0000	Nom Spd	14320 rpm		WCHR/w25	= 0,00000
LP Spool mech Eff	1,0000	Nom Spd	4850 rpm		WCLN/w25	= 0,00000
P22/P21=1,0000	P25/P24=1,0000	P45/P44=1,0000			WCLR/w25	= 0,00000
					WBLD/w25	= 0,00000
					WlkBy/w25	= 0,00000
					WlkLP/w25	= 0,00000

Figura 12 Resultados del análisis con B-20

Al validar los datos obtenidos se evidencia un empuje de 111.95 KN con un consumo específico de combustible TSFC de 18.4024 g/ (KN s).

8.4.5.6. Implementación combustible con una mezcla de 50% combustible JETA1 50% Biodiesel (B-50). Para este análisis se toma un Fuel Heating value equivalente a 45,62 MJ/kg y se mantienen constantes los otros datos experimentales

Property	Unit	Value	Comment
Intake Pressure Ratio		0,99	
No (0) or Average (1) Core dP/P		1	
Inner Fan Pressure Ratio		1	
Outer Fan Pressure Ratio		1,71353	
IP Compressor Pressure Ratio		2,23709	
HP Compressor Pressure Ratio		10,6724	
Bypass Duct Pressure Ratio		0,975	
Design Bypass Ratio		5,29426	
Burner Exit Temperature	K	1636,29	
Fuel Heating Value	MJ/kg	45,62	
Overboard Bleed	kg/s	0	
Power Offtake	kW	0	
Gear Ratio		1	
Burner Pressure Ratio		0,95	

Figura 13 Análisis computacional con B-50

Una vez ingresados los datos experimentales al software computacional se realiza la respectiva simulación en la que se encuentran los siguientes resultados:

Station	W	T	P	WRstd		
amb	kg/s	K	kPa	kg/s	FN	= 111,99 kN
2	583,236	288,15	101,325	410,450	TSFC	= 18,5057 g/(kN*s)
13	490,574	385,06	261,997	219,321	WF	= 2,07248 kg/s
21	92,662	324,96	152,899	65,210	s NOX	= 1,3557
22	92,662	324,96	152,899	65,210	Core Eff	= 0,5242
24	92,662	416,70	342,049	33,009	Prop Eff	= 0,7409
25	92,662	416,70	342,049	33,009	BPR	= 5,2943
3	92,662	846,25	3650,483	4,408	P2/P1	= 0,9900
31	92,662	846,25	3650,483	4,408	P3/P2	= 23,88
4	94,734	1636,29	3467,959	6,596	P5/P2	= 1,6133
41	94,734	1636,29	3467,959	6,596	P16/P13	= 0,9750
43	94,734	1281,43	1044,419		P16/P6	= 1,03559
44	94,734	1281,43	1044,419		P16/P2	= 1,67069
45	94,734	1281,43	1044,419	19,381	P6/P5	= 1,00000
49	94,734	944,86	246,667		A8	= 0,30330 m ²
5	94,734	944,86	246,667	70,467	A18	= 0,95562 m ²
8	94,734	944,86	246,667	70,467	XM8	= 1,00000
18	490,574	385,06	255,447	224,945	XM18	= 1,00000
Bleed	0,000	846,25	3650,483		WB1d/w2	= 0,00000
Efficiency	isentr	polytr	RNI	P/P	CD8	= 0,98000
Outer LPC	0,8961	0,9037	1,308	1,714	CD18	= 0,97600
Inner LPC	0,9100	0,9100	1,308	1,000	PWX	= 0,0 kw
IP Compressor	0,9107	0,9201	1,308	2,237	V18/V8,id	= 0,64439
HP Compressor	0,8788	0,9100	2,175	10,672	WBLD/w22	= 0,00000
Burner	1,0000			0,950	Wreci/w25	= 0,00000
HP Turbine	0,9030	0,8900	4,505	3,320	Loading	= 100,00 %
LP Turbine	0,9000	0,8828	1,796	4,234	WCHN/w25	= 0,00000
HP Spool mech Eff	1,0000	Nom Spd	14320 rpm		WCHR/w25	= 0,00000
LP Spool mech Eff	1,0000	Nom Spd	4850 rpm		WCLN/w25	= 0,00000
P22/P21=1,0000	P25/P24=1,0000	P45/P44=1,0000			WCLR/w25	= 0,00000
					WBLD/w25	= 0,00000
					WLkBy/w25	= 0,00000
					WkLP/w25	= 0,00000

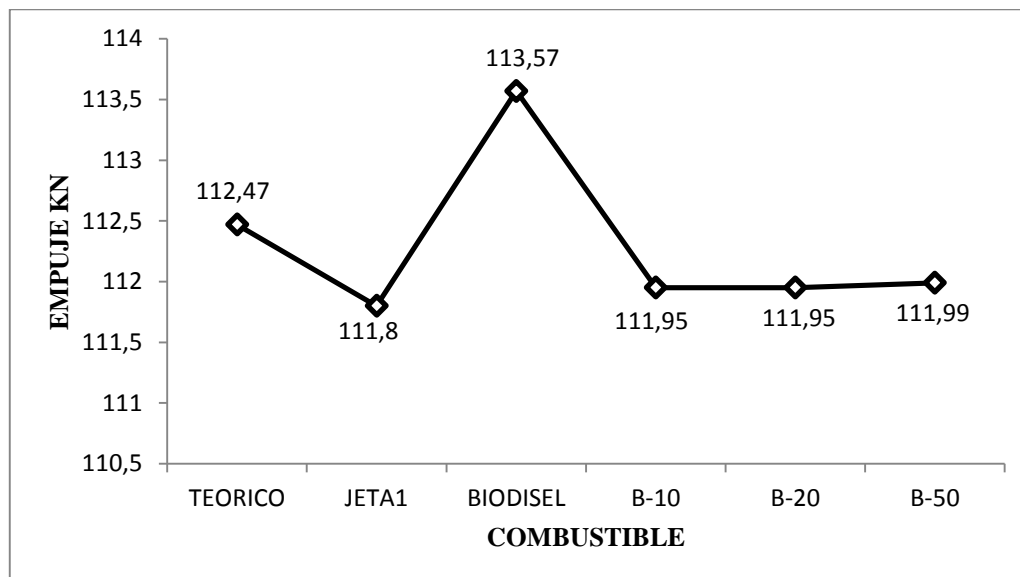
Figura 14 Resultados del análisis con B-50

Al validar los datos obtenidos se evidencia un empuje de 111.99 KN con un consumo específico de combustible TSFC de 18.50574 g/ (KN s).

8.4.6. Análisis de los resultados. Una vez determinado el empuje del motor, el TSFC y el rendimiento del motor para cada uno de los tipos de combustible implementados, se tabula la información y se grafica con el fin de comparar los resultados obtenidos.

Tabla 1 Empuje del motor

EMPUJE MOTOR CFM56						
COMBUSTIBLE	TEORICO		COMPUTACIONAL			
	-	JETA 1	BIODISEL	B-10	B-20	B-50
EMPUJE (KN)	112,47	111,8	113,57	111,95	111,95	111,99



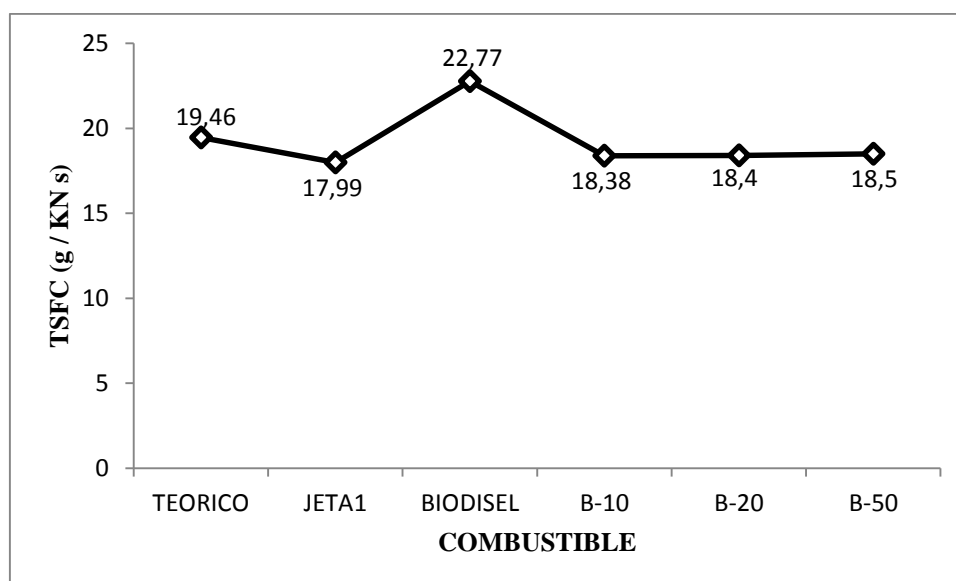
Gráfica 4 Empuje del Motor CFM56

Al visualizar la gráfica 4 se evidencia que mayor empuje del motor se presenta con la implementación del biocombustible, esto se debe a que al utilizar un combustible de origen natural es necesario un mayor consumo específico de combustible que garantiza la fuerza de empuje del motor. Debido a que la energía calorífica que posee el Biodiesel es la más baja de todos los combustibles que se utilizaron para desarrollar la simulación, se idéntico que TSFC incremento en un 26% en comparación con el JETA1, por lo que no es rentable implementar el biodiesel pu-

ro ya que sería necesario una mayor cantidad de combustible para cubrir las rutas internacionales operadas por Avianca lo cual afecta directamente la relación costo-combustible; por tal motivo se evidencia que la solución más aceptable es la implementación de una mezcla de combustible JETA1 y Biodiesel no mayor al 50%. Con este tipo de combustible se garantiza que el motor genere el empuje necesario para una operación segura, además contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero de manera considerable

Tabla 2 TSFC del Motor

TSFC MOTOR CFM56						
COMBUSTIBLE	TEORICO	COMPUTACIONAL				
	TEORICO	JETA1	BIODISEL	B-10	B-20	B-50
TSFC (g / KN s)	19,46	17,99	22,77	18,38	18,4	18,5



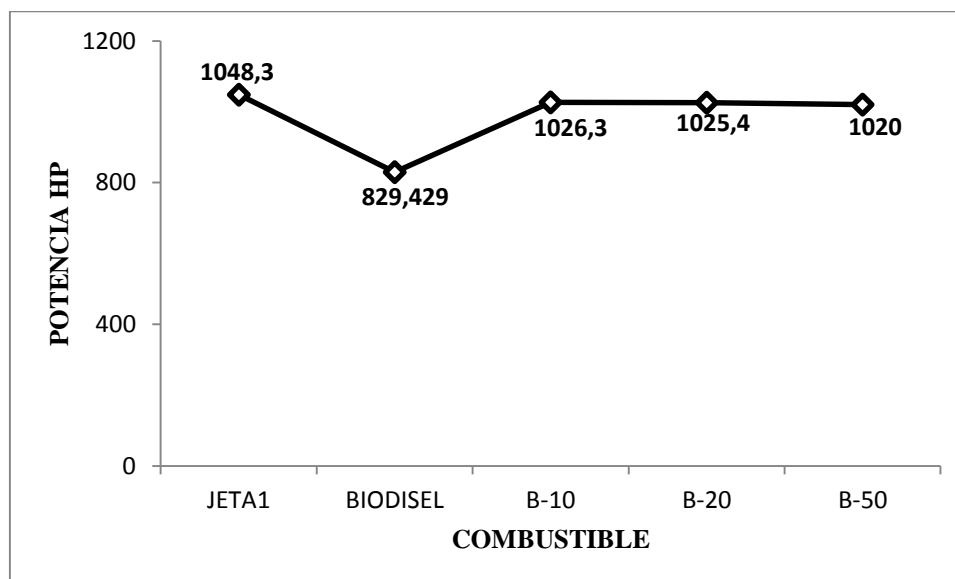
Gráfica 5 TSFC del motor CFM56

En la gráfica 5 se evidencia que el TSFC tiene un comportamiento similar al del empuje relacionado en la gráfica 1, esto ocurre debido a que estas variables dependen del poder calorífico que pueda entregar el combustible utilizado durante la operación del motor. Para este caso el mayor consumo específico de combustible se presenta con la implementación del biodiesel ya que este biocombustible tiene el poder calorífico más bajo de todos los combustibles utilizados

en la simulación, lo que crea la necesidad de una mayor mezcla aire-combustible en la combustión del motor para garantizar que se genere el empuje requerido para la propulsión del avión.

Tabla 3 Rendimiento Potencial

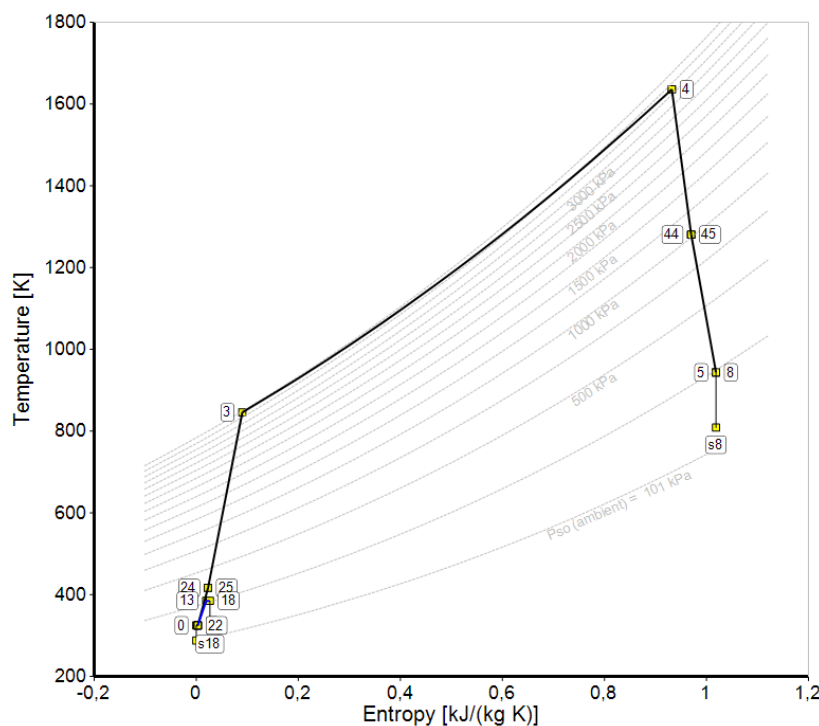
RENDIMIENTO MOTOR CFM56					
COMBUSTIBLE	JETA1	BIODISEL	B-10	B-20	B-50
RENDIMIENTO (HP)	1048,3	829,429	1026,3	1025,4	1020



Gráfica 6 Rendimiento del motor CFM56

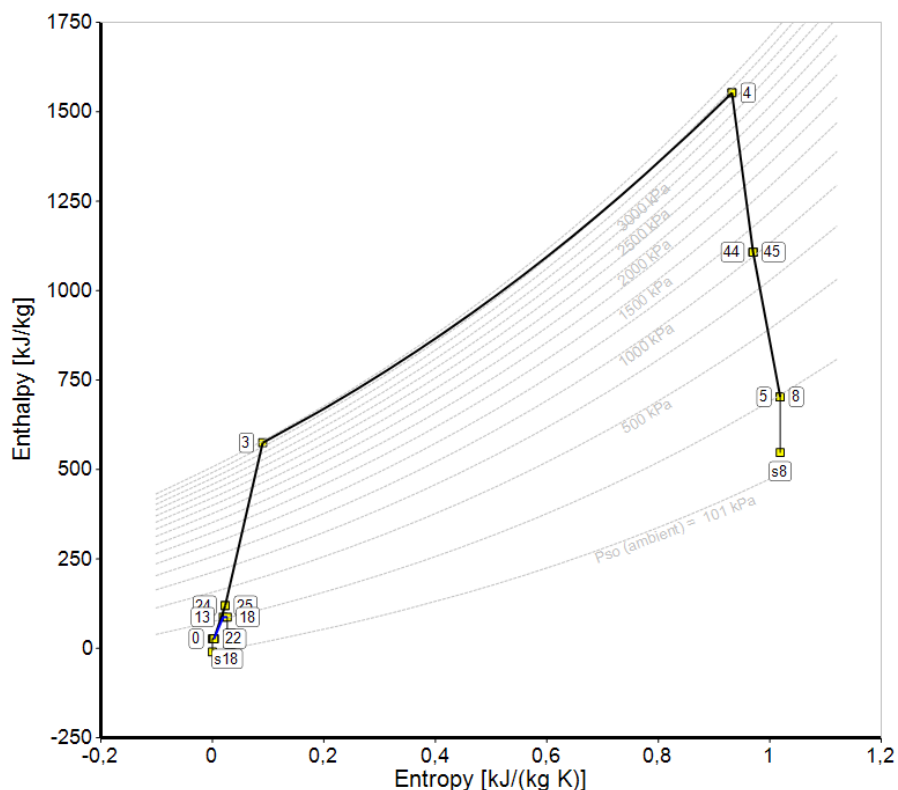
La gráfica 3 permite identificar que el rendimiento más alto del motor se consigue con la implementación del combustible fósil JETA1 debido a que contiene mayor energía calorífica, lo que genera mayores temperaturas durante la combustión del motor aportando mayor energía de empuje al vehículo. Por otro lado el menor rendimiento se consigue con la implementación del Biodiesel puro debido a que sus características químicas no permiten alcanzar los rangos de energía calorífica de los combustibles fósiles. Con el fin de garantizar que el rendimiento de los motores se mantenga en niveles seguros y óptimos para operar de manera aeronavegable, se recomienda utilizar un combustible con una mezcla entre el JETA1 y el Biodiesel no mayor al 50%.

Por medio del software Gas turb 13 se obtienen las gráficas T-S, H-S y P-V las cuales se presentan a continuación:



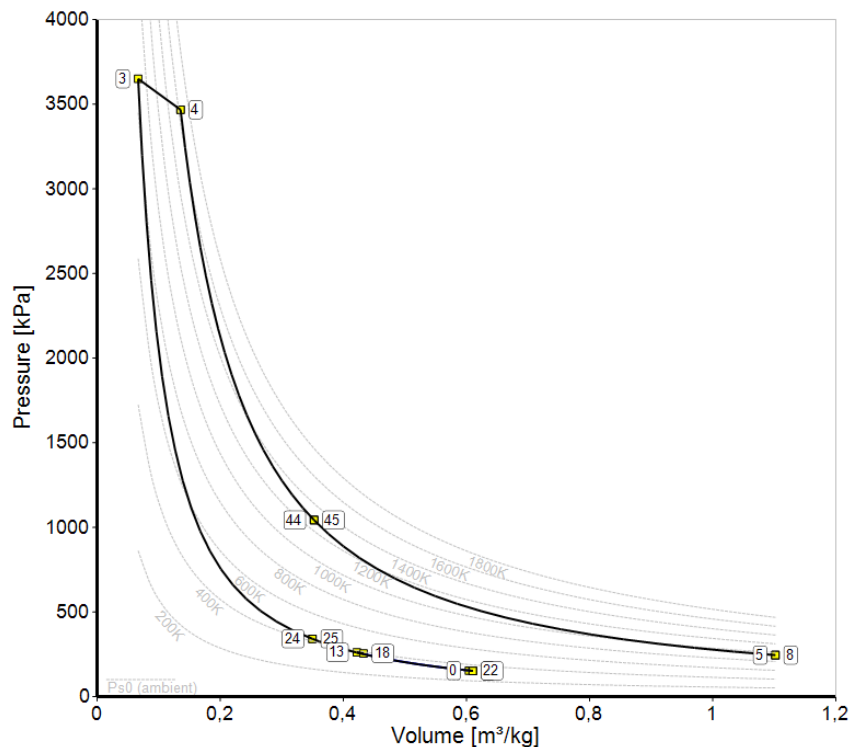
Grafica 7 Temperatura vs Entropía

Para identificar los cambios de temperatura durante el funcionamiento del motor se puede analizar la gráfica 4 que presenta el proceso de transferencia del calor durante las diferentes etapas del motor, identificando que la temperatura empieza a incrementarse una vez que la masa de aire ingresa a el HPC a partir de la etapa 21 obteniendo como la máxima temperatura en la etapa 4 que es el punto en el que los gases de combustión salen de la cámara de combustión e ingresan a la HPT, a partir de ese punto la temperatura empieza a disminuir debido a esta actúa directamente proporcional a la presión que se maneja en las diferentes etapas del motor. Este comportamiento se presenta de la misma forma para los combustibles usados durante la simulación debido a que se estandarizo la máxima temperatura en 1636,29 K, es una operación real los datos podrían variar dependiendo de las condiciones atmosféricas en las que opere el avión.



Grafica 8 Entalpia vs Entropía

Al igual que en la gráfica 7, la gráfica 8 muestra el comportamiento de la temperatura del motor en función de la energía calorífica que entrega el combustible. Para este caso se puede identificar que conforme ingresa la masa de aire al sistema, se presenta un incremento en la cantidad de energía térmica liberada, por tal motivo el mayor punto se alcanza en la etapa 4 que es donde se presenta la combustión con la mezcla aire combustible. Una vez los gases ingresan al HPT se incrementa la cantidad de energía no disponible para el funcionamiento del motor por la transferencia de calor que se presenta, a su vez la energía calorífica disminuye después de la combustión tal y como se ve reflejado a partir de las etapas 44 y 45.



Gráfica 9 Presión vs volumen

La grafica 9 presenta el comportamiento de la masa de aire durante las diferentes etapas del motor, se ve claramente cómo se reduce el volumen del gas a medida de que el LPC y HPC aumentan la presión, una vez se presenta la combustión y el combustible transfiere la energía calorífica los gases se expanden disminuyendo la presión e incrementando el volumen para generar el empuje requerido por el vehículo. Este comportamiento se mantiene de manera similar con el uso de los combustibles compuestos de la mezcla JET A1 y Biocombustible con lo que se valida una vez más que es viable empezar a utilizar combustibles más amigables con el medio ambiente sin que se comprometa el funcionamiento o rendimiento de los motores.

8.4.7. Resumen de Resultados. Una vez realizado el análisis teórico y computacional, se obtuvieron los siguientes resultados con la implementación de cada uno de los combustibles.

Tabla 4 Resumen de Resultados

MOTOR CFM56					
COMBUSTIBLE	JETA1	BIODISEL	B-10	B-20	B-50

RENDIMIENTO (HP)	1048.3	829.429	1026.3	10.25.4	1020.0
EMPUJE (KN)	111,8	113,57	111,95	111,95	111,99
TSFC (g/KN s)	17.9917	22.7721	18.3860	18.4020	18.5057
PODER CALORIFICO (MJ/KG)	46.89	37.10	45.91	45.87	45.62

9. Análisis de las Condiciones del Mercado

9.1. Mercado Internacional de Biodiésel

Desde principios de la década de 2000, el desarrollo de los mercados mundiales de biocombustibles tiene el impulso de políticas públicas que fomentan su producción y su uso. En un principio las políticas se establecieron por una combinación de factores, entre ellos la opinión de que el uso de los biocombustibles mejoraría el aspecto de la seguridad energética y reduciría las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El apoyo gubernamental a la industria de biocombustibles se refleja en normativas obligatorias de mezclas, las respectivas exenciones fiscales aplicadas a los combustibles derivados del petróleo y el apoyo a la inversión. Los mercados de biocombustibles también resultan afectados por políticas que ponen en marcha criterios de sostenibilidad, estándares de calidad de los combustibles y aranceles de importación para el etanol y el biodiésel. Las proyecciones presentadas en estas Perspectivas se basan en un conjunto de supuestos referentes a la evolución de las políticas públicas de biocombustibles en todo el mundo en el mediano plazo.

9.1.1. Potencias Mundiales en producción de Biodiésel. Desde principios de la década de 2000, el desarrollo de los mercados mundiales de biocombustibles tiene el impulso de políticas públicas que fomentan su producción y su uso. En un principio las políticas se establecieron por una combinación de factores, entre ellos la opinión de que el uso de los biocombustibles mejoraría el aspecto de la seguridad energética y reduciría las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El apoyo gubernamental a la industria de biocombustibles se refleja en normativas obligatorias de mezclas, las respectivas exenciones fiscales aplicadas a los combustibles derivados del petróleo y el apoyo a la inversión. En la

actualidad siguen creciendo los países que se dedican a la producción de combustibles con materias primas diferentes al petróleo; a continuación, se presentan los principales productores de biodiésel a nivel mundial.

9.1.1.1. *Estados Unidos.* En promedio, el biodiésel representó en los Estados Unidos aproximadamente el 4% del consumo total de diésel en 2016 y su producción se concentra en el medio oeste. Su consumo ese año ascendió a 2,189 millones de galones, de los cuales 1,569 millones de galones (72%) se produjeron en el país. Las instalaciones de biodiésel de EE. UU. alcanzaron el 69% de la capacidad nominal y la capacidad de producción anual a principios del año pasado ascendió a 2.270 millones de galones.

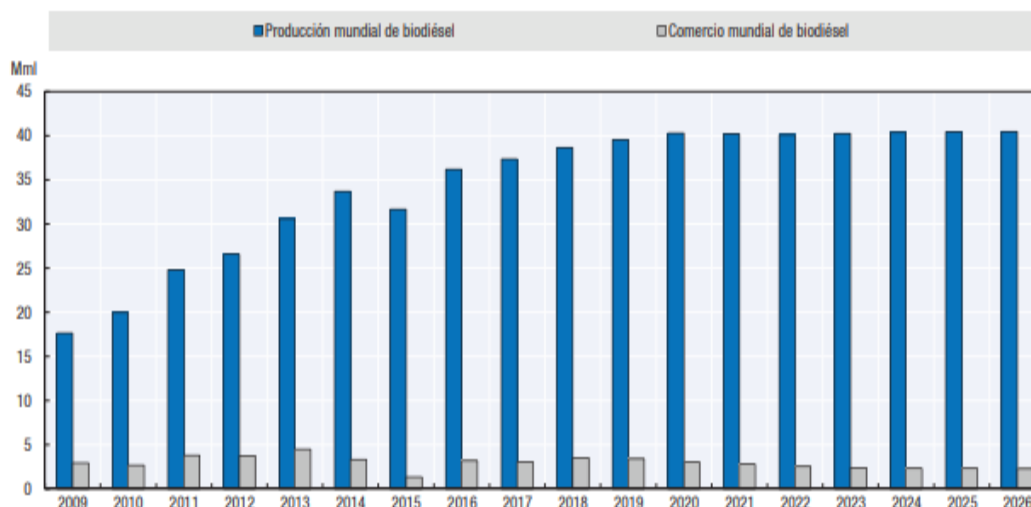
9.1.1.2. *Unión Europea.* En la Unión Europea es importante la producción de biodiesel de primera generación en base a aceite de colza y palma. la producción europea de biodiesel registra un fuerte crecimiento en los últimos ocho años. En el 2017 se alcanzó una proyección de producción cercana a las 12,9 millones de toneladas. En apenas 8 años la Unión Europea vio crecer su producción en un 45%, cifra realmente significativa.

9.1.1.3. *China.* En China, en varias ciudades se cuenta con normas obligatorias y el desarrollo de la flotilla de transporte deberá fomentar el incremento del uso de etanol. Se prevé que el Gobierno de India ejecutará una norma obligatoria de etanol de 10%. Sin embargo, la cuota de etanol actual en el combustible tipo gasolina en términos de volumen es de alrededor de 3% y, dado que no se espera que el aumento del etanol mantendrá el paso del fuerte crecimiento proyectado de la demanda de gasolina, esta cuota deberá disminuir a 2.4% durante el periodo de la proyección. En Tailandia, el Gobierno estableció metas para el uso de etanol y biodiésel de 4.1 mil millones de litros (Mml) y 5.1 Mml para 2036. En estas Perspectivas se esperan metas de 3 Mml para el etanol y de 1.7 Mml para el biodiésel hacia 2026. El desarrollo de la producción de etanol sería impulsado por los subsidios, los cuales bajan los precios de las mezclas con altos contenidos de etanol.

9.1.1.4. Brasil. La producción de biodiesel en Brasil crecerá un 31% el próximo año, aseguró la Asociación Brasileña de Industrias de Aceites Vegetales (Abiove). El incremento es consecuencia de un aumento por parte del gobierno de ese país a la cantidad de biocombustible que se utiliza en la mezcla con combustibles, la cual paso de 8% a 10% para marzo del 2018. La producción actual de biodiesel es de 4 mil 200 millones de litros y se espera que alcance los 5 mil 500 millones para el próximo año. Actualmente Brasil tiene un corte de uso obligatorio de biodiesel del 10% y se espera que en el 2023 el corte pase al 15% a razón de 1% de aumento por año.

9.1.1.5. Argentina. La industria de biodiesel en Argentina cuenta con 37 fábricas, con una capacidad de producción anual conjunta cercana a 4,4 Mt/año. Es un complejo industrial de gran relevancia para el país, ya que en el año 2016 produjo cerca de 2,6 Mt de biodiesel, exportando 1,6 Mt y generando divisas por U\$S 1.175 millones. Estas fábricas registran una capacidad de producción anual conjunta de aproximadamente 4.400.000 toneladas/año.

9.1.2. Producción de Biodiésel a nivel mundial. Se prevé que la producción mundial de biodiésel llegará a 40.5 Mml para 2026, lo que equivale a un aumento de 12% con respecto al nivel de 2016 (grafica 10). Más que las fuerzas del mercado, la política seguirá influyendo en los patrones de producción. Se estima que la Unión Europea permanezca como el productor más importante de biodiésel, por un gran margen. La producción llegará a 13 Mml para 2026, por debajo de los 13.3 Mml de 2016 y los 14.3 Mml de 2020, cuando se supone que se cumplirá el objetivo de la RED. Lo anterior se relaciona con las menores perspectivas de uso de diésel. El aceite vegetal se mantiene como la materia prima preferida para la producción de biodiésel. En la Unión Europea y Estados Unidos se desarrollará la producción de biodiésel a partir de aceite de desecho y sebo.



Gráfica 10 Desarrollo del mercado mundial de biodiésel

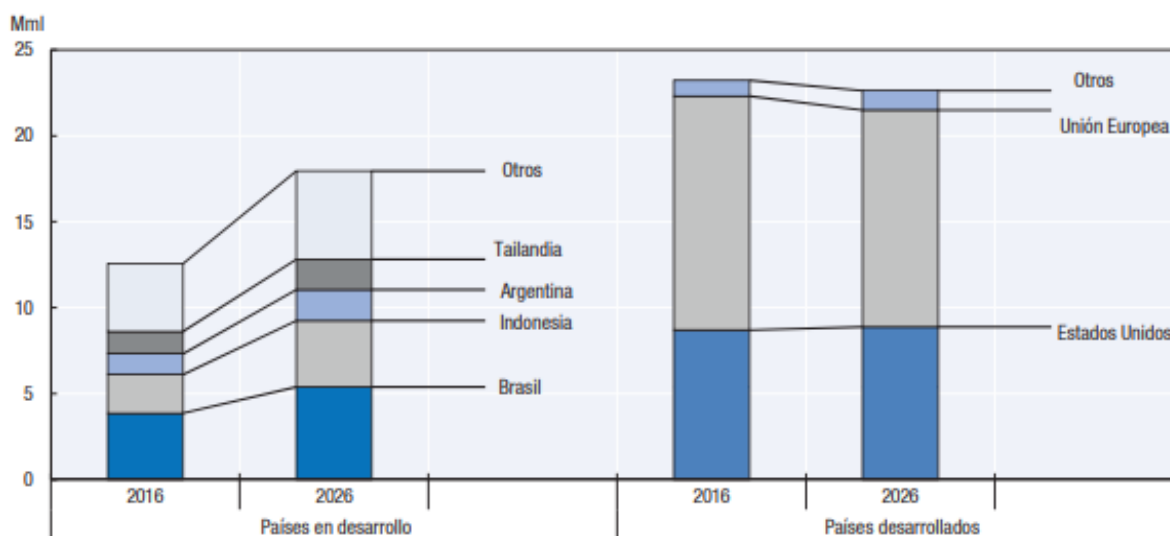
En Estados Unidos, la producción de biodiésel permanecerá estable cerca de 7.4 Mml. Esta se utilizará para cubrir la norma obligatoria de biodiésel, así como parte de la brecha de la norma obligatoria avanzada. El biodiésel argentino también ayudará a cubrir la brecha de la norma obligatoria avanzada de Estados Unidos, sobre todo en los primeros años del periodo de la proyección. Dada la mayor demanda interna e internacional, la producción de Argentina deberá aumentar de 3.1 Mml en 2016 a 3.7 Mml en 2019. La menor demanda de importaciones deberá provocar que la producción de Argentina baje a 2.9 Mml para 2026. Otros actores importantes son Brasil, Indonesia y Tailandia. Brasil deberá contribuir a 36% de aumento de la producción mundial de biodiésel para cubrir su norma obligatoria interna de 8% y mantener su posición como el tercer mayor productor de biodiésel.

9.1.3. Uso del biodiésel a nivel mundial. Se espera que el uso mundial del biodiésel se incremente 4.8 Mml durante el periodo de la proyección (13% en comparación con 2016). El uso del biodiésel deberá disminuir en los países desarrollados y aumentar de manera constante en los países en desarrollo. Se prevé que el uso del biodiésel en Indonesia llegará a 3.9 Mml en 2026. Se estima que en Brasil y Argentina aumentará para 2026 a 5.4 Mml y 1.8 Mml, respectivamente, debido a los recién anunciados aumentos en las normativas internas. En varios países en desarrollo se cuenta con requerimientos de mezcla de biodiésel. Colombia, India, Malasia, Paraguay, Tailandia y Vietnam también experimentarán un

incremento en el uso del biodiésel; la mayoría de los países parten de niveles muy bajos de consumo y su cuota de biodiésel en combustibles tipo diésel en términos de volumen se mantendrá entre 1% y 3%.

En la Unión Europea se proyecta que el uso del biodiésel se incrementará de 13.6 Mml en 2016 a su nivel más alto de 14.6 Mml en 2020, cuando se cubra el objetivo de la RED. Para 2026, se espera que el uso del biodiésel en Europa baje a 12.6 Mml debido a la fuerte baja estimada en el uso del diésel. La cuota promedio de biodiésel en combustibles tipo diésel se mantendrá en cerca de 6.5% (Figura 3.7.7). En

Estados Unidos, se supone que la norma obligatoria para el biodiésel mantendrá su nivel de 7.9 Mml especificado para 2018 en la regulación RFS 2017 durante el periodo de las perspectivas. Se proyecta que el consumo de biodiésel estadounidense alcance su volumen máximo de 9.25 Mml en 2018, ya que el biodiésel deberá captar un porcentaje de la norma obligatoria avanzada en un periodo en el que el uso adicional del etanol se encuentra limitado por la barrera de mezcla. En consecuencia, el uso del biodiésel deberá bajar alrededor de 5%, pero en un contexto de baja en el consumo de diésel. Se estima que la cuota de biodiésel en combustibles tipo diésel en términos de volumen aumentará 4.43% para 2026.

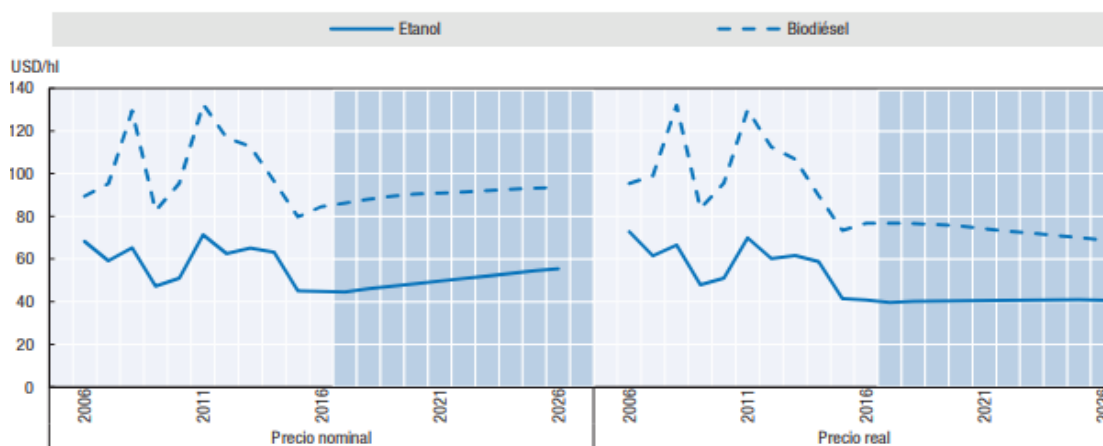


Grafica 11 Evolución de las distribuciones regionales del uso mundial de biodiésel

9.1.4. Comercio del Biodiésel a nivel mundial. Se proyecta que el comercio del biodiésel retrocederá 20% o 0.9 Mml durante los próximos 10 años, puesto que la mayoría de los países con norma obligatoria u objetivo de biodiésel los cubrirán internamente. Argentina continuará como el principal exportador, seguido de Indonesia. Las exportaciones de Indonesia se recuperaron en 2016, después de caer a su nivel más bajo en 2015, pero en estas Perspectivas se contempla que las exportaciones permanecerán planas. De manera similar, se proyecta que las exportaciones de Malasia se mantendrán planas, en alrededor de 400 millones de litros (MI) de 2016 a 2026. Pese a los requerimientos de sostenibilidad, las necesidades de importación serán importantes en la Unión Europea en el periodo previo a 2020 y disminuirán a partir de entonces. Estados Unidos importará biodiésel para cubrir la norma obligatoria avanzada y Argentina será el proveedor preferido, debido a la decisión de la EPA que permite que los productores argentinos de biodiésel cumplan los requisitos de mantenimiento de registros de la RFS2.

9.1.5. Precio del Biodiésel a nivel mundial. Se espera que los precios internacionales del petróleo crudo se dupliquen en términos nominales durante el periodo base. Esto deberá reducir la demanda de combustibles tipo gasolina y diésel en los países desarrollados y, por consiguiente, la norma obligatoria para la demanda de biocombustibles. Por su parte, la demanda de biocombustibles deberá sostenerse en los países en desarrollo, dados los avances esperados en la flotilla de transporte y las políticas prevalecientes en Brasil, Argentina, Tailandia, Indonesia, India y China.

La consecuente tendencia ascendente de los precios de los biocombustibles también reflejaría la evolución de los precios de las principales materias primas para la producción de etanol y biodiésel. En términos nominales, se proyecta que el precio mundial del etanol aumentará cerca de 3%, en tanto que el precio mundial del biodiésel deberá incrementarse 11%. Expresado en términos reales, se espera que el precio mundial del etanol se mantenga estable y que el precio mundial del biodiésel baje de forma moderada en los últimos años del periodo de la proyección, cuando la demanda deberá disminuir en Estados Unidos y la Unión Europea.



Grafica 12 Tendencia ascendente de los precios de los biocombustibles

9.2. Mercado Nacional de Biodiésel

Colombia es el noveno productor de biodiésel del planeta y uno de los países de Latinoamérica que más contribuye a conservar limpio el aire. Actualmente se cuenta con doce plantas productoras en funcionamiento según los datos registrados en la Federación Nacional de Biocombustibles; estas plantas se encuentran distribuidas en los departamentos de Magdalena, Atlántico, Cesar, Santander, Antioquia, Cundinamarca y Meta; estas plantas cuentan con una capacidad de producción de alrededor de 906.000 toneladas de biodiesel por año.

9.2.1. Plantas Productoras de Biodiesel en Colombia

A continuación se presentan los datos registrados por la Federación Nacional de biocombustibles en los que se detalla la ubicación geográfica y la capacidad de producción de biodiesel de cada planta.

Tabla 5 Plantas Productoras

Región	Empresa
Santa Marta, Magdalena	Biocombustibles Sostenibles del Caribe
Codazzi, Cesar	Oleoflores
Barranquilla, Atlántico	Romil de la costa
Gálapa, Atlántico	Biodiésel de la Costa
Santa Marta, Magdalena	Odín Energy
Facatativá, Cundinamarca	BioD
Barrancabermeja, Santander	Ecodiésel Colombia
San Carlos de Guaroa, Meta	Aceites Manuelita
San Carlos de Guaroa, Meta	Inversiones la Paz
Barrancabermeja, Santander	ALPO
Santa Marta, Magdalena	Biocosta Green Energy

9.2.2. Distribución de las Plantas de Biodiesel en el territorio Nacional

El 50 % de las plantas productoras de Biodiesel se encuentran localizadas en la zona norte del territorio Colombiano, por lo que de este sector se recibe el 40% de las toneladas producidas al año. El restante 60 % se produce en valores similares en las plantas de Santander, Antioquia, Cundinamarca y Meta.

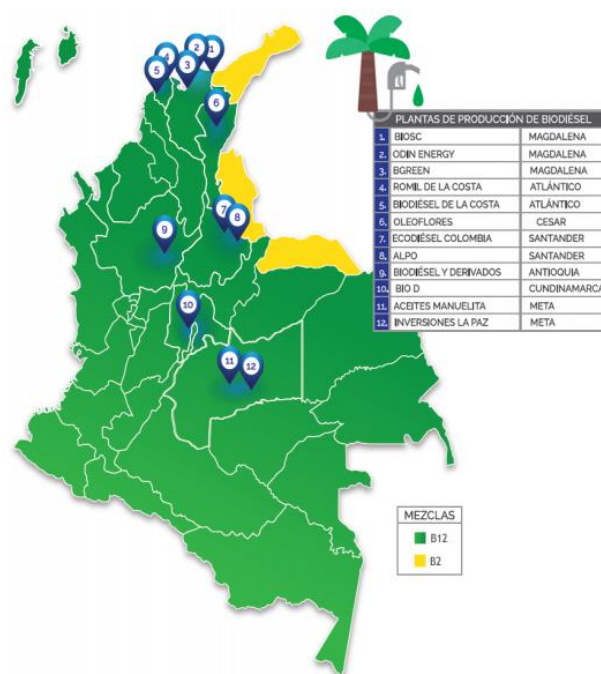


Figura 15 Distribución de las Plantas de Biodiésel a nivel Nacional

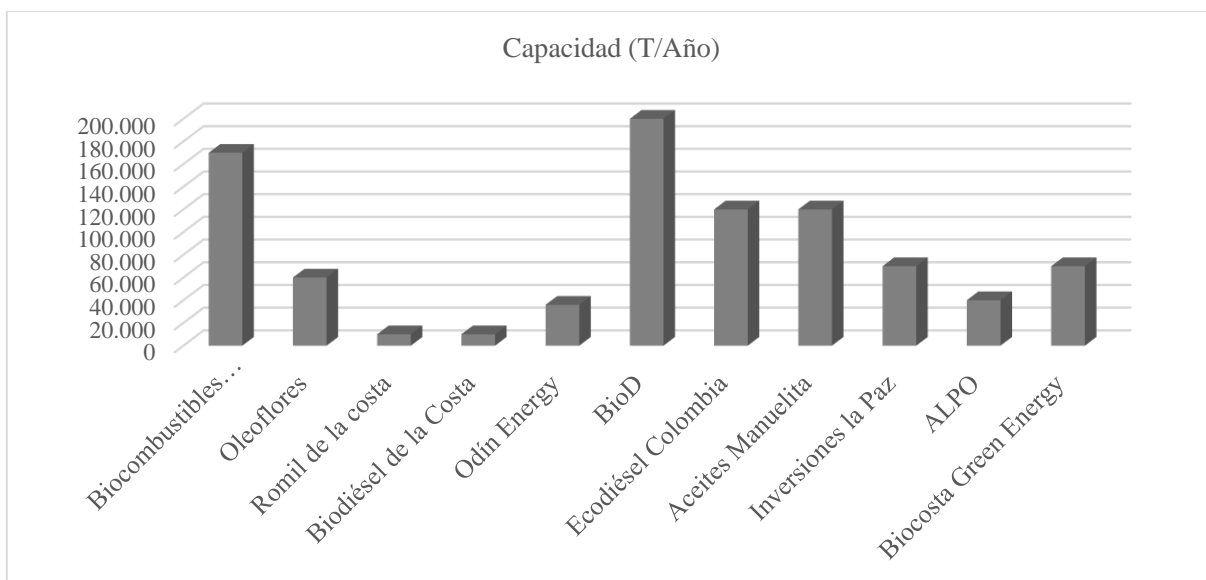
9.2.3. Capacidad de Producción.

La capacidad de producción de las plantas distribuidas a lo largo del territorio Colombiano varía por su tamaño y por los recursos con los que se cuenta para la elaboración del biodiesel. Actualmente la empresa BioD ubicada en Facatativá Cundinamarca es la planta con la mayor capacidad de producción, según los datos recuperados de la federación Nacional de biocombustibles, esta planta logra producir cerca de 200.000 toneladas por año, cerca del 23% de toda la producción Nacional.

Tabla 6 Capacidad de Producción.

Región	Empresa	Capacidad (T/Año)
Santa Marta, Magdalena	Biocombustibles Sostenibles del Caribe	170.000
Codazzi, Cesar	Oleoflores	60.000
Barranquilla, Atlántico	Romil de la costa	10.000
Gálapa, Atlántico	Biodiésel de la Costa	10.000

Santa Marta, Magdalena	Odín Energy	36.000
Facatativá, Cundinamarca	BioD	200.000
Barrancabermeja, Santander	Ecodiésel Colombia	120.000
San Carlos de Guaroa, Meta	Aceites Manuelita	120.000
San Carlos de Guaroa, Meta	Inversiones la Paz	70.000
Barrancabermeja, Santander	ALPO	40.000
Santa Marta, Magdalena	Biocosta Green Energy	70.000



Grafica 13 Capacidad de Producción de Biodiesel en toneladas por año

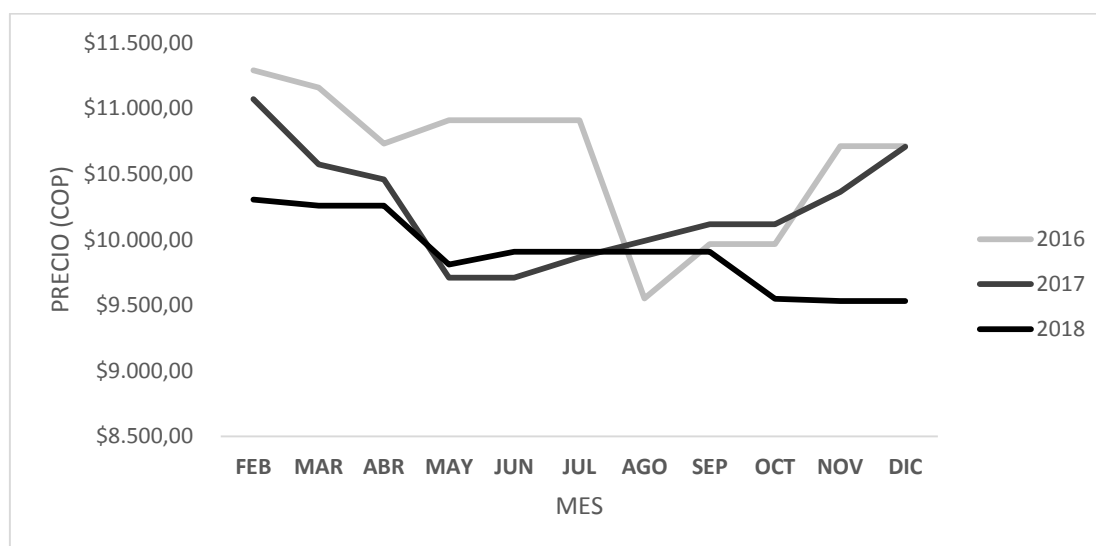
9.2.4. Precio del Biodiésel

El precio actual del Biodiésel es Colombia fue determinado por el Ministerio de minas y energía bajo la resolución 40213 del 8 de marzo de 2019, en la cual se fija el ingreso al productor del biocombustible para uso de motores diésel en diez mil ciento ochenta y seis pesos con setenta y cinco centavos (\$10,186.75) M/cte. Por galón. Dicho ingreso al productor será igualmente el que rija para el biocombustible para uso en motores diésel en todas las zonas del país, en el evento en que se modifique el nivel de mezclas con ACPM. A continuación se presentan los datos obtenidos de la federación nacional de biocombustibles, en los cuales se puede validar la oscilación de precios del Biodiesel puro y con mezcla en los últimos tres años.

9.2.4.1. Precio Biodiésel Puro

Tabla 7 Precios del Biodiésel Puro de los últimos tres años

MES	2016	2017	2018
FEB	\$11.291,38	\$11.072,00	\$10.306,32
MAR	\$11.160,16	\$10.574,90	\$10.259,70
ABR	\$10.732,90	\$10.458,29	\$10.259,70
MAY	\$10.911,00	\$9.709,78	\$9.808,79
JUN	\$10.911,00	\$9.709,78	\$9.906,86
JUL	\$10.911,00	\$9.866,23	\$9.906,86
AGO	\$9.549,88	\$9.989,22	\$9.906,86
SEP	\$9.966,02	\$10.117,50	\$9.906,86
OCT	\$9.966,02	\$10.117,50	\$9.549,43
NOV	\$10.712,13	\$10.363,79	\$9.532,46
DIC	\$10.712,13	\$10.707,51	\$9.532,46



Gráfica 14 Precio del Biodiésel puro de los últimos tres años

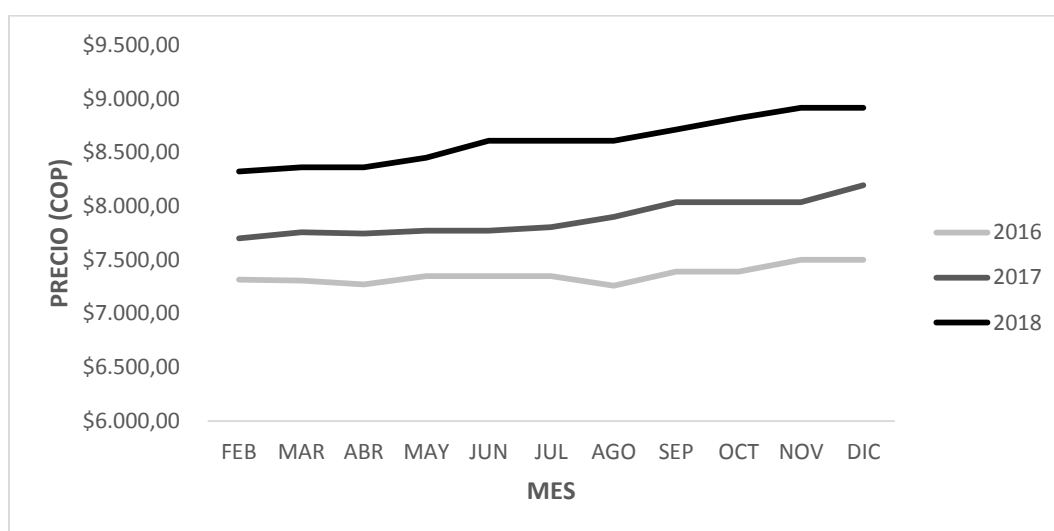
En las gráfica 10 se puede comparar el precio del Biodiésel de los últimos tres años; donde se aprecia la tendencia a la reducción del precio por galón. Si se comparan los precios de este combustible natural con el combustible JET A1 utilizado actualmente por Avianca, se evidencia un incremento cercano al 40%, por lo que no es rentable implementar un biocombustible puro.

9.2.4.2. Precio Biodiésel con Mezcla

Tabla 8 Precios del Biodiésel con Mezcla de los últimos tres años

MES	2016	2017	2018
-----	------	------	------

FEB	\$7.317,54	\$7.699,16	\$8.323,84
MAR	\$7.307,04	\$7.756,16	\$8.363,19
ABR	\$7.272,86	\$7.746,38	\$8.363,19
MAY	\$7.348,08	\$7.771,01	\$8.450,56
JUN	\$7.348,08	\$7.771,01	\$8.609,93
JUL	\$7.348,08	\$7.804,09	\$8.609,93
AGO	\$7.258,64	\$7.901,72	\$8.609,93
SEP	\$7.390,90	\$8.038,07	\$8.714,42
OCT	\$7.390,90	\$8.038,07	\$8.821,58
NOV	\$7.501,17	\$8.038,07	\$8.915,19
DIC	\$7.501,17	\$8.196,69	\$8.915,19



Grafica 15 Precio del Biodiésel con mezcla de los últimos tres años

En las gráfica 11 se puede comparar el precio del Biodiésel con mezcla de los últimos tres años; donde se aprecia la tendencia al alza del precio por galón. Sin embargo si se comparan los precios de este combustible natural con mezcla con los precios del combustible JET A1 utilizado actualmente por Avianca, se evidencia un incremento cercano al 15%, por lo que es viable implementar un biocombustible con mezcla si se enfoca el proyecto en la reducción del porcentaje de los gases de efecto invernadero.

9.2.5. Demanda del Producto

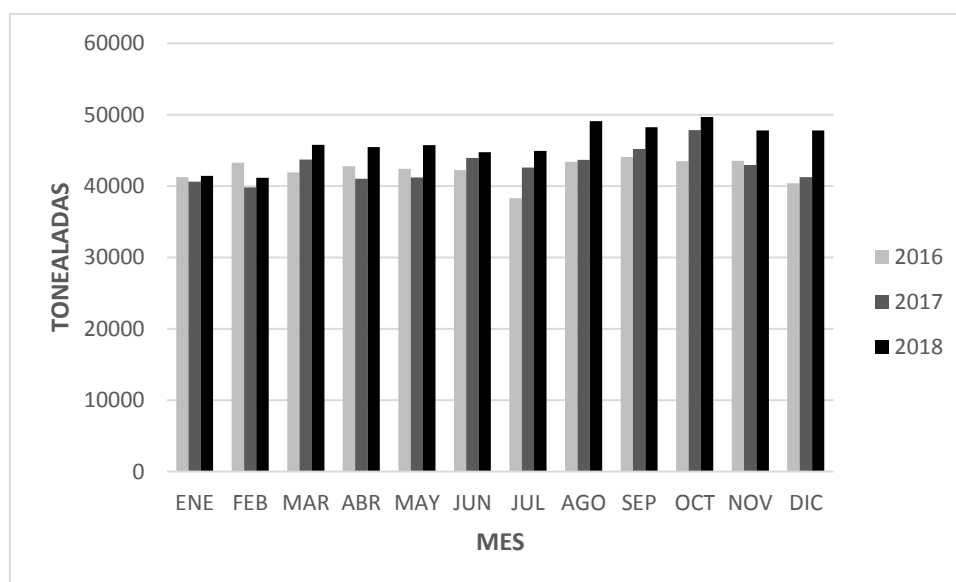
En la actualidad se presentan diferentes problemas de contaminación ambiental, por lo que surge la necesidad de reducir el consumo de combustibles fósiles que a su vez disminuyan la producción de gases

de efecto invernadero. Desde hace algunos años se presenta una alternativa de combustible verde también conocido como Biocombustible, la cual permite el funcionamiento de diferentes motores con un menor impacto ambiental. En Colombia viene cogiendo mayor auge la implementación de estos combustibles de tal forma que cada vez son más las plantas dedicadas a la producción del biodiesel. A continuación se presentan los datos de la demanda del producto en los últimos tres años.

9.2.5.1. Demanda de Biodiésel por Toneladas

Tabla 9 Demanda de Biodiésel por Toneladas de los últimos tres años

MES	2016	2017	2018
ENE	41252,35	40616,71	41416,31
FEB	43241,92	39806,99	41133,19
MAR	41934,2	43706,86	45754,37
ABR	42781,75	40997,86	45463,85
MAY	42395,9	41194,36	45718,63
JUN	42245,8	43910,82	44749,39
JUL	38298,97	42563,67	44904,15
AGO	43372,17	43675,78	49068,01
SEP	44079,46	45170,13	48249,79
OCT	43477,44	47846,79	49659,01
NOV	43527,45	42950,77	47789,92
DIC	40382,79	41218,91	47786,08



Grafica 16 Demanda de Biodiésel de los últimos tres años

En la gráfica 12 se aprecia claramente que el uso de los combustibles de origen natural tiene mayor acogida. Este efecto se produce por el incremento del costo del barril de petróleo que desencadena en el alza de los precios de los combustibles de origen fósil. La demanda de este producto es directamente proporcional al precio por galón, lo que da pie a la creación de más plantas productoras de biodiésel, generando nuevos empleos que permitan satisfacer el requerimiento de los clientes actuales y futuros.

9.2.6. Oferta vs Demanda. La producción actual de Biodiesel en Colombia está alrededor de 525.000 toneladas anuales que equivalen a 170 millones de galones provenientes de Cesar, Cundinamarca, Magdalena, Atlántico, Meta y Santander. Debido a que el país no cuenta con un claro panorama de incremento de mezclas para el biodiésel por lo que hoy este sector tiene una sobreoferta de al menos 36 por ciento, y esto atrasa la cadena de suministro lo que ocasiona que el precio del biocombustible este condicionado por el precio del petróleo que con la caída que ha tenido genera pérdidas de más de 1.000 pesos por galón. Con este panorama cabe la posibilidad para Avianca de implementar este biocombustible de manera gradual para equilibrar la demanda de Biodiesel con la oferta actual.

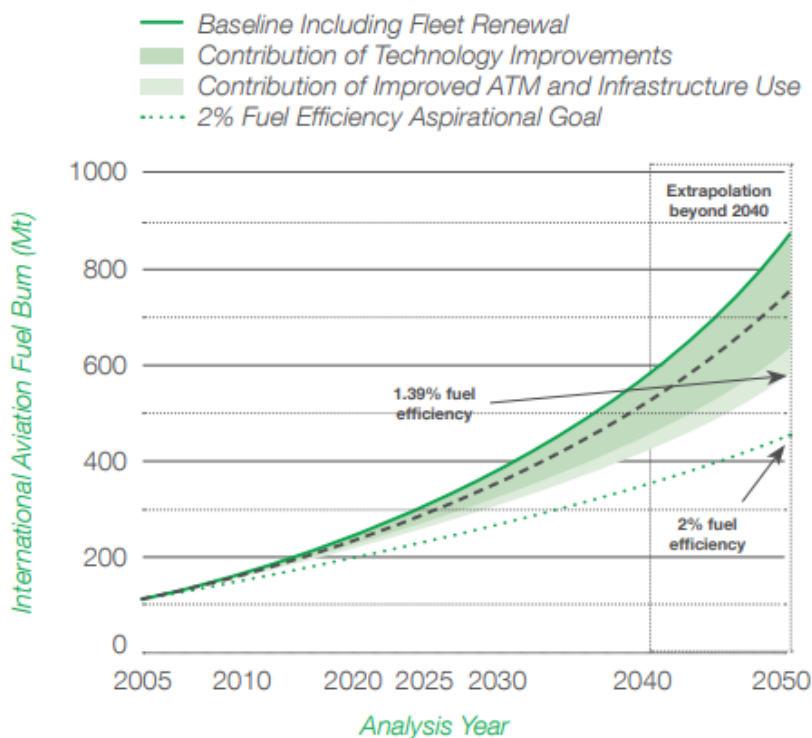
10. Estudio Ambiental

En la actualidad uno de los mayores problemas que afronta la humanidad es la contaminación ambiental; poniendo en riesgo la existencia tal y como se conoce. Los niveles de contaminación en el aire han aumentado con tanta celeridad, que se han presentado un mayor número de quebrantos de salud a nivel mundial, a tal punto que la tasa de mortalidad por afecciones respiratorias se incrementó considerablemente en los últimos años.

Una de las principales fuentes contaminantes del aire, es la quema de combustibles fósiles utilizados por la industria y por los vehículos. Para este estudio en particular se van a comparar los niveles de contaminación que emiten los combustibles tradicionales de la aviación comercial y los niveles de contaminación que emiten los combustibles de origen natural como el Biodiesel.

10.1. Niveles de Contaminación por el uso de combustibles fósiles

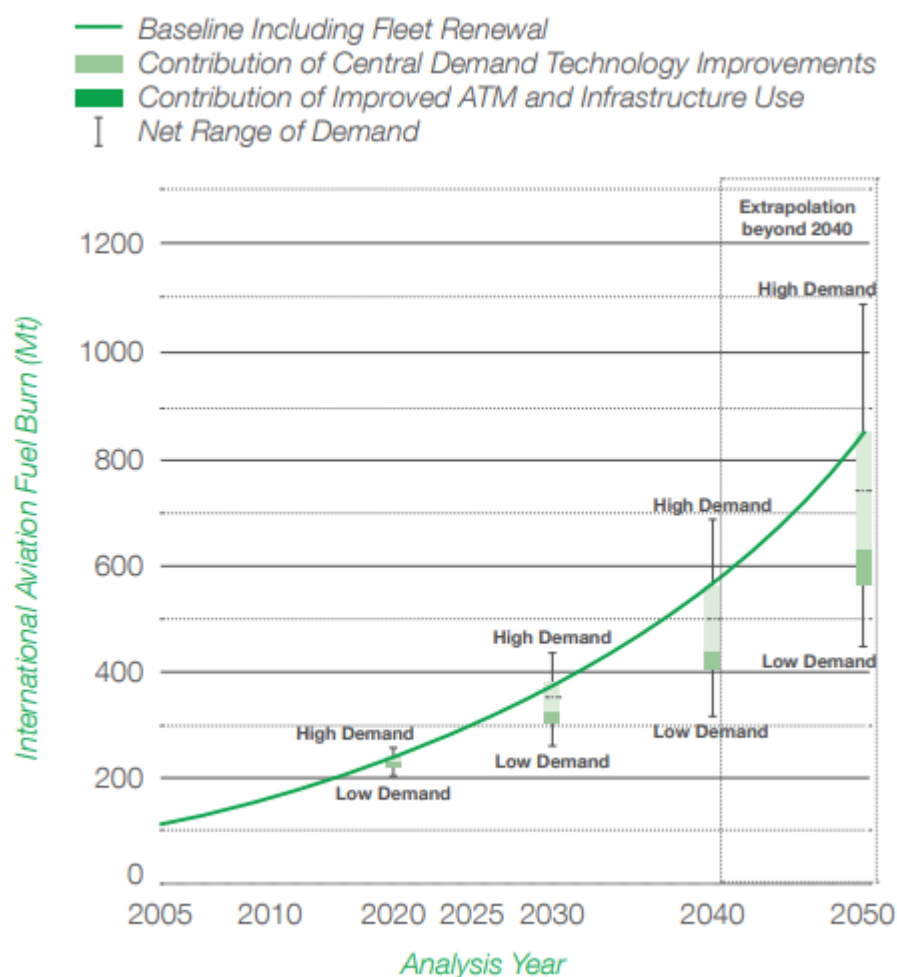
Las emisiones de gases de efecto invernadero provocadas por los aviones no paran de crecer; la aviación internacional ha doblado la cantidad de CO₂ que ha liberado a la atmósfera desde 1990. Los gases que exhalan los reactores contribuyen al calentamiento global de la atmósfera que está en el génesis del cambio climático. Suponen un 2% del total mundial y se prevé que se multipliquen por cuatro para el año 2050. Sin embargo, el transporte aéreo no se ha visto especialmente preocupado por la corriente internacional de recorte de emisiones. El sector las ha aumentado a un ritmo del 2% anual. Solo entre 2013 y 2016 el salto fue de un 25%. Según el comité de aviación para la protección del medio ambiente (CAEP) perteneciente a la Organización Internacional de aviación civil (OACI), en 2010 aproximadamente el 65% del consumo de combustible global corresponde a la aviación internacional y se espera que para el 2050 este valor se acerque al 70%. Por tal motivo se presenta la proyección del consumo de combustible y la cantidad de CO₂ producida desde el año 2005 hasta el año 2050.



Gráfica 17 Tendencia del Consumo de Combustible

El consumo de combustible tiene un comportamiento exponencial y es directamente proporcional a la cantidad de operaciones aéreas. Las variables que se deben tener en cuenta para realizar el cálculo del consumo de combustible y emisión de gases de efecto invernadero son la renovación de la flota de aeronaves, la mejora en las tecnologías y la infraestructura. En la gráfica 17 se evidencia que actualmente el combustible consumido en los vuelos internacionales oscila entre los 250 Mt y se espera que en 10 años este valor se acerque a las 400 Mt. Además se observa que entre mayor sea la eficiencia del combustible menor será la cantidad de consumo.

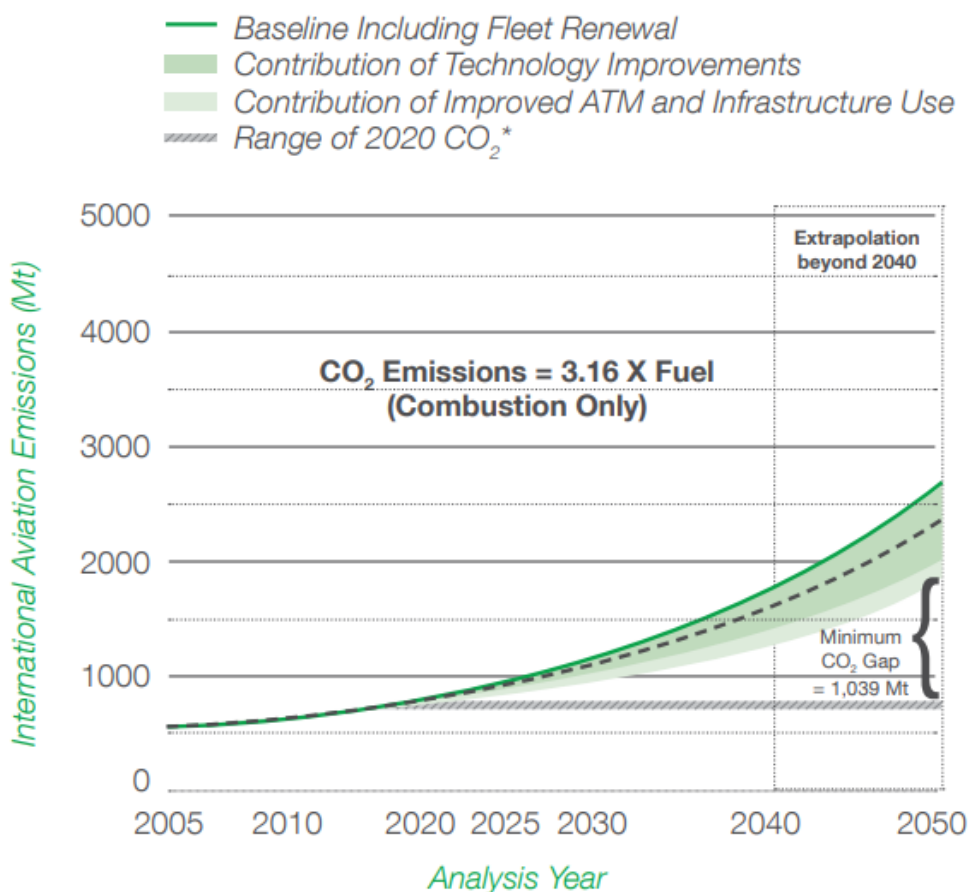
Para entender mejor la cantidad de combustible requerida para cumplir con las diferentes operaciones aéreas, se debe contemplar la demanda de vuelos durante el periodo en estudio.



Gráfica 18 Proyección en la demanda de combustibles fósiles

Las previsiones de la OACI es que el consumo de combustible por parte de sus asociados se multiplique por 2,8 a 3,9 en 2040. A más combustible más CO₂ a la atmósfera ya que, según detalla la Agencia Medioambiental, "aunque se han hecho progresos en la eficiencia de los motores de los aviones y la reducción de las tasas de emisión de esos motores, estas medidas tecnológicas por sí mismas no son suficientes".

Tomando como referencia la cantidad de combustible consumido, se puede proyectar la cantidad de CO₂ que se produciría durante ese periodo de tiempo.



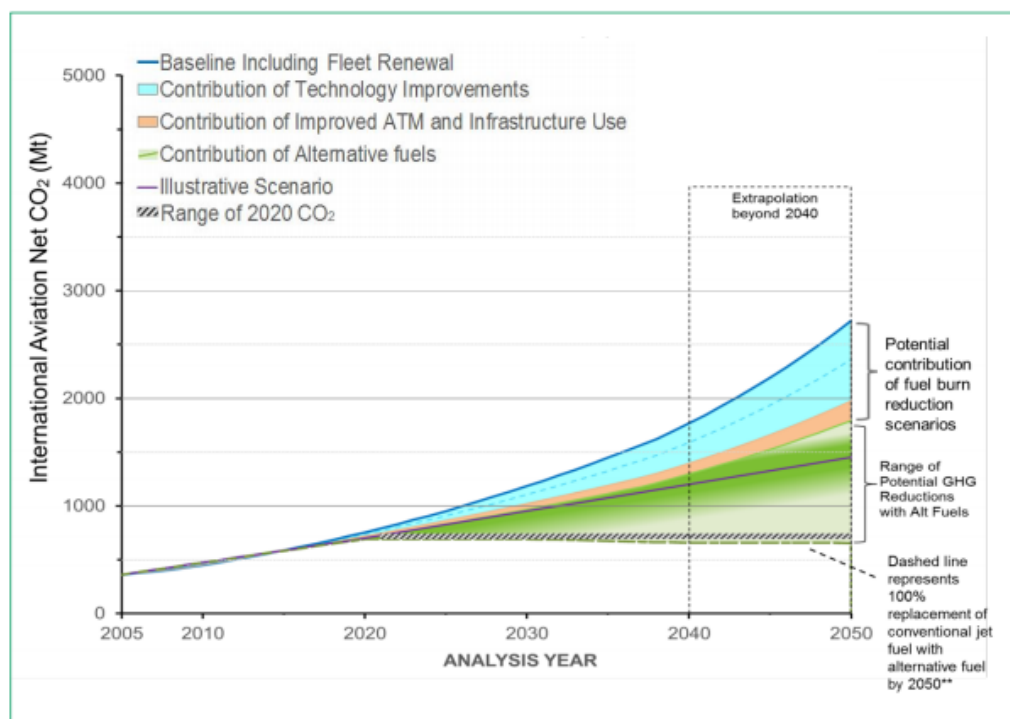
Gráfica 19 Producción de CO₂ con el uso de combustible fósil

En la gráfica 19 se presenta la emisión de CO₂ de los vuelos internacionales a partir del 2005 y hasta el año 2050, teniendo como referencia que un 1 kilogramo de combustible de aviación genera 3.16 kilo-

gramos de CO₂. Es inminente que la producción de los gases de efecto invernadero incrementa a medida de los años ya que cada vez son más las operaciones aéreas en todo el mundo. La meta que tiene la OACI es que a partir del 2020 se encuentre un punto de estabilidad en el que se logre controlar la generación de CO₂ a partir de nuevas tecnologías en la aviación, mejoras en la gestión del tráfico aéreo y en la infraestructura de los aeropuertos.

10.2. Niveles de contaminación por el uso de Biocombustibles

El potencial de los biocombustibles para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero fue reconocido por la OACI, ya que de acuerdo con las evaluaciones realizadas durante el año 2016; se logró determinar que el remplazo del 100% de los combustibles fósiles por biocombustibles en los vuelos internacionales, lograra la reducción del 63% de emisiones de CO₂ a partir de la línea base en el año 2050.



Grafica 20 Producción de CO₂ con el uso de Biocombustibles

Como se observa en la gráfica 20, la emisión de gases de efecto invernadero con la implementación de combustibles alternos, son similares a las emisiones de los combustibles fósiles. Sin embargo durante el ciclo de vida para la producción de los biocombustibles durante la recuperación, el proceso de producción y el transporte del combustible, se evidencia una reducción en las emisiones de gases que junto con el uso adecuado de la materia prima, mejoras en la tecnología, prácticas de producción y logística, se puede lograr una mayor eficiencia en el proceso, garantizando un impacto positivo en el medio ambiente.

Se espera que a partir del año 2020 la implementación de los combustibles de origen natural sea acogida por más países; buscando un punto de estabilidad en las emisiones de gases de efecto invernadero, a tal punto que en el año 2050 se logre una reducción en las emisiones cercana a 1000 Mt.

10.3. Emisión de CO₂ con el uso de combustible fósil y combustible alternativo.

Tabla 10 Emisión de CO₂ en Millones de toneladas

Año	Combustible Fósil	Combustible Fósil con nuevas tecnologías	Mezcla Combustible Fósil y Alternativo	Combustible alterativo
2005	400	400	400	400
2010	500	500	500	500
2015	600	600	600	600
2020	800	700	700	700
2025	950	800	800	700
2030	1200	1000	1000	700
2035	1500	1250	1200	700
2040	1700	1400	1300	700
2045	2200	1750	1600	700
2050	2700	1900	1700	700

En la tabla 10 se evidencia que a partir del año 2020 el uso de combustibles alternativos y las nuevas tecnologías van a aumentar de tal forma que la emisión de gases de efecto invernadero tendrá una reducción. Con lo cual se busca la sustitución total de los combustibles fósiles para garantizar una emisión de CO₂ constante.

11. Estudio Financiero

Con el fin de validar la viabilidad económica del proyecto, se van a desarrollar dos flujos de caja con una inversión inicial de 500.000.000 USD, una tasa de interés de oportunidad del 12%EA y una depreciación de las inversiones a 4 años por la posible alza del costo de los combustibles; en los cuales se van a comparar los ingresos operacionales y los gastos por consumo de combustible que tuvo Avianca en el cuarto trimestre de 2018, con los ingresos operacionales y gastos por consumo de combustible si se implementara el uso de un biocombustible.

Una vez desarrollado este análisis, se va a determinar la tasa interna de retorno, el valor presente neto y la relación costo beneficio. Con los valores que se obtengan se podrá concluir si el proyecto es rentable o si por el contrario solo se obtendría un beneficio ambiental.

11.1. Flujo de Caja con la implementación del combustible tradicional

Para el desarrollo de este flujo de caja se van a tener en cuenta los siguientes datos:

- Ingresos Operacionales por trimestre: 383.519.270 USD
- Consumo de combustible trimestral en galones : 132.393.000
- Precio combustible por galón: 2.39 USD
- Inversión inicial: 500.000.000 USD
- Inversión Trimestral: 316.419.270 USD

TRIMESTRE	T0	2018				2019			
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Ingresos		\$ 383.519.270	\$ 383.519.270	\$ 383.519.270	\$ 383.519.270	\$ 383.519.270	\$ 383.519.270	\$ 383.519.270	\$ 383.519.270
(+)depreciación		\$ 39.552.409	\$ 39.552.409	\$ 39.552.409	\$ 39.552.409	\$ 39.552.409	\$ 39.552.409	\$ 39.552.409	\$ 39.552.409
(=)Flujo de Operación		\$ 423.071.679	\$ 423.071.679	\$ 423.071.679	\$ 423.071.679	\$ 423.071.679	\$ 423.071.679	\$ 423.071.679	\$ 423.071.679
(-)Flujo de inversión	-\$ 500.000.000	-\$ 316.419.270	-\$ 316.419.270	-\$ 316.419.270	-\$ 316.419.270	-\$ 316.419.270	-\$ 316.419.270	-\$ 316.419.270	-\$ 316.419.270
(+)Flujo de Financiación									
(=)Flujo de Evaluación	-\$ 500.000.000	\$ 106.652.409	\$ 106.652.409	\$ 106.652.409	\$ 106.652.409	\$ 106.652.409	\$ 106.652.409	\$ 106.652.409	\$ 106.652.409

Figura 16 Flujo de Caja con la implementación de Combustible Tradicional

Con los datos obtenidos en el flujo, se determinan los siguientes indicadores:

- Tasa interna de retorno (TIO): 12% EA
- Tasa interna de retorno trimestral (TIO TRIMESTRAL): 2.87%

- Valar actual Neto (VAN): \$252.789.750 USD
- Tasa Interna de Retorno (TIR): 14%
- Relación Beneficio/Costo: 1.01

Con estos resultados se observa que la relación B/C es mayor a 1, por lo que los beneficios económicos son mayores a los costos. Además la TIR es positiva, lo permite considerar viable el uso del combustible fósil.

Los cálculos de los indicadores se pueden verificar en el anexo E.

11.2. Flujo de Caja con la implementación de Biocombustible

Para el desarrollo de este flujo de caja se van a tener en cuenta los siguientes datos:

- Ingresos Operacionales por trimestre: 464.279.000 USD
- Consumo de combustible trimestral en galones : 132.393.000
- Precio combustible por galón: 3 USD
- Inversión inicial: 500.000.000 USD
- Inversión Trimestral: 397.179.000 USD

TRIMESTRE	T0	2018				2019			
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Ingresos		\$ 464.279.000	\$ 464.279.000	\$ 464.279.000	\$ 464.279.000	\$ 464.279.000	\$ 464.279.000	\$ 464.279.000	\$ 464.279.000
(+)depreciación		\$ 49.647.375	\$ 49.647.375	\$ 49.647.375	\$ 49.647.375	\$ 49.647.375	\$ 49.647.375	\$ 49.647.375	\$ 49.647.375
(=)Flujo de Operación		\$ 513.926.375	\$ 513.926.375	\$ 513.926.375	\$ 513.926.375	\$ 513.926.375	\$ 513.926.375	\$ 513.926.375	\$ 513.926.375
(-)Flujo de inversión	-\$ 500.000.000	-\$ 397.179.000	-\$ 397.179.000	-\$ 397.179.000	-\$ 397.179.000	-\$ 397.179.000	-\$ 397.179.000	-\$ 397.179.000	-\$ 397.179.000
(+)Flujo de Financiación									
(=)Flujo de Evaluación	-\$ 500.000.000	\$ 116.747.375	\$ 116.747.375	\$ 116.747.375	\$ 116.747.375	\$ 116.747.375	\$ 116.747.375	\$ 116.747.375	\$ 116.747.375

Figura 17 Flujo de Caja con la implementación de Biocombustible

Con los datos obtenidos en el flujo, se determinan los siguientes indicadores:

- Tasa interna de retorno (TIO): 12% EA
- Tasa interna de retorno trimestral (TIO TRIMESTRAL): 2.87%
- Valar actual Neto (VAN): \$324.043.528 USD
- Tasa Interna de Retorno (TIR): 16%
- Relación Beneficio/Costo: 1.01

Con estos resultados se observa que la relación B/C es mayor a 1, por lo que los beneficios económicos son mayores a los costos. Además la TIR es positiva, lo permite considerar viable el uso del Biocombustible.

Los cálculos de los indicadores se pueden verificar en el anexo F.

11.3. Comparación Flujos de Caja

Tabla 11 Comparación Flujos de Caja

	Combustible Tradicional	Combustible Alternativo
Ingresos Operacionales (USD)	383.519.279	464.270.000
Consumo Combustible (Gal)	132.393.000	132.393.000
Precio por Galón (USD)	2.39	3
Inversión Inicial	500.000.000	500.000.000
Inversión Trimestral	316.419.270	397.179.000
Tasa Interna de Retorno (TIO)	2.87%	2.87%
Valor actual Neto (USD)	252.789.750	324.043.528
Tasa Interna retorno	14%	16%
Relación Costo/Beneficio	1.01	1.01

12. Análisis de Resultados

Una vez finalizada la investigación, se presenta el siguiente resumen de los resultados obtenidos.

12.1. Consumo de Combustible

Se evidencia una reducción en la cantidad de combustible utilizado en el año 2018 en las rutas a Norte América, Sur América y Europa. Esta diferencia tiene origen en la incorporación de aeronaves de última generación como los Airbus A321 Neo que operan con motores CFM LEAP de la casa fabricante General Electric y el Boeing 787 que operan con motores TRENT 1000 de la casa fabricante Rolls Royce los cuales son diseñados para tener mayor autonomía de vuelo y menor consumo de combustible.

12.2. Rendimiento del Motor CFM56

Con el análisis computacional se demostró que los parámetros de rendimiento del motor se mantienen dentro de los límites con el uso del biocombustible. Sin embargo se recomienda la implementación de una mezcla de combustible JETA1 y Biodiesel no mayor al 50%. Con este tipo de combustible se garantiza que el motor genere el empuje necesario para una operación segura, además contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero de manera considerable.

12.3. Producción de Biodiesel en Colombia

Actualmente no existe suficiente oferta en la producción de biodiesel a nivel nacional, para contrarrestar la demanda que genera Avianca en el consumo de combustible en los vuelos internacionales. Por tal motivo se abre la posibilidad a un futuro estudio para determinar cuáles son las rutas con las que se puede iniciar la implementación del biocombustible en base la oferta de biodiesel que se tenga en ese momento.

12.4. Precio del Biocombustible

Al comparar el precio del galón del combustible fósil con el precio del biocombustible, se observa un incremento de 0.61 USD por galón, lo que generaría una mayor inversión para la implementación del uso del combustible alternativo. Sin embargo los ingresos operacionales van a continuar siendo rentables generando un mayor beneficio ambiental.

12.5. Producción de CO₂

La emisión de gases de efecto invernadero con la implementación de combustibles alternos, son similares a las emisiones de los combustibles fósiles. Sin embargo durante el ciclo de vida para la producción de los biocombustibles durante la recuperación, el proceso de producción y el transporte del combustible,

se evidencia una reducción en las emisiones de gases. Se espera que para el año 2020 más países acojan la implementación de los biocombustibles lo que permitirá generar una estabilidad en la producción de CO₂.

12.6. Viabilidad del proyecto

La relación beneficio costo determinada con el flujo de caja, permite corroborar que económicamente la implementación del biocombustible es viable ya que los ingresos operacionales reportados por la compañía, permiten explorar el uso de combustibles alternativos pensando más en un enfoque ambiental que en un enfoque económico.

13. Conclusiones

- Se determinó que la implementación de los biocombustibles para las operaciones internacionales realizadas por Avianca, debe realizarse paulatinamente. Esto se debe a que el costo de los combustibles alternativos es mayor a los precisos con los que trabaja la aerolínea por lo que se incrementarían los gastos operacionales de forma significativa; además Colombia no cuenta con una planta productora de Biodiesel que satisfaga la demanda del consumo de combustible de la compañía.
- Avianca es la aerolínea Colombiana con mayor oferta de vuelos internacionales operados a Europa y las Américas; por lo que es conveniente iniciar la transición de combustibles fósiles a combustibles alternativos en operaciones de corto y mediano alcance en destinos como Lima, Panamá, Punta Cana, Habana entre otros.
- Se determinó que el rendimiento del motor CFM56 no se ve alterado con la implementación de un combustible de origen natural, aunque es necesario un mayor flujo de combustible para garantizar el empuje neto del motor; esto se debe a que el poder calorífico del Biodiesel es menor al del JET A.
- Actualmente las plantas productoras de Biodiesel en Colombia no cuentan con una oferta suficiente para dar abasto la demanda en el consumo de los vuelos operados por Avianca, por lo que no es posible usar combustible alterno en todas las operaciones internacionales.
- Se determinó que a partir del año 2020 la industria aeronáutica incrementara el uso de los Biocombustibles con la finalidad de reducir el porcentaje de los gases de efecto invernadero. Por lo cual la OACI espera que en el año 2050 se implementen combustibles netamente de origen natural.

14. Opinión Personal

En la actualidad Colombia atraviesa una crisis ambiental por el incremento de los gases de efecto invernadero que emanan los diferentes sectores industriales y medios de transporte. Es necesario que todos los actores involucrados en esta problemática, tomen conciencia y creen planes de acción que contribuyan con la reducción en la emisión de estos gases.

En el sector aeronáutico colombiano no se cuenta con un estudio en el cual se haya determinado el porcentaje de contaminación del aire que generan las operaciones aéreas en el país. Por tal motivo surge la necesidad de identificar los operadores que generan mayor cantidad de gases y evaluar la posibilidad de implementar acciones, como el uso de combustibles alternativos con la finalidad de lograr una reducción que contribuya a la recuperación del medio ambiente.

Avianca como el mayor operador aéreo en Colombia, debe tomar el liderazgo para optar por la implementación de los Biocombustibles ya que cuenta con los recursos económicos y con las aeronaves de última generación. Lo que permite implementar un proyecto de este tipo sin afectar la rentabilidad de la compañía.

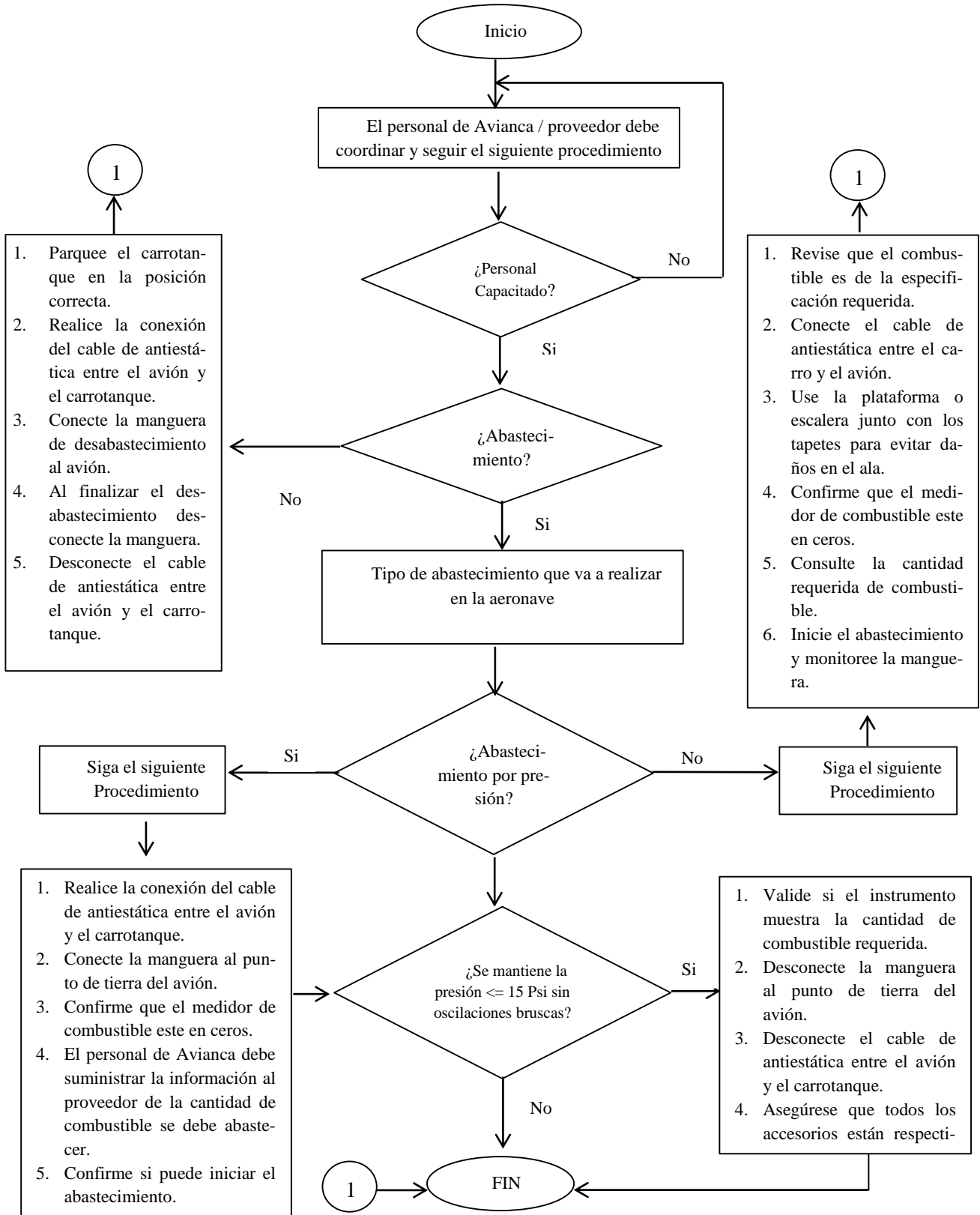
Colombia como parte de la OACI debe cumplir con la proyección que se tiene para combatir la contaminación ambiental a nivel mundial. Por tal motivo es primordial tener el apoyo del gobierno nacional para realizar todos los estudios necesarios que permitan garantizar la producción, legislación e implementación de biocombustibles en el país.

15. Anexos

A. Características del Combustible JET A

PROPIEDAD	UNIDAD	LIMITE	METODO ASTM
APARIENCIA			
Apariencia visual		Claro, brillo y visualmente libre de partículas sólidas.	
Partículas Contaminantes	mg/L	1.0	D5452
COMPOSICIÓN			
Acidez total	mg KOH/g	0.015	D3242
Aromáticos	% v/v	25.0	D1319
Azufre	% m/m	0.30	D1266 – D2622
MATERIALES INCIDENTALES	mg/Kg	50	
Ácido graso Ester Metil (FAME)	°C	300.0	D7797
VOLATILIDAD	°C	38.0	
Punto de ebullición	Kg/m3	775.0 (min) – 840.0 (max)	
Punto de inflamabilidad			
Densidad a 15°C	°C		
FLUIDEZ	mm2/s (cSt)	JET A1 -47.0 - JET A - 40	D2386 D445
Punto de congelación			
Viscosidad a -20°C	MJ/Kg	8.000	
COMBUSTION			D3338 – D4809
Energía específica neta	2Hrs +/- 5min. a 100°C	42.80	
CORROSION			
Corrosión, franja de cobre, clasificación	+/- 1°C	1	D130
ESTABILIDAD	°C		
Temperatura de control	mm Hg	260	
Diferencia de presión		25	
CONTAMINANTES	mg/100ml		
Goma existente	min	7	D381
Combustible con aditivo disipador de estática	min	70	
Combustible sin aditivo disipador de estática		85	
CONDUCTIVIDAD	pS/m		
Conductividad eléctrica		50 min -600 max	D2624
LUBRICIDAD	mm		
BOCLE desgaste cicatriz diámetro	mg/L	0.85	
ADITIVOS	mg/L		
Antioxidante	mg/L	24	
En hidroprocesado y sintetizador	mg/L	17	
	mg/L	24	
	mg/L	2.0	
Sin hidroprocesado		3.0	
Metal desactivador			
Disipador estático			

B. Procedimiento de Abastecimiento de Combustible



C. Detalle del Consumo de Combustible

CONSUMO DE COMBUSTIBLE AÑO 2016			
RUTA	ABASTECIMIENTO (KG)	COSTO (COP)	EMISION CO2 (TON)
BOG - MAD	39.250.931,96	\$197.000.427.507,24	105.018,83
BOG - BCN	22.010.987,37	\$110.473.145.610,03	60.534,52
BOG - LON	21.185.283,44	\$106.328.937.585,36	57.803,48
BOG - MIA	19.837.940,38	\$99.566.622.767,22	40.689,54
BOG - NYC	22.261.548,67	\$111.730.712.774,73	51.590,04
BOG - BOS	-	-	-
BOG - LAX	8.578.970,48	\$43.057.852.839,12	22.628,06
BOG - IAD	6.294.339,36	\$31.591.289.247,84	14.616,09
BOG - FLL	4.738.216,25	\$23.781.107.358,75	10.091,11
BOG - MCO	5.366.831,78	\$26.936.128.703,82	11.450,32
BOG-MEX	20.184.597,51	\$101.306.494.902,69	46.122,24
BOG-CUN	8.510.847,57	\$42.715.943.953,83	17.062,23
BOG-PTY	3.094.375,82	\$15.530.672.240,58	4.139,60
BOG-SAL	981.571,70	\$4.926.508.362,30	1.744,15
BOG-GUA	3.784.374,49	\$18.993.775.565,31	7.881,37
BOG-PUJ	8.150.683,64	\$40.908.281.189,16	11.850,13
BOG-SDQ	5.382.090,64	\$27.012.712.922,16	8.017,72
BOG-SJU	3.071.431,40	\$15.415.514.196,60	5.574,73
BOG-HAV	5.081.847,06	\$25.505.790.394,14	8.753,53
BOG-LIM	12.315.121,36	\$61.809.594.105,84	18.705,80
BOG-SCL	24.814.901,29	\$124.545.989.574,51	57.156,32
BOG-BUE	11.071.163,72	\$55.566.170.710,68	24.601,97
BOG-SAO	24.086.243,53	\$120.888.856.277,07	57.266,73
BOG-RIO	7.097.112,81	\$35.620.409.193,39	17206,96

BOG-LPB	5.059.695,50	\$25.394.611.714,50	9.415,28
BOG-MVD	44646,83	\$224.082.439,77	98,24
TOTAL	292.557.754,56	1.446.831.632.136,64	670.018,99

CONSUMO DE COMBUSTIBLE AÑO 2017

RUTA	ABASTECIMIENTO (KG)	COSTO (COP)	EMISION CO2 (TON)
BOG - MAD	45.900.971,94	\$257.458.551.611,46	126.138,60
BOG - BCN	19.446.509,51	\$109.075.471.841,59	54.241,24
BOG - LON	19.980.050,14	\$112.068.101.235,26	54.974,91
BOG - MIA	19.395.645,98	\$108.790.178.301,82	40.060,76
BOG - NYC	26.527.466,25	\$148.792.558.196,25	59.239,27
BOG - BOS	2.037.391,00	\$11.427.726.119,00	4.912,53
BOG - LAX	10.999.760,59	\$61.697.657.149,31	28.892,74
BOG - IAD	6.264.284,67	\$35.136.372.714,03	14.668,12
BOG - FLL	4.641.968,10	\$26.036.799.072,90	9.839,74
BOG - MCO	5.338.215,73	\$29.942.052.029,57	11.407,74
BOG-MEX	18.123.205,76	\$101.653.061.107,84	41.464,33
BOG-CUN	8.967.114,35	\$50.296.544.389,15	18.190,45
BOG-PTY	9.27.107,42	\$5.200.145.518,78	1.234,16
BOG-SAL	3.119.334,21	\$17.496.345.583,89	5.774,21
BOG-GUA	2.993.467,13	\$16.790.357.132,17	6.206,49
BOG-PUJ	8.451.119,83	\$47.402.331.126,47	12.607,00
BOG-SDQ	4.013.124,82	\$22.509.617.115,38	6.731,86
BOG-SJU	3.280.787,82	\$18.401.938.882,38	6.028,82
BOG-HAV	4.683.904,78	\$26.272.021.911,02	7.880,20
BOG-LIM	17.230.222,46	\$96.644.317.778,14	32.833,57
BOG-SCL	23.841.835,03	\$133.728.852.683,27	56.116,50

BOG-BUE	15.087.736,44	\$84.627.113.691,96	33.-631,82
BOG-SAO	24.104.421,94	\$135.201.702.661,46	57.241,05
BOG-RIO	13.298.636,82	\$74.592.053.923,38	30.479,84
BOG-LPB	2.099.702,45	\$11.777.231.042,05	9.326,35
BOG-MVD	4.258.234,86	\$23.884.439.329,74	10.248,17
TOTAL	314.085.112,61	1.766.903.542.148,27	706.738,65

CONSUMO DE COMBUSTIBLE AÑO 2018

RUTA	ABASTECIMIENTO (KG)	COSTO (COP)	EMISION CO2 (TON)
BOG - MAD	46.780.070,80	\$281.195.005.578,80	130.731,97
BOG - BCN	16.721.591,96	\$100.513.489.271,56	47.434,82
BOG - LON	16.903.756,97	\$101.608.483.146,67	47.958,03
BOG - MIA	16.254.510,86	\$97.705.864.779,46	34.847,11
BOG - NYC	10.316.832,39	\$62.014.479.496,29	32.342,99
BOG - BOS	3.608.296,00	\$21.689.467.256,00	8.726,48
BOG - LAX	12.580.020,33	\$75.618.502.203,63	33.733,10
BOG - IAD	5.072.686,00	\$30.491.915.546,00	11.920,12
BOG - FLL	3.953.768,00	\$23.766.099.448,00	8.740,75
BOG - MCO	4.218.049,00	\$25.354.692.539,00	9.354,34
BOG-MEX	18.120.036,30	\$108.919.538.199,30	41.983,39
BOG-CUN	7.846.009,00	\$47.162.360.099,00	16.266,92
BOG-PTY	1.561.261,00	\$9.384.739.871,00	2.151,26
BOG-SAL	3.519.070,00	\$21.153.129.770,00	6.753,83
BOG-GUA	2.667.587,00	\$16.034.865.457,00	5.605,52
BOG-PUJ	10.470.677,91	\$62.939.244.917,01	14.456,30
BOG-SDQ	3.437.551,00	\$20.663.119.061,00	5.682,11
BOG-SJU	2.961.033,09	\$17.798.769.903,99	5.659,36

BOG-HAV	3.713.161,00	\$22.319.810.771,00	6.636,06
BOG-LIM	9.082.545,64	\$54.595.181.842,04	17.026,55
BOG-SCL	16.937.106,52	\$101.808.947.291,72	40703,17
BOG-BUE	11.879.010,03	\$71.404.729.290,33	26.795,76
BOG-SAO	19.628.534,00	\$117.987.117.874,00	48.318,97
BOG-RIO	8.925.613,00	\$53.651.859.743,00	21.102,91
BOG-LPB	4.131.028,00	\$24.831.609.308,00	7.828,45
BOG-MVD	5.640.306,00	\$33.903.879.366,00	14.020,72
TOTAL	266.930.111,80	1.604.516.902.029,80	646.780,99

D. Motores Operados por Avianca

Flota Boeing 787 (B787)

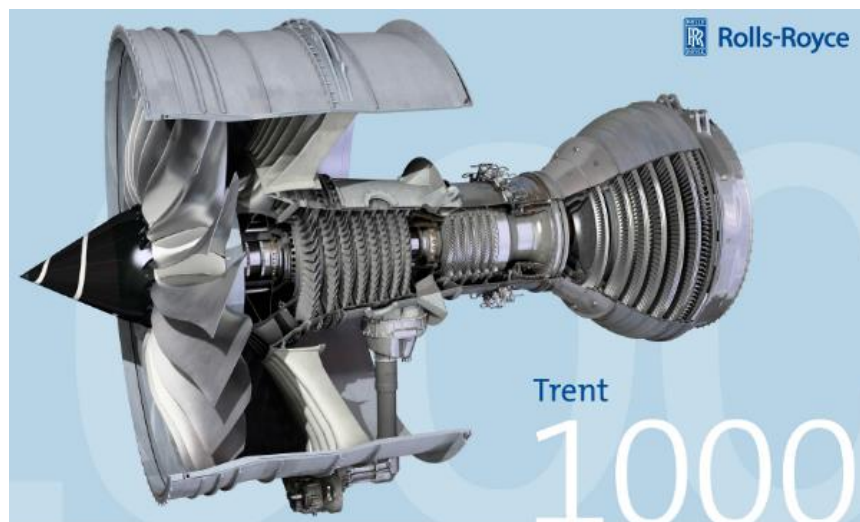


Figura 18 Motor Trent 1000

El motor Trent 1000 tiene una alta relación de paso con tres ejes, flujo axial, Turbofan con un diámetro de 2.85m, una etapa de baja presión (LP), ocho etapas de presión intermedia (IP) y seis etapas de alta presión (HP), separado a través de un eje coaxial. El sistema de combustión consiste en una cámara de combustión anular con 18 boquillas de aspersion de combustible y cuenta con seis etapas de turbina de baja presión, una etapa de turbina de presión intermedia y una etapa de turbina de alta presión

Dimensiones Longitud: 4.771 m

Radio: 1.899 m

Peso máximo 5936 kg

Empuje 310.9 kN

Flota Airbus (A330)

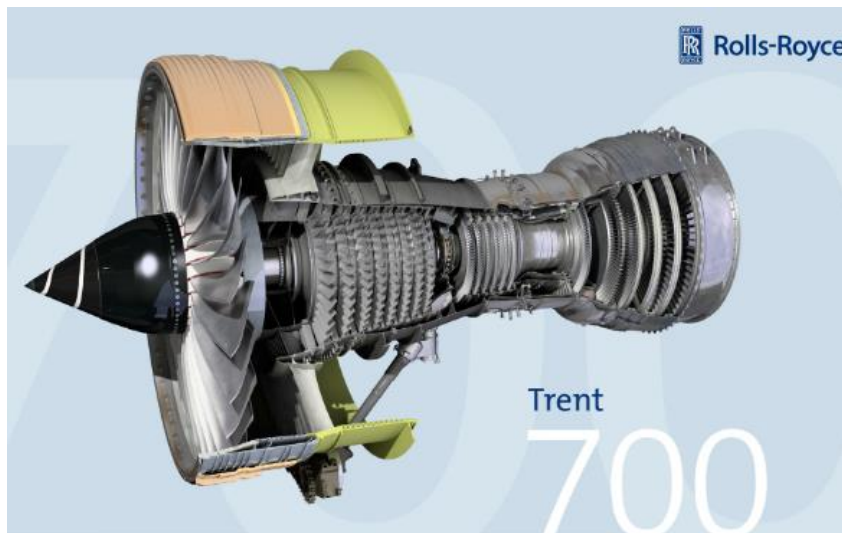


Figura 19 Motor Trent 700

Descripción	<p>El motor Trent 700 tiene una alta relación de paso con tres ejes, flujo axial, Turbofan con una etapa de baja presión (LP), ocho etapas de presión intermedia (IP) y seis etapas de alta presión (HP), separado a través de un eje coaxial. El sistema de combustión consiste en una cámara de combustión anular con 24 boquillas de aspersion de combustible y cuenta con cuatro etapas de turbina de baja presión, una etapa de turbina de presión intermedia y una etapa de turbina de alta presión</p>
Dimensiones	<p>Longitud: 5.639 m</p> <p>Radio: 1.372 m</p>
Peso máximo	<p>6160 kg</p>
Empuje	<p>304.3 kN</p>

Flota Airbus (A32s)



Figura 20 Motor LEAP

Descripción	<p>El motor LEAP tiene una alta relación de paso con rotor dual, flujo axial, Turbofan con una etapa de Fan, tres etapas baja presión (LPC), diez etapas de alta presión (HPC). El sistema de combustión consiste en una cámara de combustión anular con cinco etapas de turbina de baja presión (LPT) y dos etapas de turbina de alta presión (HPT).</p>
Dimensiones	<p>Longitud: 3.147 m</p> <p>Ancho: 2.421 m</p> <p>Alto: 2.256 m</p>
Peso máximo	<p>2780 kg</p>
Empuje	<p>111.27 kN</p>

Flota Airbus (A32s)

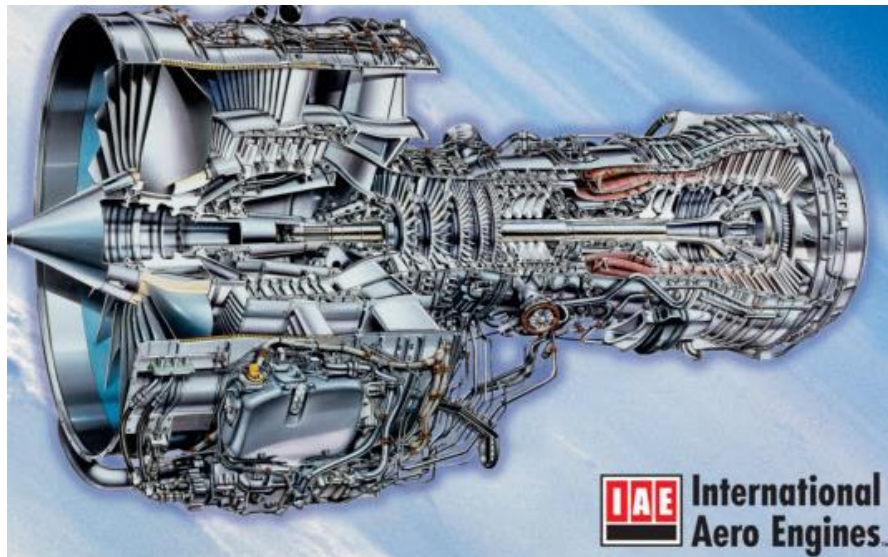


Figura 21 Motor V2500

Descripción	<p>El motor V2500 tiene una alta relación de paso con rotor dual, flujo axial, Turbofan con una etapa de Fan, cuatro etapas baja presión (LPC), diez etapas de alta presión (HPC). El sistema de combustión consiste en una cámara de combustión anular con cinco etapas de turbina de baja presión (LPT) y dos etapas de turbina de alta presión (HPT).</p>
Dimensiones	<p>Longitud: 3.201 m</p> <p>Ancho: 1.682 m</p> <p>Radio: 1.093 m</p>
Peso máximo	<p>2404 kg</p>

Flota Airbus (A32s)

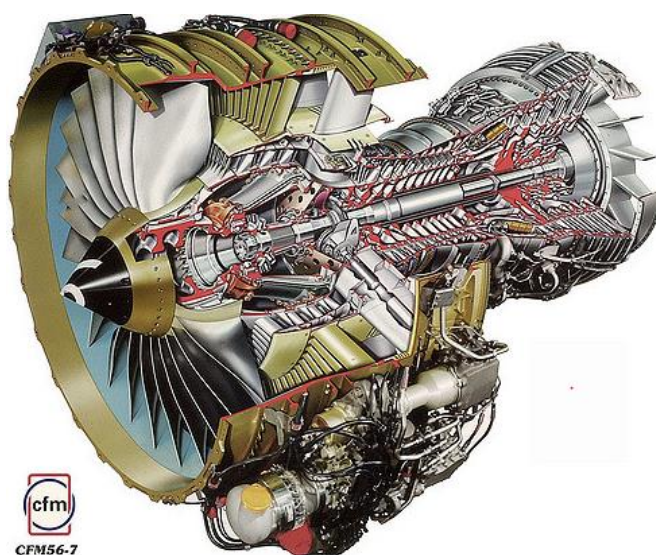


Figura 22 Motor CFM56

Descripción	<p>El motor CFM56 tiene una alta relación de paso con rotor dual, flujo axial, Turbofan con una etapa de Fan, tres etapas baja presión (LPC), nueve etapas de alta presión (HPC). El sistema de combustión consiste en una cámara de combustión anular con cuatro etapas de turbina de baja presión (LPT) y una etapa de turbina de alta presión (HPT).</p>
Dimensiones	<p>Longitud: 2.430 m</p> <p>Ancho: 1.830 m</p> <p>Alto: 2.140 m</p>
Peso máximo	<p>2404 kg</p>
Empuje	<p>102.48 kN</p>

E. Flujo de caja con el uso de combustible tradicional

Calculo VPN

$$VPN = -I_0 + \left(\frac{F_1}{(1+i)^{n1}}\right) + \left(\frac{F_2}{(1+i)^{n2}}\right) + \left(\frac{F_3}{(1+i)^{n3}}\right) + \dots$$

$$VPN = -500.000.000 + \left(\frac{106.652.409}{(1+0.0287)^1}\right) + \left(\frac{106.652.409}{(1+0.0287)^2}\right) + \left(\frac{106.652.409}{(1+0.0287)^3}\right) + \left(\frac{106.652.409}{(1+0.0287)^4}\right) \\ + \left(\frac{106.652.409}{(1+0.0287)^5}\right) + \left(\frac{106.652.409}{(1+0.0287)^6}\right) + \left(\frac{106.652.409}{(1+0.0287)^7}\right) + \left(\frac{106.652.409}{(1+0.0287)^8}\right)$$

$$VPN = -500.000.000 + 103.689.519 + 100.796.655 + 97.984.500 + 95.250.802 + 92.593.372 + 90.010.083 \\ + 87.498.865 + 85.057.709 = 252.789.750$$

Calculo TIR

$$VPN = -I_0 + \left(\frac{F_1}{(1+i)^{n1}}\right) + \left(\frac{F_2}{(1+i)^{n2}}\right) + \left(\frac{F_3}{(1+i)^{n3}}\right) = 0$$

$$VPN = -500.000.000 + \left(\frac{106.652.409}{(1+0.136861247)^1}\right) + \left(\frac{106.652.409}{(1+0.136861247)^2}\right) + \left(\frac{106.652.409}{(1+0.136861247)^3}\right) \\ + \left(\frac{106.652.409}{(1+0.136861247)^4}\right) + \left(\frac{106.652.409}{(1+0.136861247)^5}\right) + \left(\frac{106.652.409}{(1+0.136861247)^6}\right) \\ + \left(\frac{106.652.409}{(1+0.136861247)^7}\right) + \left(\frac{106.652.409}{(1+0.136861247)^8}\right) = 0$$

$$TIR = 13.6861247\% \approx 14\%$$

Calculo Relación Costo Beneficio

$$RBC = \frac{383.519.270 * 8}{500.000.000 + (316.419.270 * 8)} = 1.01$$

F. Flujo de caja con el uso de Biocombustible

Calculo VPN

$$VPN = -I_0 + \left(\frac{F_1}{(1+i)^{n1}} \right) + \left(\frac{F_2}{(1+i)^{n2}} \right) + \left(\frac{F_3}{(1+i)^{n3}} \right) + \dots$$

$$VPN = -500.000.000 + \left(\frac{116.747.735}{(1+0.0287)^1} \right) + \left(\frac{116.747.735}{(1+0.0287)^2} \right) + \left(\frac{116.747.735}{(1+0.0287)^3} \right) + \left(\frac{116.747.735}{(1+0.0287)^4} \right) \\ + \left(\frac{116.747.735}{(1+0.0287)^5} \right) + \left(\frac{116.747.735}{(1+0.0287)^6} \right) + \left(\frac{116.747.735}{(1+0.0287)^7} \right) + \left(\frac{116.747.735}{(1+0.0287)^8} \right)$$

$$VPN = -500.000.000 + 113.490.556 + 110.324.250 + 107.246.281 + 104.254.186 + 101.345.568 \\ + 98.518.099 + 95.769.514 + 93.097.612 = 324.043.528$$

Calculo TIR

$$VPN = -I_0 + \left(\frac{F_1}{(1+i)^{n1}} \right) + \left(\frac{F_2}{(1+i)^{n2}} \right) + \left(\frac{F_3}{(1+i)^{n3}} \right) = 0$$

$$VPN = -500.000.000 + \left(\frac{116.747.735}{(1+0.0164395)^1} \right) + \left(\frac{116.747.735}{(1+0.0164395)^2} \right) + \left(\frac{116.747.735}{(1+0.0164395)^3} \right) \\ + \left(\frac{116.747.735}{(1+0.0164395)^4} \right) + \left(\frac{116.747.735}{(1+0.0164395)^5} \right) + \left(\frac{116.747.735}{(1+0.0164395)^6} \right) \\ + \left(\frac{116.747.735}{(1+0.0164395)^7} \right) + \left(\frac{116.747.735}{(1+0.0164395)^8} \right) = 0$$

$$TIR = 16.4395\% \approx 16\%$$

Calculo Relación Costo Beneficio

$$RBC = \frac{464.279.000 * 8}{500.000.000 + (397.179.000 * 8)} = 1.01$$

16. Referencias

- ALPO. (2019). Producción, combustibles. Recuperado de: <https://www.alpo.com.co/produccion-2/>
- A.G. Rivas (2003). Actuaciones del Motor. Motores de turbina de gas. Actuaciones de motores. Recuperado de: <http://kimerius.com/app/download/5780664558/Actuaciones+de+motores.pdf>
- Avianca. (2018). Especificaciones de combustible. *Manual de Procedimientos de combustibles*. Revisión 18, 1 - 2.
- Avianca. (2018). Red de rutas. Recuperado de <https://www.avianca.com/co/es/informacion-viaje/antes-vuelo/red-de-rutas>.
- Avianca. (2010). Abastecimiento para vuelos internacionales *Fuel Conservation*. Original, 7-10
- Biocosta Green Energy. (2019). Productos Recuperado de: <http://cibiocosta.com/es/productos>
- BioD. (2019). Productos. Recuperado de: <http://www.biodsa.com.co/index.php/productos/?lang=es>
- BioSC S.A. (2019). Biocombustibles Sostenibles del Caribe. Nuestra Empresa. Recuperado de: <http://www.biosc.com.co/nuestra-empresa>
- Carlos Sánchez. (2017). La producción de biodiésel crece en Estados Unidos. Energy News. Recuperado de: <https://www.energynews.es/la-produccion-de-biodiesel-crece-en-estados-unidos/>
- César Álvarez, Israel Ríos, José Sánchez. (2015). Informe de Aerodinámica Airbus A-320. Universidad Técnica Federico Santa María, Academia de ciencias Aeronáuticas, Campus Vitacura. 3-4. Recuperado de: https://www.academia.edu/26448026/Estudio_de_Performances_y_Consumo_de_combustible_A320
- Ecodiésel colombiana s.a. (2019). Quiénes somos. Recuperado de: <http://www.ecodieselcolombiana.com/quienes-somos/>
- European Aviation Safety Agency. (2018). Type certificate Data Sheet for Engine Trent 1000 series engines. Recuperado de: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/TCDS%20EASA.E.036%20issue_13.pdf

- European Aviation Safety Agency. (2013). Type certificate Data Sheet for Engine Trent 700 series. Recuperado de: [https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA-TCDS-E.042_Rolls--Royce_plc._RB211_Trent_700_series_engines-02-29112013.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA-TCDS-E.042_Rolls-Royce_plc._RB211_Trent_700_series_engines-02-29112013.pdf)
- European Aviation Safety Agency. (2018). Type certificate Data Sheet for Engine LEAP. Recuperado de: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA%20E115%20TCDS%20Issue%205%20LEAP-1B.pdf>
- European Aviation Safety Agency. (2017). Type certificate Data Sheet for Engine V2500. Recuperado de: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/IM%20E%20069%20Issue03%20V2500A5D5E5.pdf>
- European Aviation Safety Agency. (2008). Type certificate Data Sheet for Engine CFM56. Recuperado de: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA-TCDS-E.066_CFM_International_S.A._-_CFM56--2----3_series_engines-01-28112008.pdf
- Federación Nacional de Biocombustibles. (2019). Información estadística sector biocombustibles. Recuperado de: http://www.fedebiocombustibles.com/estadistica-mostrar_info-titulo-Biodiesel.htm
- Federación Nacional de Biocombustibles. (2019). Precios del Biodiésel. Recuperado de: <http://www.fedebiocombustibles.com/estadistica-precios-titulo-Biodiesel.htm>
- Federación Nacional de Biocombustibles. (2016). Biocombustibles Hoy N° 147. Recuperado de: <https://fedebiocombustibles.com/nota-web-id-2543.htm>
- Fundación Natura. (2016). Guía para los inventarios organizacionales de emisiones de GEI por uso de combustibles fósiles en actividades industriales y comerciales. Recuperado de http://www.mvccolombia.co/images/GEI/Gu%C3%ADa_2_Completa.pdf
- HangarFlyon. (2017). Hangar fly on news. ¿Cómo funciona un motor turbofan? Recuperado de <https://hangarflyon.wordpress.com/2017/07/20/como-funciona-un-motor-turbofan/>

- ICAO. (2013). Aviation and environment outlook. 2013 Environmental report. 18 – 22. Recuperado de: https://cfapp.icao.int/Environmental-Report-2013/files/assets/common/downloads/ICAO_2013_Environmental_Report.pdf
- ICAO. (2017). Sustainable aviation Fuels. Sustainable aviation fuels guide. 8 – 10 recuperado de: https://www.icao.int/environmental-protection/knowledge-sharing/Docs/Sustainable%20Aviation%20Fuels%20Guide_vf.pdf
- Julio calzada – Blas Rozadilla. (2017). Biodiesel en UE, el mercado que volvió a comprarle a Argentina. Bolsa de Comercio de Rosario. Recuperado de: https://www.bcr.com.ar/Pages/Publicaciones/informativosemanal_noticias.aspx?pidNoticia=922
- Julio Calzada – Claudio Molina. (2017). La industria del Biodiesel en Argentina. Bolsa de comercio de Argentina. Recuperado de: https://www.bcr.com.ar/Pages/Publicaciones/informativosemanal_noticias.aspx?pidNoticia=764
- Gas turb 13. (2018) Design and Off-Design Performance of Gas Turbines. Recuperado de: <http://www.gasturb.de/Gtb13Manual/GasTurb13.pdf>
- MasMinerMetal (2013). Diferencias entre Jet A y Jet A1. Recuperado de <http://masminermetal.com/es/hidrocarburos/jet-a1>
- Ministerio de minas y energia. (2019). Resolución número 40213 de 8 Mar 2019 Por la cual se establece el ingreso al productor de alcohol carburante y del biocombustible para uso de motores diésel, que regira a partir del 9 de marzo de 2019. [archive PDF]. Federación Nacional de Biocombustibles. Recuperado de: <http://www.fedebiocombustibles.com/files/40213.pdf>
- Mónico F, Rodríguez A, y Sandoval J. (2015). Estudio de la influencia del uso de tres mezclas de combustibles alternativos con combustible jet a-1 en motores a reacción. Revista Ingeniería 85-103.
- Joint inspection group. (2016). Aviation fuel quality requirements for jointly operated systems. Product specifications bulletin 96. Recuperado de <http://www.jigonline.com/wp-content/uploads/2016/10/Bulletin-96-AFQR-Oct-2016.pdf>

- Nancy Hall. (2015). Turbo Fan Engine. National Aeronautics and space administration. Recuperado de: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/aturbf.html>
- Nancy Hall. (2015). Turboprop engine. National Aeronautics and space administration. Recuperado de: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/aturbp.html>
- OCDE/FAO (2017), “Biocombustibles”, en OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017-2026, OECD Publishing, París. DOI: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-13-es
- Odín Energy. (2019). Odin Grupo de energías S.A. Recuperado de: <https://www.odinenergia.com/es/quienes-somos.html>
- Oleoflores. (2019). La empresa. Recuperado de: <http://www.oleoflores.com/about/oleoflores>
- Raúl Rejón. (2018). EL transporte aéreo aumento un 25% sus emisiones de gases de efecto invernadero en cuatro año. Recuperado de: https://www.eldiario.es/sociedad/transporte-aereo-maritimo-daninos-ambiente_0_735277198.html
- Redacción de edición Rural. (2018). Brasil aumenta el corte obligatorio con Biodiésel del 10% al 15% al 2023. Edición Rural. Recuperado de: <https://www.edicionrural.com/2018/10/31/brasil-aumenta-el-corte-obligatorio-con-biodiesel-del-10-al-15-al-2023/>
- Repsol. (2000 – 2018). JET A-1. Recuperado de <https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/aviacion/jet-a-1/index.cshtml>
- Repsol. (2018). Composición del Jet A-1. Recuperado de https://www.repsol.com/imagenes/global/es/Composicion_JET_A1_tcm13-19729.pdf
- Repsol. (2018). ¿Cuáles son las propiedades del JET A-1?. Recuperado de https://www.repsol.com/imagenes/global/es/Propiedades_Jet_A1_tcm13-19730.pdf
- Rolls Royce. (2018). Power the dream. Recuperado de: <https://www.rolls-royce.com/products-and-services/civil-aerospace/airlines/trent-1000.aspx#/>
- Staff Oil & Gas Magazine. (2017). Producción de biodiesel en Brasil crecerá 31% en 2018. Oil & Gas Magazine. Recuperado de: <https://oilandgasmagazine.com.mx/2017/11/produccion-biodiesel-en-brasil-crecera-31-en-2018/>

- U.S. Energy Information Administration. (2016). Carbon Dioxide Emissions Coefficients. Recuperado de https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php