

Estudio descriptivo del transporte de combustible para aviones en Colombia

Edgar Alberto Poveda Rojas

Monografía para optar al título de Especialista en Gerencia de Hidrocarburos

Director:

Arlex Chaves Guerrero

PhD. en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Especialización en Gerencia de Hidrocarburos

Bucaramanga

2019

Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Propiedades del Combustible para Abastecimiento de Aviones.....	13
1.1 Antecedentes históricos	13
1.2 Parámetros de calidad física y química del combustible para aviones	16
1.2.1 El petróleo crudo.....	16
1.2.1.1 Clasificación del crudo según su gravedad API.	16
1.2.1.2 Clasificación del crudo según su composición	17
1.2.1.3 Operaciones Unitarias usadas en la refinación de petróleo	18
1.2.2 Queroseno	20
1.2.2.1 Propiedades físico químicas del queroseno. (Instituto Nacional de Seguridad E Higiene en el Trabajo, 2016)	20
1.2.2.2 Usos y ventajas del queroseno.	21
1.2.2.3 Tipos de combustibles derivados del queroseno aplicados para la aviación	22
1.2.3 JET A-1 combustible para aviones en Colombia.....	23
1.2.3.1 Propiedades Físico - Químicas.....	23
1.2.3.2 Propiedades físicas y químicas básicas.....	26
1.2.3.3 Composición	27
1.2.3.4 Combustión.....	27

1.2.3.4 Estabilidad y Reactividad	28
2. Normatividad internacional y nacional del combustible para aviones	28
2.1 Normas Internacionales	28
2.1.1 Especificaciones de la norma ASTM D1655.....	29
2.1.2 Especificaciones del documento ICAO9977	30
2.1.3 Especificaciones del documento EI/JIG STANDARD 1530.....	31
2.1.4 Especificaciones de otras organizaciones (ICAO. OACI. NKAO, 2012)	32
2.2 Normas Nacionales	33
2.2.1 Norma Técnica Colombiana NTC 1899 (novena actualización).....	34
2.2.2 Norma Técnica Colombiana NTC 4517 (segunda actualización)	34
2.2.3 Norma Técnica Colombiana NTC 4642 (segunda actualización)	35
2.2.4 Otras Normas Técnicas Colombianas.....	36
2.3 Leyes, Decretos, Acuerdos y Artículos relacionados con los Hidrocarburos en Colombia. ..	36
3. Descripción de la Infraestructura, Facilidades y Trazados del Combustible para Aviones en Colombia.....	41
3.1 Estructura de transporte del Jet A-1.....	42
3.2 Características constructivas de poliductos que transportan combustibles.....	44
3.2.1 Construcción de poliductos.....	44
3.2.2 Pasos técnicos de construcción de poliductos.....	45
3.2.3 Reglamentación para transporte de turbocombustible por poliducto	46
3.2.3.1 Requisitos para el transporte por poliducto	46
3.2.3.2 Procedimientos para el transporte por poliducto	46
3.2.3.3 Rotulado para transporte por Poliductos.....	47

3.3 Infraestructura y trazados de plantas y poliductos que transportan combustible para aviones Jet A-1 en Colombia	48
4. Análisis de resultados de la estrategia de optimización en drenajes y Flushing.....	52
4.1 Generalidades del Flushing.....	52
4.2 Resultados de la estrategia de optimización de drenaje y Flushing.....	53
4.3 Análisis de resultados de la optimización en drenajes y Flushing.....	54
5. Fluctuación de precios del combustible para aviones en Colombia.	57
5.1 Estructura de precios del JET A-1	57
5.2 Fluctuación de precios del combustible para aviones en Colombia	57
6. Conclusiones	60
Referencias Bibliográficas	62

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Unidades de destilación atmosférica.....	19
<i>Figura 2.</i> Estructura de transporte del Jet A-1.....	43
<i>Figura 3.</i> Mapa Infraestructura Petrolera. Cenit.....	49
<i>Figura 4.</i> Diagrama de Poliductos – Ecopetrol	50
<i>Figura 5.</i> Ecopetrol. Comportamiento de optimización en plantas de rebombeo 2018. Sistema Salgar -Mansilla.	54

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Propiedades físico químicas del queroseno</i>	20
Tabla 2. <i>Usos y ventajas del queroseno</i>	21
Tabla 3. <i>Propiedades físicas y químicas básicas del JET A-1</i>	26
Tabla 4. <i>Composición del JET A-1</i>	27
Tabla 5. <i>Características de combustión del JET A-1</i>	28
Tabla 6. <i>Sistemas que transportan combustible para aviones Jet A-1 en Colombia.</i> <i>Infraestructura Petrolera. Cenit</i>	51
Tabla 7. <i>Ecopetrol. Resultados de optimización en plantas de rebombeo 2018. Sistema Salgar - Mansilla</i>	53
Tabla 8. <i>Fluctuación de precios del JET A-1 desde el año 2003 hasta 2010</i>	58
Tabla 9. <i>Fluctuación de precios del JET A-1 desde el año 2011 hasta 2018</i>	59

Resumen

Título: Estudio descriptivo del transporte de combustibles para aviones en Colombia *

Autor: Edgar Alberto Poveda Rojas **

Palabras Claves: Estudio, Transporte, Poliductos, Combustible, Aviones, Características, Normatividad, Condiciones, Abastecimiento, Infraestructura Para Transporte, Resultados, Análisis, Optimización, Drenajes, Flushing.

Descripción:

En la actualidad Colombia y la mayoría de países del mundo usan cuatro (4) tipos de transporte (aéreo, fluvial, marítimo y por carretera), los cuales facilitan el traslado y transporte tanto de personas como de carga, de un destino a otro. Algunas de las características y ventajas que ofrecen los distintos tipos de transporte son: economía, versatilidad, flexibilidad, largas distancias, gran capacidad de carga, seguridad, ahorro en tiempo, amplia cobertura, límites en las dimensiones, entre otras.

El transporte aéreo es uno de los medios de transporte más importantes e influyentes en la economía nacional e internacional y teniendo en cuenta la dispersión geográfica, el estado de las carreteras, el tiempo de traslado y sus costos, ha sido catalogado como un servicio público de alto impacto esencial para la sociedad y el desarrollo industrial del país. Uno de los principales factores que influye en su costo es la disponibilidad de los combustibles, lo cual incluye el transporte del combustible desde las refinerías hasta los aeropuertos. Por lo tanto, se hace pertinente realizar un estudio descriptivo del proceso de transporte del combustible utilizado para abastecimiento y operación de aviones en Colombia. Este incluye, el conocimiento de sus condiciones de producción, normatividad nacional e internacional sobre el transporte de combustible, parámetros de calidad, transporte, almacenamiento y entrega a los clientes que se encargan del abastecimiento de los aviones y que garantizan su óptima y segura operación.

Adicionalmente, resulta importante determinar cuál ha sido la evolución presentada en relación con el transporte del combustible y el tipo de estrategias que se han creado para su optimización, cumpliendo con las condiciones y especificaciones de calidad, cuidado y preservación del medio ambiente, así como la viabilidad y/o ahorro económico que se puede ver reflejado en las estrategias aplicadas a su evolución y la mejora en el transporte del combustible para aviones en Colombia.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Químicas Escuela de Ingeniería de Petróleos Especialización en Gerencia de Hidrocarburos Director Arlex Chaves Guerrero

Abstract

Title: Descriptive study of the transportation of fuels for aircraft in Colombia*

Author: Edgar Alberto Poveda Rojas**

Keywords: Study, Transportation, Polyducts, Fuel, Aircraft, Characteristics, Regulations, Conditions, Supply, Infrastructure for Transportation, Results, Analysis, Optimization, Drainage, Flushing.

Description:

At present Colombia and most of the countries of the world use four (4) types of transport (land, sea, air and rail), which facilitate the transfer and transport of both people and cargo from one destination to another. Some of the characteristics and advantages offered by the different types of transport are economy, versatility, flexibility, long distances, great load capacity, safety, time saving, wide coverage, and limits on dimensions, among others.

Air transport is one of the most important and influential means of transport in the national and international economy and taking into account the geographical dispersion, the state of the roads, the time of transfer and its costs, has been classified as a public service of high impact essential for society and the industrial development of the country. One of the main factors that influence its cost is the availability of fuels, which includes the transportation of fuel from refineries to airports. Therefore, it is pertinent to carry out a descriptive study of the transportation process of the fuel used to supply and operate aircraft in Colombia. This includes knowledge of their production conditions, national and international regulations on fuel transport, quality parameters, transportation, storage and delivery to customers who are responsible for the supply of aircraft and ensure their optimal and safe operation.

Additionally, it is important to determine what has been the evolution presented in relation to the transport of fuel and the type of strategies that have been created for its optimization, complying with the conditions and specifications of quality, care and preservation of the environment, as well as the viability and / or economic savings that can be seen reflected in the strategies applied to their evolution and the improvement in the transportation of fuel for aircraft in Colombia.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Químicas Escuela de Ingeniería de Petróleos Especialización en Gerencia de Hidrocarburos Director Arlex Chaves Guerrero

Introducción

Dentro de la cadena de la industria del petróleo, se encuentra definido el transporte y suministro de hidrocarburos refinados, lo cual se requiere para garantizar los diferentes usos domésticos e industriales. Dentro de la variedad de hidrocarburos refinados derivados del crudo, se encuentra la línea de combustibles para abastecimiento y operación de aviones, este tipo de combustible o carburantes se clasifica por su octanaje dependiendo del tipo de aeronave a operar.

En Colombia el combustible Jet A-1, es el carburante para motores a reacción, compuesto de queroseno sin plomo, usado para la operación aérea a nivel nacional. Es un combustible que es usado en aviones de uso comercial y de carga, ya que tiene un punto de inflamación de 38 °C. El uso del Jet A-1 en aviones no es solo como combustible, sino que también cumple funciones como lubricante y fluido de intercambio de calor, favoreciendo el enfriamiento y climatización del motor, el circuito hidráulico y los sistemas de aires acondicionados de las aeronaves.

Su producción, distribución y transporte está a cargo de la empresa Ecopetrol S.A., legalmente constituida y reconocida por el Estado colombiano como lo indica la legislación en el artículo 68 de la ley 489 de 1998. El transporte se realiza por medio de poliductos construidos y operados en diferentes zonas del territorio colombiano, lo que garantiza su almacenamiento y entrega a los diferentes clientes de la empresa Ecopetrol S.A., los cuales, a su vez, son los distribuidores finales del combustible para abastecimiento de la operación aérea en cada uno de los aeropuertos del país.

Dentro de la presente monografía se realizó un estudio descriptivo del transporte de combustibles de aviones en Colombia, el cual permitió indagar en las características, composición,

medios de transporte utilizados, normatividad nacional e internacional que le rige, tipo de infraestructura, facilidades y trazados existentes para el transporte del combustible para aviones Jet A-1 en Colombia.

Esta monografía también se enfocó en evaluar los resultados de la optimización de drenajes y flushing que está implementando la empresa Ecopetrol S.A., en los sistemas Salgar – Guaduaño – Villeta – Albán – Mansilla, teniendo como contexto que Ecopetrol S.A. lleva a cabo el Flushing, en las tuberías y bombas, lo cual consiste en la realización de un lavado con un producto igual o similar al que se va a transportar, con el propósito de eliminar los residuos de otros productos transportados previamente. El flushing se realiza con una cuña de kerosene, la cual va por la tubería en la cabeza del JET A1 y de esta manera se garantiza el cumplimiento del parámetro FAME menor a 5 ppm.

Algunos profesionales y personas del común desconocen el tipo de combustible que se usa para el abastecimiento y operación de los aviones, siendo éste un combustible que debe cumplir con unas características y condiciones adecuadas para su producción, transporte, entrega, almacenamiento y posterior abastecimiento en cada una de las aeronaves que lo requieren para su operación. Por lo tanto, ésta monografía está enfocada en la indagación, profundización y documentación de cada una de las especificaciones y normatividad que contempla el transporte adecuado y seguro del combustible de aviones.

Adicionalmente, se determinó la evolución presentada durante los últimos años en relación con el transporte del combustible y el tipo de estrategias que se han creado para su optimización, cumpliendo con las condiciones y especificaciones de calidad, cuidado y preservación del medio ambiente, así como la viabilidad y/o ahorro económico que se puede ver reflejado en las estrategias aplicadas a su evolución y la mejora en el transporte del combustible para aviones en Colombia.

La realización del presente estudio descriptivo del transporte de combustible para aviones en Colombia, tiene los siguientes propósitos:

- Dar a conocer las propiedades del combustible para abastecimiento de aviones, requeridas para su óptimo transporte por los poliductos.
- Recopilar la normatividad internacional y nacional aplicada para el transporte de combustible para aviones por poliductos.
- Describir las infraestructuras, facilidades y trazados de los poliductos que transportan combustible para aviones en Colombia.
- Analizar los resultados de la optimización de drenajes y flushing en el transporte de combustible para aviones en los poliductos Salgar – Guaduoero - Villeta- Albán – Mansilla.
- Dar a conocer la fluctuación de precios del combustible para aviones en Colombia.

1. Propiedades del Combustible para Abastecimiento de Aviones

1.1 Antecedentes históricos

Al indagar sobre la historia moderna de la aviación, se puede decir que inicia desde la era prehistórica; los estudios relacionados indican que el hombre prehistórico un día se dedicó a observar como los pájaros y demás aves creadas podían volar. Con el pasar de los siglos se ha visto una gran evolución, ya que muchos hombres perdieron la vida intentando imitar el vuelo de los pájaros por medio del uso de simuladores de alas parecidas a las de los pájaros, usando diferentes

materiales y sujetadas a sus propios brazos sin obtener resultados satisfactorios (Barros & Bravo, 2001).

Aproximadamente desde el siglo XVIII, se ha podido establecer que el hombre realmente inició los primeros “vuelos” o intentos de elevarse en el aire por medio del uso de globos aerostáticos, siendo aeronaves no propulsadas y sin control que tenían como principio de funcionalidad, el uso de fluidos como el aire. El artista e inventor **Leonardo da Vinci** es reconocido como el primer hombre en dedicar su tiempo al diseño de planeadores, que eran más pesados que el aire y que carecían de motor, así como los Ornitópteros que serían capaces de sustentar su movimiento por si solos, debido al batido de sus alas siguiendo el ejemplo de las aves. Es de aclarar que **Leonardo da Vinci** nunca llegó a crear este tipo de máquinas, pero sus diseños fueron fundamentales y tenidos en cuenta en los siglos XIX y XX para la creación de aeronaves (Aviacionulm, s.f.).

Durante el siglo XIX, fueron muchos los intentos realizados para producir aviones que lograran despegar por sus propios medios, pero por falta de conocimiento de sus inventores, resultaron siendo un fracaso. Sobre 1884 **Aleksandr Mozhaiski** de nacionalidad rusa creó un monoplano, una aeronave impulsada por un motor a vapor que lograba recorrer de veinte (20) a treinta (30) metros (SrpskaCrnja, 2007). El estadounidense **Hiram Stevens Maxim**, haciendo uso de unos diseños creados en Inglaterra, construyó un biplano de grandes dimensiones, con un largo de treinta dos (32) metros y un peso de 3175 kg el cual era movido por medio de dos motores a vapor con capacidad de generar 360 caballos de vapor (CV) entre los dos motores, **Maxim** evidenció que por su gran dimensión no era seguro, por lo cual diseñó una pista con una distancia de 550 m, sujeta con unos rieles que le permitieron colocar el biplano para realizar sus respectivas pruebas, alcanzando velocidades de 68 km/h, superando los 180 m de distancia y una

altura en vuelo de 60 m, lo que llevó a que el biplano se saliera de los rieles y se estrellara. Fue así como **Maxim** después de varios años, decidió realizar nuevas pruebas con aeroplanos de menor peso y dimensiones, con ayuda de motores que funcionaban con combustible (gasolina) (The Amazing Hiram Maxim - Una biografía íntima por Arthur Hawkey Spellmount Publishers, 2001).

Durante 1930 y 1936 los inventores, el británico **Frank Whittle** y el alemán **Hans Von Ohain**, diseñaron y patentaron los primeros **motores a reacción, reactor o Jet**, que por medio de una turbina, descargan un fluido (chorro de gases) hacia atrás a gran velocidad y, que aplicando la leyes de Newton, genera un efecto de empuje o de propulsión al avión hacia delante; este tipo de aeronaves con motores a reacción fueron utilizados a finales de la Segunda Guerra Mundial por Alemania.

Es así como se conoce parte de la evolución que ha sufrido la aviación desde sus inicios hasta la actualidad; hoy en día se suman los esfuerzos en búsqueda de tecnología que a futuro permita tener aviones más seguros, automatizados, reduciendo la operación del piloto al momento de operar las aeronaves, con el fin de reducir los accidentes aéreos propios de las fallas humanas y mecánicas. Es de resaltar la preocupación de la aeronáutica en el cuidado y la preservación del medio ambiente, lo que está llevando al estudio de nuevas fuentes de energías más limpias como es el etanol, la electricidad o la energía solar fotovoltaicas (electricidad de origen renovable), obtenida a partir de la radiación solar bajo el uso de dispositivos conductores, llamada célula fotovoltaica. En la actualidad el combustible de turbina para aviación (ATF), es el Jet, Jet Fuel o Avtur, el cual es usado en aeronaves que cuentan con motores de turbinas de gas y el Avgas es usado para aeronaves con motor de pistón. Existen unos combustibles especiales para aeronaves de tipo comercial, los cuales cuentan con especificaciones internacionales y son los más usados,

estos son: Jet A y Jet A1, siendo este último el único autorizado e implementado para el abastecimiento y funcionamiento de las aeronaves comerciales en Colombia.

1.2 Parámetros de calidad física y química del combustible para aviones

El combustible para aviones comerciales de motor a reacción usado en Colombia es el Jet A-1 o más conocido como queroseno, el cual es extraído del petróleo crudo por medio de un proceso de destilación. Es de importancia profundizar en el proceso de fabricación, características físicas y químicas que lo componen.

1.2.1 El petróleo crudo. Es una sustancia de color oscuro y de textura aceitosa, de origen natural y que se encuentra ubicado al interior de la tierra como resultado de la descomposición y transformación de materia orgánica (plantas, algas y microorganismos) a causa de un pasado geológico de hace millones de años.

El crudo está conformado principalmente por carbono (C), entre un 80-87% e hidrógeno (H) en un 10-15% respectivamente. También se puede encontrar elementos como azufre (S) en un 0-10%, nitrógeno (N) de 0-1%, oxígeno (O) en un 5% y metales como vanadio (V), níquel (Ni), hierro (Fe), aluminio (Al) y cobre (Cu), entre otros. Estos últimos pueden variar su presencia dentro del crudo dependiendo de la región de su yacimiento. También hay agua (H₂O) en 1% procedente de los pozos de reserva.

1.2.1.1 Clasificación del crudo según su gravedad API. Se debe tener en cuenta su origen y la densidad como lo indica la gravedad o grados API “*American Petroleum Institute*”, en relación con el agua y su temperatura, un rango superior a 10° API indica que es más liviano que el agua,

por lo tanto es mayor su visualización y detección sobre niveles de agua. El crudo cuenta con una clasificación y siguiendo la gravedad API por medio de la fórmula:

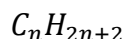
$$API = \frac{141.5}{Sp - Gr} - 131.5$$

- **Ligero o liviano:** Con una gravedad API mayor a 31,1° API
- **Mediano o medio:** Con una gravedad API de 22,3 y 31,1° API.
- **Pesado:** Con una gravedad API de 10 y 22,3° API
- **Extra pesado:** Con una gravedad API inferior a los 10° API

Crudo dulce el cual tiene baja concentración de azufre, lo que requiere mayor refinación para cumplir con los estándares de calidad exigidos para refinados (Botello, Von Osten, Gold-Bouchot, & Agraz-Hernández, 2005) (Wikipedia La enciclopedia libre, 2018).

1.2.1.2 Clasificación del crudo según su composición. Cuando se busca realizar el estudio de los componentes que conforman el crudo, se debe tener en cuenta la aplicación del análisis SARA, donde se da a conocer los cuatro (4) grupos de pseudocomponentes establecidos así:

- **Saturados y/o Alcanos.** En este tipo de crudo se encuentran los hidrocarburos parafínicos, los cuales reciben este nombre debido a su composición y enlace entre carbono más carbono, por lo cual se identifica de lenta reacción, adicionalmente se encuentran los hidrocarburos nafténicos o cicloparafínicos, los cuales a diferencia de los parafinados tienen una reacción contraria, es decir antidetonante con relación al mismo número de átomos de carbono. Todas las parafinas están compuesta por la siguiente formula:



Se concluye que el crudo saturado y/o alcanos es la suma entre hidrocarburos parafínicos y los cicloparafínicos (Botello, Von Osten, Gold-Bouchot, & Agraz-Hernández, 2005).

- **Aromáticos.** Este tipo de hidrocarburo es menos común de presentarse en relación con los saturados, ya que dentro de su estructura molecular se encuentra uno o más anillos bencénicos (conformado por 6 átomos de carbono y 6 átomos de hidrógeno C_6H_6), interconectados entre sí (Botello, Von Osten, Gold-Bouchot, & Agraz-Hernández, 2005).
- **Resinas.** Este tipo de hidrocarburos pertenecen a la familia aromática, ya que están conformados entre 4 a 87 anillos bencénicos; dentro de su estructura molecular se encuentran átomos diferentes al carbono e hidrógeno, algunos de estos heteroátomos son; nitrógeno (N), azufre (S), oxígeno (O) entre otros metales en cantidades pequeñas.
- **Asfáltenos.** Están dentro de los hidrocarburos con estructura molecular más pesada que conforman el crudo, haciendo que sean compuestos químicos de alta ebullición. El asfalteno es insoluble con el heptano que es un componente que se usa para combustible en motores de alto octanaje, la fórmula del heptano es: C_7H_{16} . El asfalteno si es soluble con el tolueno, el cual está dentro de la familia de los aromáticos, su olor es agradable y su materia prima es el benceno. Su uso está relacionado con la producción de detergentes, colorantes, productos aromáticos entre otros (Feijoo Ruiz, 2012).

1.2.1.3 Operaciones Unitarias usadas en la refinación de petróleo. La destilación es el método por el cual se realiza la separación o división de los diferentes componentes de una mezcla en estado líquido por medio de la vaporización (cambio en el estado de una sustancia que se encuentra líquida y pasa a un estado gaseoso) y de la condensación (cambio en el estado de una sustancia gaseosa como son los vapores, pasando a un estado líquido). Esta operación unitaria aprovecha la diferencia entre los puntos de ebullición de los compuestos que forman una mezcla líquida.

- **Destilación Atmosférica.** Es la mejor forma de extraer los hidrocarburos que están presentes en el crudo sin alterar su estructura molecular, esto se logra usando una presión muy similar a la de la atmósfera, generando la separación de los diferentes componentes al encontrarse en su punto de ebullición; se obtiene equilibrio con las fases de líquido y vapor, haciendo que las moléculas menos pesadas se queden en la fase de vapor y las de mayor peso se concentren en la fase líquida, una vez se obtiene el crudo vaporizado, se procede a hacer los cortes de manera definida de los hidrocarburos ya condensados (Stewart, Martin V, BS, 2018). A continuación se presenta un diagrama que describe la destilación atmosférica:

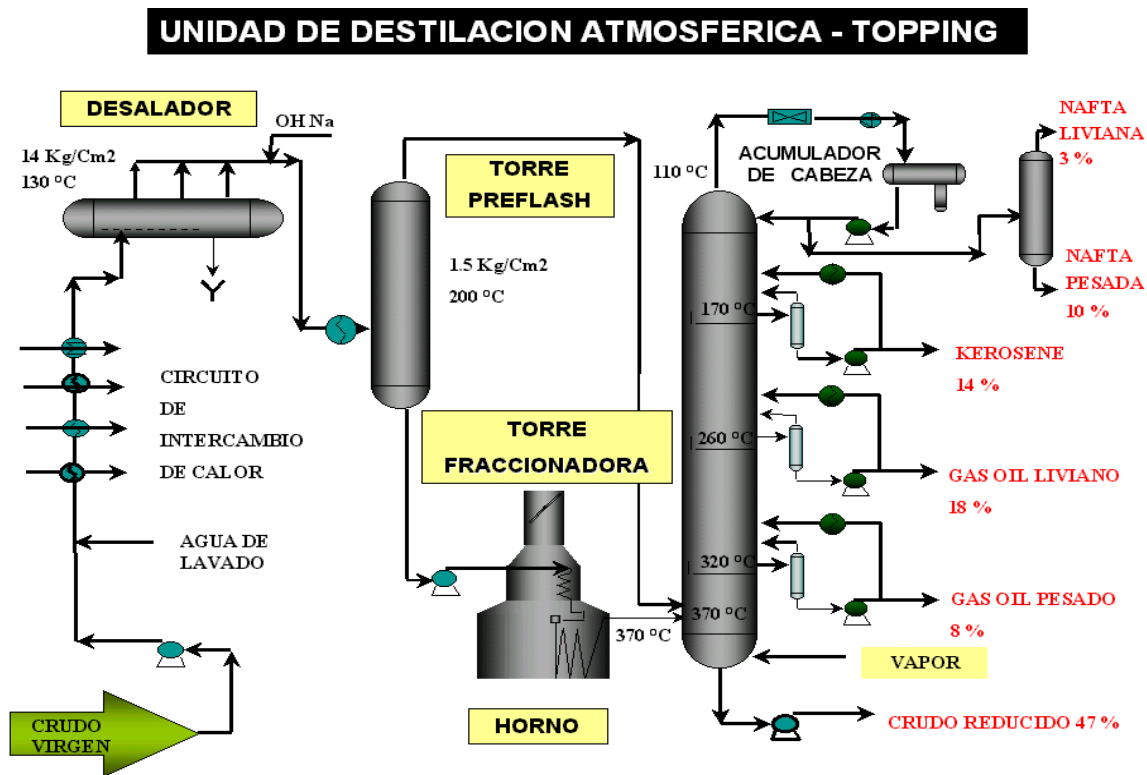


Figura 1. Unidades de destilación atmosférica.

Nota. Adaptado de: (Gustato, s.f.)

- **Destilación al vacío.** Lo que se busca con este tipo de proceso es hacer un vacío dentro del sistema de destilación para sustancias o productos a destilar por debajo del punto de ebullición y a presiones reducidas, logrando extraer del crudo productos livianos o ligeros pero garantizando su estructura molecular (Stewart, Martin V, BS, 2018).

1.2.2 Queroseno. Es un hidrocarburo, producto del proceso de destilación directamente del crudo de petróleo; es inflamable, presenta un color amarillento claro o en ocasiones es transparente, en sus inicios fue utilizado por el hombre como combustible para cocinar o para alimentar las lámparas de iluminación (Instituto Nacional de Seguridad E Higiene en el Trabajo, 2016).

El queroseno está compuesto por diferentes hidrocarburos, tales como:

- Parafinas lineales, los átomos de carbono están escritos en forma de una línea recta (n-parafinas).
- Parafinas ramificadas, se conforma de cadenas lineales entrelazadas entre sí, donde la cadena lineal de mayor relevancia es llamada principal y las cadenas entrelazadas reciben el nombre de radicales (iso-parafinas).
- Cicloparafinas, hidrocarburos de la familia de aromáticos como son el alquilbenceno, alquilnaftalenos, oleofinas.

1.2.2.1 Propiedades físico químicas del queroseno. (Instituto Nacional de Seguridad E Higiene en el Trabajo, 2016)

Tabla 1.

Propiedades físico químicas del queroseno.

Peso molecular	Medida de 170 ($C_9 - C_{17}$)
----------------	----------------------------------

Formula molecular	$C_9 - C_{17}$
Solubilidad	Insoluble en el agua (5mg/l)
Punto de fusión	-34°C
Punto de ebullición	140/145 – 210/240 °C
Presión de vapor	2,1 -2,6 torr a 21°C
Punto de inflamación	38°C a 52°C
Límite de explosividad	Inferior a 1,3%; superior 6% (concentración en aire)
Umbral de olor	0.6 mg/m ³ (0,1 ppm)
Temperatura de autoignición	177°C a 329°C

Nota. Datos tomados de documentación toxicológica del queroseno

El queroseno fue uno de los hidrocarburos más usados como combustible para aviones; en sus inicios fue usado para aviones militares y civiles, por sus propiedades y características que lo categorizaron como un combustible ligero y seguro en su manejo y uso. Con el pasar del tiempo se mejoró su calidad y volumen de producción en el proceso de refinación, con el fin de cumplir con las especificaciones y requisitos que exige un combustible para aviones. Dentro de sus grandes propiedades y usos fue utilizado como combustible de ignición para motores jet, ya que es menos volátil que la nafta, tiene un punto de congelación bajo, favoreciendo el vuelo de los aviones a mayor altitud aproximadamente a 36.000 pies sobre el nivel del mar (Angulo, Márquez, & Rivas, 2012).

1.2.2.2 Usos y ventajas del queroseno.

Tabla 2.

Usos y ventajas del queroseno.

Usos	Ventajas
• Combustible para maquinaria pesada. • Material dieléctrico en procesos mecanizados. • Combustible para sistemas de refrigeración. • Materia prima para fabricación de polímeros. • Materia prima para producir insecticidas. • Producto para limpiar motores o partes de la mecánica como disolvente. • Combustible para cocinar. • Combustible para aviones	• Es de gran beneficio como lubricador, ya que favorece las partes desgastadas o críticas en un motor. • Favorece la puesta en marcha de un motor en frío. • A diferencia de otros combustibles, las emisiones tóxicas son más bajas. • Permite mayor energía versus menor cantidad de combustible. • No se generan sedimentos en los inyectores del motor. • Es un combustible económico en relación con el resto existente en el mercado

Fuente. Datos tomados de documentación toxicológica del queroseno

1.2.2.3 Tipos de combustibles derivados del queroseno aplicados para la aviación. Para el mundo de la aviación existen varios tipos de combustibles que son usados dependiendo el lugar de operación (condiciones ambientales calor frío) y tipo de avión (civil, militar y/o comercial). Dentro de estos derivados se encuentran:

- **JET A-1.** Es un combustible a base de queroseno para turbina de avión, el cual está compuesto entre 8 a 16 átomos de carbono, presenta un nivel de inflamabilidad por encima de los 38°C, una temperatura de autoignición de 210°C y un punto de congelación de -47°C. Es el combustible más usado en el resto de países a diferencia de los Estados Unidos de América (Angulo, Márquez, & Rivas, 2012).

- **JET A.** Su estructura molecular es igual al Jet A-1, la diferencia entre los dos es su punto de congelación, puesto que el Jet A tiene un punto de congelación igual o menor a -40°C , y corresponde al combustible usado en los Estados Unidos (Angulo, Márquez, & Rivas, 2012).
- **JET B.** Es un combustible que contiene nafta y queroseno, en ocasiones es usado como Jet A-1 pero se debe tener en cuenta que su punto de inflamación es menor, pero a su vez es mayor su inflamabilidad, lo cual hace que sea un combustible de difícil uso y seguridad, por lo tanto es usado solo en países con condiciones de extremo frío (Angulo, Márquez, & Rivas, 2012).

1.2.3 JET A-1 combustible para aviones en Colombia. El queroseno o Jet A-1 es una mezcla de hidrocarburos con número de carbonos entre $C_9 - C_{17}$; dentro de sus características se encuentra que es incoloro y por sus virtudes es el combustible ideal para las turbinas de los motores a reacción, siendo su principal objetivo el generar potencia a la aeronave, lo que se logra debido a su contenido energético y calorífico, permitiendo obtener mayor potencia con menor peso en la calidad de su combustión. Es de resaltar que todas las especificaciones de calidad incluyendo los ensayos físico – químicos se encuentran establecidos en la norma internacional “*ASTM D1655 Especificación estándar para combustibles de turbina de aviación*” (Cavado –Osorio, Comesaña-García, Fernández, & Dago-Morale, 2014) (ASTM International, 2018).

1.2.3.1 Propiedades Físico - Químicas. A continuación se describen las propiedades físico – químicas del JET A-1:

- **Contenido energético.** La turbina de un avión es la responsable de generar la potencia necesaria para su operación, la cual se logra por medio de la transformación de la energía química que se encuentra al interior del combustible Jet A-1, logrando que se presente una fusión entre energía mecánica y calor.
- **Características de combustión.** Cuando la turbina opera de forma adecuada, se evidencia la presencia de pequeñas partículas residuales de carbón, las cuales son consumidas en su totalidad al momento de tener contacto con la llama, de no ser así las partículas de carbón pueden tener contacto con las álabes de la turbina y los estatores, ocasionando una erosión y daño en las partes de la turbina. Estas mismas partículas son las que producen el humo que es visible y son desechadas por las turbinas.
- **Estabilidad.** Teniendo en cuenta las especificaciones de calidad establecidas en la norma “ASTM D1655 Especificación estándar para combustibles de turbina de aviación” (ASTM International, 2018), el combustible debe estar sometido de forma periódica a una serie de ensayos con altas condiciones de rigor, que permitan identificar el tiempo en que el combustible puede presentar fallos en su estabilidad por condiciones de tiempo en su almacenamiento y por exposición a altas temperaturas dentro del motor, ya que alteraría su estabilidad térmica.
- **Lubricidad.** El Jet A-1 dentro de sus características de uso, sirve como lubricante para las turbinas, debido a la viscosidad que presenta dentro de sus propiedades logrando que el combustible genere una lubricación hidrodinámica.
- **Fluidez.** La viscosidad y el punto de congelación son las propiedades que permiten determinar la fluidez del combustible Jet A-1, establecidos de la siguiente manera:

- **Viscosidad.** La influencia de la viscosidad en el funcionamiento de la turbina, se determina mediante la inyección del combustible a la cámara de combustión de la turbina por medio de los inyectores, el combustible es transformado en pequeñas gotas las cuales al momento de tener contacto con el aire se evaporan. La viscosidad, la densidad y principalmente la tensión interfacial del fluido, determinan el tamaño de la gota, debido a que si la gota es de tamaño grande se va a producir alteraciones en el reencendido en vuelo del motor y la bomba de combustible aumentará su trabajo para lograr mantener un flujo constante de combustible.
- **Punto de congelación.** El bombeo es la función responsable de llevar el combustible desde el tanque de almacenamiento del avión hasta la turbina, pero esto depende de la fluidez y del sistema de combustible que se tienen, para este caso el Jet A-1 se bombea en unas temperaturas de 4°C a 15°C que están por encima de su punto de congelación -47°C.
- **Volatilidad.** Por medio de la presión de vapor y la curva de destilación, se logra determinar la rapidez con la que el combustible Jet A-1 se vaporiza.
- **Corrosión.** El combustible Jet A-1 no produce corrosión a los materiales o partes que estén en frecuente contacto, sin embargo, se debe tener en cuenta que dentro de los compuestos del combustible hay presencia de corrosivos que a su vez son limitados y controlados por medio de las especificaciones establecidas en la norma “*ASTM D1655 Especificación estándar para combustibles de turbina de aviación*” (ASTM International, 2018)
- **Limpieza.** El combustible Jet A-1, debe estar libre de partículas sólidas y de agua, ya que las partículas como óxidos, impurezas, etc., llegan a obstruir filtros y aumentan las probabilidades de daño en la bomba de combustible de las aeronaves. El agua al aumentar

la altitud, se congela, haciendo más factible el bloqueo del sistema de flujo de combustible, lo cual puede generar corrosión en materiales y la presencia de microorganismos (Repsol Aviación, s.f.).

1.2.3.2 Propiedades físicas y químicas básicas (Repsol, 2012). A continuación se describen las propiedades físicas y químicas básicas del JET A-1:

Tabla 3.

Propiedades físicas y químicas básicas del JET A-1.

Nombre comercial	JET A-1	Inflamabilidad (sólido, gas)	Líquidos y vapores inflamables	
Nombre químico	Queroseno Hidrodesulfurado	Límite superior/inferior de inflamabilidad o de explosividad	Lim. explosivo: 5% Lim. Explosivo: 0.7%	Sup. - Inf.
Aspecto	Líquido	Presión de vapor	0,021 atm	
Peso molecular	$C_9 - C_{16}$	Densidad de vapor	4.5 (aire:1)	
Formula molecular	85% C_{15} % $H(l)^g$	Densidad	0.775-0.840 g/cm ³ a 15°C	
Olor	NP	Solubilidad	En disolventes del petróleo	
Umbral de olor	NP	Coeficiente de reparto n-octanol/agua	NP	
Color	Amarillo pálido	Temperatura de auto-inflamación	228°C	

Valor PH	NP	Temperatura de descomposición	de NP
Punto de congelación	de -47°C	Viscosidad	-20°C 8 cSt max
Punto de ebullición	de 205 °C (10% destilado). PFE: 300°C máx.	Propiedades explosivas	NP
Punto de inflamación	de 38°C min.	Propiedades comburentes	NP
Tasa de evaporación	de NP		

Nota. Repsol. 2012. Ficha de Datos de Seguridad Jet A-1

1.2.3.3 Composición (ANCAP, 2017). En la siguiente Tabla se encuentra descrita la composición del JET A-1:

Tabla 4.

Composición del JET A-1.

Acidez total	0.015 mg KOH/g
Aromáticos en volumen	25.0%
Aromáticos totales	26.5 %
Azufre en peso	0.30%
Azufre mercaptano en peso	0.0030%

Fuente. ANCAP.2017. JET A-1.

1.2.3.4 Combustión (ANCAP, 2017). En la siguiente Tabla se encuentran las características de combustión del JET A-1:

Tabla 5.

Características de combustión del JET A-1.

Poder calorífico neto	42,80 MJ/Kg
Punto de humo	25.0 mm
Naftalenos en volumen	3.00%

Fuente. ANCAP.2017. JET A-1.

1.2.3.4 Estabilidad y Reactividad (Repsol, 2012). A continuación se describen las características de estabilidad y reactividad del JET A-1:

- Estabilidad química: Combustible estable en temperatura ambiente.
- Posibilidad de reacciones peligrosas: Sustancias oxidantes fuertes.
- Condiciones de riesgo que se deben evitar: Exposición a incendio, altas temperaturas, presencia de chispas.
- Materiales incompatibles: Puede generar incompatibilidad con algunos materiales de origen sintético y se debe comparar con la ficha de compatibilidad de cada producto.
- Productos de descomposición peligrosos: CO₂, H₂O, CO.

2. Normatividad internacional y nacional del combustible para aviones

2.1 Normas Internacionales

En la actualidad existen varias normas internacionales aplicadas al combustible para aviones, estas normas se encuentran vigiladas por los diferentes gobiernos de cada país y organizaciones

internacionales como la ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales), y el Reino Unido a través del Comité de Combustible de Aviación. Se debe tener en cuenta que en el motor, en su estructura y en los manuales de operación de la aeronave se encuentra las especificaciones avaladas para su operación.

Dentro de la normatividad internacional encontramos la norma ASTM D1655, la cual reglamenta la “Especificación estándar para combustibles de turbina de aviación” (ASTM International, 2018). La norma tiene como objetivo principal dar a conocer las propiedades y características físico – químicas y de calidad que debe tener el combustible de turbina para aviación de uso civil como es: Jet A y Jet A-1. Dentro de la misma norma se especifica todo lo relacionado con los clientes que distribuyen, almacenan y entregan el combustible a las aeronaves, tipos de muestreos que se deben realizar para garantizar su calidad y la conformidad con las especificaciones establecidas en relación con “*composición, volatilidad, fluidez, combustión, corrosión, estabilidad térmica, contaminantes y aditivos*” (ASTM International, 2018) . A continuación se describe de manera detallada lo reglamentado por la norma ASTM D1655.

2.1.1 Especificaciones de la norma ASTM D1655

- Establece las condiciones de compra de combustible para motores de turbina por medio de contrato y solo para uso de empresas dedicadas al transporte, almacenamiento y abastecimiento del combustible.
- Establece las propiedades mínimas con las que debe contar el combustible para motores de turbina de uso civil y da a conocer los aditivos que son compatibles para ser usados en los motores de las aeronaves.

- Describe la calidad que debe garantizar el combustible desde su destilación, producción, transporte, almacenamiento, entrega, abastecimiento y funcionamiento de la misma aeronave.
- Se debe tener en cuenta que esta norma no establece el tipo de pruebas ni los procedimientos que garanticen que el combustible cumpla con los estándares mínimos a nivel de los sistemas de distribución, una vez se hayan registrado los lotes. Estos procedimientos se encuentran establecidos en las normas “*ICAO9977, JIG Standard 1530, JIG 1, JIG 2, API 1543, API 1595 y ATA – 103*.” (ASTM International, 2018)
- Los combustibles de turbina para aviación podrán ser utilizados en motores diferentes a los de turbina, siempre y cuando estén diseñados y cumplan con las especificaciones de uso para el combustible.
- Dentro de la norma se encuentran algunas recomendaciones de seguridad, pero se debe complementar con la revisión y estudio de la ficha de seguridad del producto por parte de los clientes y las personas que tengan contacto con el combustible.

2.1.2 Especificaciones del documento ICAO9977 (ICAO. OACI. NKAO, 2012). Se define como el “*Manual de Aviación Civil para el Suministro de Combustible de Avión*”, la cual establece los requisitos de calidad que se deben implementar en cada uno de los procesos que lleva el combustible Jet A-1, tomando como punto de partida su producción en refinería hasta el abastecimiento en las aeronaves. Dentro de estos requisitos de calidad se debe tener en cuenta lo siguiente:

- En las refinerías se debe garantizar el uso adecuado de los aditivos permitidos en la mezcla para la producción del combustible, se debe cumplir con la eliminación de impurezas y

partículas de suciedad dentro de los tanques de almacenamiento, tomas de muestras incorrectas, calibración inadecuada y/o alterada de los equipos para muestreos, entre otros.

- Deficiencia en la ejecución de los procedimientos y en la supervisión de los mismos, falla operacional o falta de mantenimiento y de limpieza en las tuberías, filtros, bombas y colectores, entre otros.
- Garantizar que tanques de almacenamiento cumplan con las especificaciones de diseño, salida de agua o impurezas, revestimiento, drenajes adecuados, falta de limpieza, entre otros.
- Garantizar que vehículos de transporte cumplan con las especificaciones para el transporte seguro del combustible, deficiencia en los controles de cargue y descargue del producto, fallas mecánicas, entre otros.

Adicionalmente, la norma determina los reguladores estatales de seguridad en la aviación y en las industrias petroleras, proveedores de servicios en términos de aviación y los destinatarios finales del combustible (ICAO. OACI. NKAO, 2012).

2.1.3 Especificaciones del documento EI/JIG STANDARD 1530 (Energy Institute JIG., 2013). Menciona los *“Requisitos de aseguramiento de la calidad para la fabricación, almacenamiento y distribución de Combustibles de aviación a aeropuertos”*, la cual establece:

- Al igual que el documento ICAO9977 comparte las especificaciones de calidad para el combustible de avión desde su producción hasta su entrega en aeropuertos.
- Establece una serie de recomendaciones para el diseño, instalaciones, procedimientos operacionales para las industrias, operadores y/o clientes que tienen a cargo el almacenamiento, transporte, distribución y entrega del combustible.

- Define el tipo de muestreo y pruebas de laboratorio que se le deben realizar al combustible, así como el manejo de aditivos, proceso por lotes, almacenamiento del combustible en forma de granel, en carros cisterna, barcos, transporte por oleoductos, carretera, contenedores, tanques, entre otros.

2.1.4 Especificaciones de otras organizaciones (ICAO. OACI. NKAO, 2012)

- “*ATA Specification 103 Standard for Jet Fuel Quality Control at Airports*”, establece estándares para el control de calidad del combustible de avión en los aeropuertos.
- “*API RP 1543 Documentation, Monitoring and Laboratory Testing of Aviation Fuel During Shipment from Refinery to Airport*”, establece la documentación requerida y pruebas de laboratorio junto con muestreo que se debe realizar al combustible desde el traslado de la refinería al lugar final aeropuerto.
- ASTM D4057 “*Standard Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products*”, establece el muestreo manual que se le debe realizar al petróleo y sus derivados.
- ASTM D6299 “*Standard Practice for Applying Statistical Quality Assurance and Control Charting Techniques to Evaluate Analytical Measurement System Performance*”, determina el control estadístico de la calidad y las técnicas de evaluación del desempeño en los sistemas de medición.
- ASTM D6469 “*Standard Guide for Microbial Contamination in Fuels and Fuel Systems*”, es una guía que determina la contaminación microbiana en los combustibles y sus sistemas.

- “JIG 3 Aviation Fuel Quality Control & Operating Standards For Supply & Distribution Facilities”, determina los estándares operativos de instalaciones que suministren y distribuyan el combustible.
- “JIG Bulletin 32 Health, Safety, Security & Environmental Management System (HSSEMS)”, establece los parámetros, normas, procedimientos y lineamientos en los sistemas de gestión de salud, seguridad y medio ambiente (HSE).

Adicional a lo descrito, se encuentran otras normas, documentos y/o guías que se aplican para el muestreo, pruebas de laboratorio, instalaciones propias dentro de aeropuertos en el almacenamiento y el traslado del combustible para abastecimiento de la aeronave.

2.2 Normas Nacionales

En Colombia, las Leyes, Decretos, Artículos y Normas, establecen la legislación aplicada al petróleo y sus derivados, al igual que definen los responsables de su explotación y operación, como también fija el control de precios para su venta.

Específicamente para el JET A-1 (combustible para aviones), rige la Norma Técnica Colombiana NTC 1899 “PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS. COMBUSTIBLE DE AVIACIÓN PARA MOTORES A REACCIÓN” (Icontec Internacional, 2015), la cual fue construida con base en la norma internacional de referencia de la ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) D1655 la cual reglamenta las “Especificación estándar para combustibles de turbina de aviación” (ASTM International, 2018)

2.2.1 Norma Técnica Colombiana NTC 1899 (novena actualización) (Icontec Internacional, 2015). *“PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS. COMBUSTIBLE DE AVIACIÓN PARA MOTORES A REACCIÓN”*, *“Esta norma establece los requisitos que debe cumplir y los ensayos a los cuales debe someterse el combustible de aviación para motores a reacción especificaciones Jet A y Jet A-1 para que los productores, distribuidores y consumidores cuenten con un soporte mínimo de calidad”* (Icontec Internacional, 2015)

Dentro de los requisitos que contempla la norma se encuentran:

- Toma de muestras incluyendo su aceptación y/o rechazo.
- Métodos de ensayos que permitan determinar la concentración de los componentes que constituyen el combustible de aviación para motores a reacción.
- Determina las propiedades físico – químicas del combustible Jet A-1.
- Determina los materiales contaminantes metálicos de ácidos grasos (FAME).
- Determina y relaciona el manejo y rotulado del combustible.

2.2.2 Norma Técnica Colombiana NTC 4517 (segunda actualización) (Icontec Internacional, 2013). *“MANEJO DEL TURBO COMBUSTIBLE PARA AVIACIÓN. TRANSPORTE”*, *“Esta norma establece los requisitos que se debe cumplir y los procedimientos que deben seguir los productores, distribuidores, consumidores y autoridades competentes para el transporte de los turbocombustibles Jet A y Jet A-1”* (Icontec Internacional, 2013).

La norma contempla lo siguiente:

- Establece los requisitos para el transporte del combustible por medio de poliductos, camión tanque, medio marítimo y fluvial, contenedores móviles y por medio de la vía aérea.

- Determina los procedimientos que se deben ejecutar para el transporte seguro del combustible en poliducto, de forma marítima y fluvial y en contenedores móviles.
- Define el rotulado de identificación del combustible para ser transportado por poliductos, camión tanque, contenedores móviles y tuberías de planta y vía marítima y fluvial.

2.2.3 Norma Técnica Colombiana NTC 4642 (segunda actualización) (Icontec Internacional, 2014). *“MANEJO DEL TURBOCOMBUSTIBLE PARA AVIACIÓN. ALMACENAMIENTO”*, *“Esta norma establece los requerimientos y el procedimiento de almacenamiento que deben cumplir los productores, los distribuidores, los usuarios y las autoridades competentes para mantener la calidad del turbocombustible que actualmente se comercializa en el país denominado Jet A y Jet A-1”* (Icontec Internacional, 2014).

Dentro de la norma se contempla lo siguiente:

- Se definen las generalidades y requisitos que debe cumplir el productor del combustible para aviones.
- Se establecen los requisitos y especificaciones que deben cumplir las estaciones o terminales de almacenamiento del combustible para aviones.
- Establece los requisitos y especificaciones que deben cumplir las estaciones de servicio de combustibles para aviones.
- Menciona el tipo de procedimiento de almacenamiento a ejecutar por parte del productor del combustible para aviones.
- Relaciona los procedimientos de almacenamiento de combustible para aviones por parte de las estaciones, terminales y en poliductos.
- Establece el procedimiento de almacenamiento de combustible para aviones en las estaciones de servicio de aviación.

2.2.4 Otras Normas Técnicas Colombianas (ICAO. OACI. NKAO, 2012). Además de lo descrito anteriormente, se encuentran otras normas tales como:

- NTC 4643, *“Manejo del turbocombustible para aviación. Suministro”*.
- NTC 5758, *“Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa (gravedad específica), o gravedad API del petróleo y productos líquidos de petróleo por el método del hidrómetro (ASR D 1298)”*.
- NTC 5836-1, *“Manual de estándares de medición de petróleo, sección muestreo, Práctica normativa para el petróleo y productos de petróleo. Parte 1: muestreo manual”*.

2.3 Leyes, Decretos, Acuerdos y Artículos relacionados con los Hidrocarburos en Colombia.

En Colombia, el petróleo y sus derivados es considerado como uno de los recursos naturales de mayor riqueza, por lo que el Estado debe garantizar su control, regulación y vigilancia por medio de la creación de Leyes, Decretos, Artículos y demás normatividad aplicable a las fases de exploración, explotación, refinación, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización de la cadena de hidrocarburos que consume el país en sus diferentes actividades.

A continuación se relacionan algunas de las Leyes, Decretos, Acuerdos y Artículos aplicables actualmente:

- Constitución Política de Colombia de 1991, en su Artículo 332° define *“El Estado es propietario del subsuelo y de los recursos naturales no renovables, sin perjuicio de los derechos adquiridos y perfeccionados con arreglo a las leyes preexistentes”* (Senado de la Republica de Colombia, 2011).

- Decreto 968 de 1940 *“Por el cual se crea el Ministerio de Minas y Petróleos y se modifica la organización del Ministerio de la Economía Nacional”* (Gestor Normativo, 2019).
Ministerio encargado de dirigir, vigilar, controlar e inspeccionar las actividades propias de la minería, hidrocarburos y la infraestructura energética del país.
- Decreto 636 de 1974 *“A partir de la publicación de este Decreto el Ministerio de Minas y Petróleos cambia su denominación a la de Ministerio de Minas y Energía”*; en su Artículo 1° decreta: *“El Sector de Minas y Energía de la Nación estará constituido por el Ministerio de Minas y Petróleos, que en adelante se denomina Ministerio de Minas y Energía, y los siguientes organismos que estarán adscritos o vinculados al mismo (Establecimientos públicos adscritos):*
 - *Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras (Ingeominas).*
 - *Instituto de Asuntos Nucleares (IAN).*
 - *Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (ICEL).*
 - *Corporación Eléctrica de la Costa Atlántica (Corelca).*Dentro de las empresas industriales y comerciales del Estado vinculadas, se encuentran:
 - *Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol).*
 - *Empresa Colombiana de Minas (Ecominas)”* (Ministerio de Minas y Energía, 1974)
- Decreto 1760 de 2003 *“Por el cual se escinde la Empresa Colombiana de Petróleos, Ecopetrol, se modifica su estructura orgánica y se crean la Agencia Nacional de Hidrocarburo, ANH, y la sociedad Promotora de Energía de Colombia S.A.”* Quien tienen como objetivo *“la administración integral de las reservas de hidrocarburos de propiedad de la Nación”* (Ministerio de Minas y Energía, 2003).
- El Decreto 4299 de 2005 contempla lo siguiente (Gestor Normativo., 2019):

- Artículo 1°. *“Objeto. Este decreto tiene por objeto establecer los requisitos, obligaciones y el régimen sancionatorio, aplicables a los agentes de la cadena de distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo, excepto GLP, señalados en el artículo 61 de la Ley 812 de 2003, con el fin de resguardar a las personas, los bienes y preservar el medio ambiente”.*
- Parágrafo 1°. *“La refinación, almacenamiento, manejo, transporte y distribución de los combustibles líquidos derivados del petróleo son considerados servicios públicos que se prestarán conforme a la ley, el presente decreto y demás disposiciones que reglamenten la materia”.*
- Parágrafo 2°. *“Los agentes de la cadena de distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo regulado por el presente decreto, enunciado en el artículo 61 de la Ley 812 de 2003, prestarán el servicio en forma regular, adecuada y eficiente, de acuerdo con las características propias de este servicio público”.*
- Artículo 2°. *“Campo de aplicación. El presente decreto se aplicará a los siguientes agentes de la cadena de distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo, excepto GLP: refinador, importador, almacenador, distribuidor mayorista, transportador, distribuidor minorista y gran consumidor”.*
- Artículo 3°. *“Autoridad de regulación, control y vigilancia. Corresponde al Ministerio de Minas y Energía de conformidad con las normas vigentes, la regulación, control y vigilancia de las actividades de refinación, importación, almacenamiento, distribución y transporte de los combustibles líquidos derivados del petróleo, sin perjuicio de las competencias atribuidas o delegadas a otras autoridades”.*

- Artículo 4°. *“Definiciones. Adicionado por el art. 1, Decreto Nacional 1333 de 2007, Adicionado por el art. 1, Decreto Nacional 1717 de 2008. Para efectos de interpretar y aplicar el presente decreto se tendrán en cuenta las siguientes definiciones”:*
 - Almacenador: *“Toda persona natural o jurídica dedicada a ejercer la actividad de almacenamiento de combustibles líquidos derivados del petróleo, en los términos del Capítulo IV del presente decreto”.*
 - Combustibles líquidos derivados de petróleo: *“Son todos los productos clasificables dentro de las categorías de las gasolinas, gasóleos, querosenes y fuelóleos, entre los cuales se cuentan: Combustibles para aviación (avigás), gasolina motor (gasolina extra, gasolina corriente, gasolina corriente oxigenada, gasolina extraoxigenada), combustibles de aviación para motores tipo turbina, queroseno, diésel extra o de bajo azufre, diésel corriente (ACPM), diésel marino (se conoce también con los siguientes nombres: diésel fluvial, marine diésel, gas oil, intersol, diésel número 2), y combustible para quemadores industriales (combustóleos-fuel oil)”.*
 - Distribuidor mayorista: *“Modificado por el art. 2, Decreto Nacional 1333 de 2007. Toda persona natural o jurídica dedicada a ejercer la distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo, a través de una planta de abastecimiento, la cual entrega dichos productos con destino a la(s) planta(s) de otro(s) distribuidor(es) mayorista(s), a los distribuidores minoristas o al gran consumidor, conforme a lo señalado en el Capítulo V del presente decreto”.*
 - Estación de servicio de aviación: *“Establecimiento en donde se almacenan y distribuyen combustibles líquidos derivados del petróleo, destinados exclusivamente para aviación”.*

- Planta de abastecimiento: *“Son las instalaciones físicas, construidas y operadas en tierra, necesarias para almacenar, manejar y despachar al Departamento Administrativo de la Función Pública Decreto 4299 de 2005 4 EVA - Gestor Normativo por mayor combustibles líquidos derivados del petróleo a la(s) planta(s) de otro(s) distribuidor(es) mayorista(s), a distribuidores minoristas o al gran consumidor”.*
 - Artículo 16°. *“Medios de transporte. El transporte de combustibles líquidos derivados del petróleo se podrá realizar a través de los siguientes medios:*
 - Terrestre.
 - Poliductos.
 - Marítimo.
 - Fluvial.
 - Férreo.
 - Aéreo.
 - Artículo 17°. *“Transporte terrestre. El transporte de combustibles líquidos derivados del petróleo que se movilice por vía terrestre, sólo podrá ser prestado en vehículos con carrocería tipo tanque. El transportador deberá cumplir con los requisitos establecidos en el Decreto 1609 del 31 de julio de 2002 o en las normas que lo modifiquen, adicionen o sustituyan. Asimismo, deberá portar la guía única de transporte, de conformidad con lo establecido en el presente decreto”.*
 - Artículo 19°. *“Transporte por poliducto. La actividad de transporte de combustibles líquidos derivados del petróleo por poliducto, se regirá por el reglamento de transporte que para el efecto expida el Ministerio de Minas y Energía”.*

- Artículo 20°. *“Transporte marítimo, fluvial, férreo y aéreo. El transporte marítimo, fluvial, férreo y aéreo se regirá por las normas comerciales y las demás que expidan las autoridades competentes”.*
- Artículo 39°. *“Inventarios. El Ministerio de Minas y Energía mediante resolución establecerá la reglamentación pertinente a los inventarios mínimos que deben disponer cada uno de los agentes de la cadena de distribución de combustibles”.*
- Decreto 1451 de 2018. *“Por lo cual se modifica el Capítulo I del Título 4 de la Parte 3 del Libro 2 del Decreto 1068 de 2015, Decreto Único reglamentario del Sector de Hacienda y Crédito Público, en lo relacionado con el Fondo de Estabilización de los Precios de los Combustibles”* (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2018).

3. Descripción de la Infraestructura, Facilidades y Trazados del Combustible para Aviones en Colombia

Dentro del marco legal se establece la Norma Técnica Colombiana NTC 4517 *“Manejo de Turbocombustible para Aviación. Transporte”*, la cual da a conocer los cuatro (4) sistemas de transporte reglamentario y seguro del combustible para aviones en Colombia (Jet A-1), citados a continuación (Icontec Internacional, 2013):

- Camión Tanque: *“También denominado camión cisterna es un vehículo dotado con una cisterna (“tanque destinado para transporte de turbocombustible”) (Icontec Internacional, 2013) de carga, que se emplea para transportar turbocombustibles vía terrestre de un depósito de almacenamiento a otro”* (Icontec Internacional, 2013).

- Poliducto: “*Tubería que transporta diferentes productos refinados del petróleo*” (Icontec Internacional, 2013).
- Contenedores móviles: “*Entiéndase: caneca (tambor), tanques portátiles, bladder y bidones*”. (Icontec Internacional, 2013)
- Unidades Marítimas y Fluviales.

Cada uno de estos sistemas debe cumplir los requisitos, procedimientos y rotulados contemplados en la Norma Técnica Colombiana NTC 4517 para el transporte seguro del Jet A-1 combustible para aviones en Colombia (Icontec Internacional, 2013).

3.1 Estructura de transporte del Jet A-1

Dentro de la cadena de producción y abastecimiento que conforma la estructura del transporte de Jet A-1, se debe cumplir con la siguiente secuencia:

Inicia con la extracción de la materia prima (crudo del petróleo) del pozo, este crudo es transportado por oleoductos (tubería que transporta el petróleo desde su lugar de producción hasta el lugar de refinado). Una vez es recibido el crudo en la refinería, se procede a su destilación, obteniendo el combustible Queroseno Jet A-1, el cual es despachado a su lugar de almacenamiento.

En Colombia se usan dos (2) tipos de transporte de combustible para aviones Jet A-1; la empresa Ecopetrol S.A. (dedicada a la producción, transporte y entrega a sus clientes mayoristas del combustible Jet A-1), lleva a cabo el transporte mediante el uso de Poliductos a nivel nacional, los cuales conducen el combustible a las plantas de almacenamiento y de paso, propiedad de la empresa. Posteriormente y como segunda medida, el combustible es entregado a los clientes mayoristas (Terpel, Shell, Chevron, Exxol Mobil, etc.), quienes garantizan la entrega por medio

de camiones tanques o camiones cisternas en las plantas de abastecimiento de los diferentes aeropuertos del país, en donde internamente se desplazan camiones cisternas para abastecer los aviones de Jet A-1 de acuerdo con sus protocolos y procedimientos técnicos. (Ver Esquema 1).

De esta manera se concluye la cadena de transporte del turbocombustible de aviones.

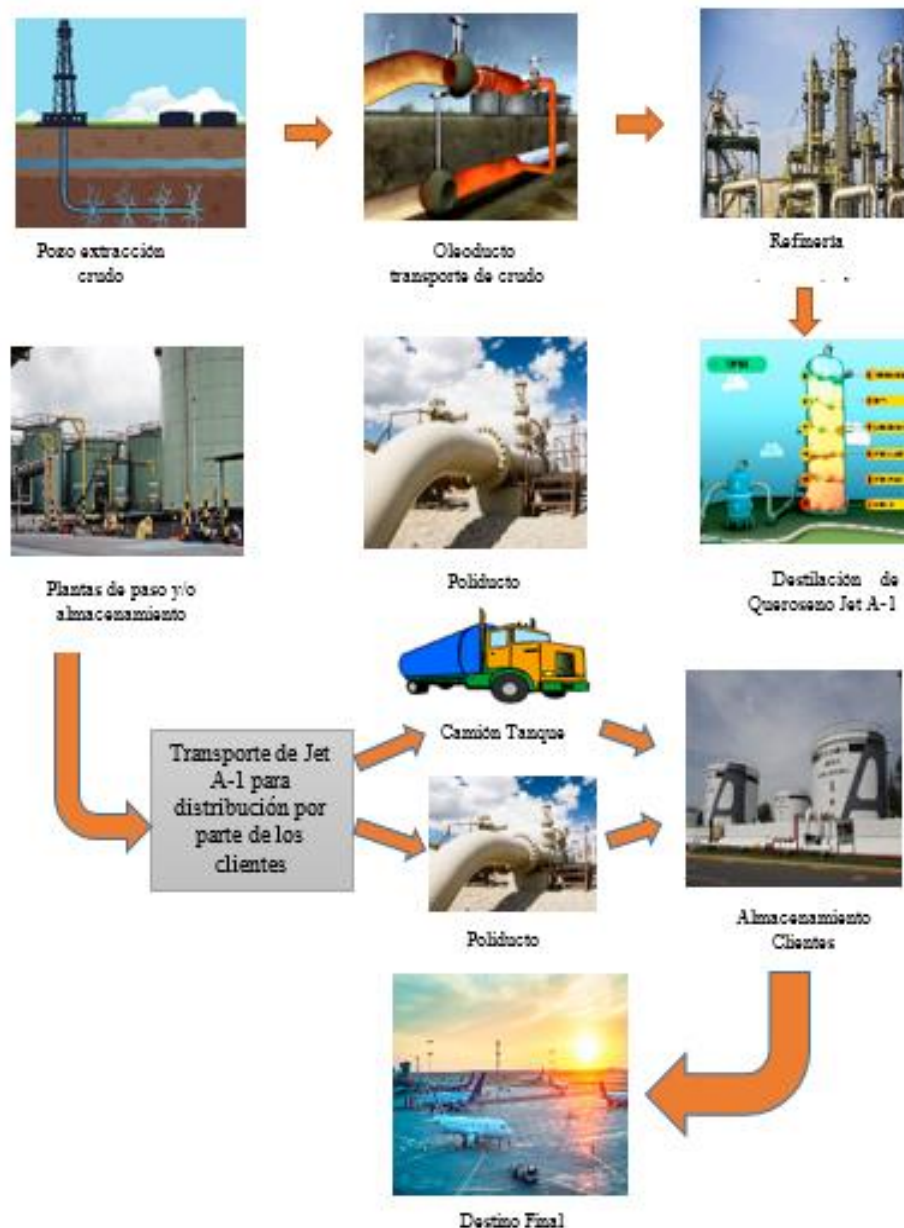


Figura 2. Estructura de transporte del Jet A-1.

Fuente. Elaboración Propia

3.2 Características constructivas de poliductos que transportan combustibles

Los poliductos son ductos o tuberías que tienen como función transportar y/o conducir productos derivados del petróleo, tomando como referencia un punto inicial de partida (refinería, planta de almacenamiento, etc.), hasta su destino final, garantizando su operación segura.

3.2.1 Construcción de poliductos. Al momento de construir un poliducto para transporte de hidrocarburos refinados, se debe establecer la máxima presión a la cual puede estar sometida la tubería, con el propósito de garantizar la seguridad de las personas y del medio ambiente. Por lo tanto, los poliductos se deben construir bajo las recomendaciones dadas por normas técnicas internacionales y nacionales para construcción de ductos de hidrocarburos, como son las normas del Instituto Americano del Petróleo (API), las recomendaciones del DOT (Departamento de Transporte de los Estados Unidos), las Normas Nace (Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión) y las normas nacionales del Icontec (Norma Técnica Colombiana NTC 4517).

Para construir un poliducto, se debe cumplir con características técnicas, parámetros de operación y de seguridad, relacionados a continuación (Carstensen Lalo & Castrejon Huicochea, 2010):

- Procedimiento técnico de la obra.
- Alcance y ubicación de la obra.
- Características físicas y químicas del producto a transportar con sus condiciones operacionales.
- Diseños técnicos del trazado y descripción de derecho de vía.
- Equipos y herramientas a utilizar.

- Planes de emergencia y procedimientos de seguridad y salud en el trabajo.

3.2.2 Pasos técnicos de construcción de poliductos. Una vez son aprobados los diseños técnicos para la construcción de un trazado de poliducto, se debe cumplir con secuencias técnicas para garantizar que un ducto sea seguro, certificado y de calidad para el transporte de hidrocarburos refinados, incluyendo el combustible para aviones Jet A-1. Los pasos a seguir son los siguientes (Carstensen Lalo & Castrejon Huicochea, 2010):

- Trazado y conformación de derechos de vías.
- Determinar en qué puntos del trazado se requiere realizar lastrado (recubrimiento en concreto de la tubería), los cuales se realizan en ríos, quebradas, lagos, etc.
- Cumplir con la aplicación del recubrimiento anticorrosivo como lo establece la norma.
- Verificación de materiales.
- Verificación de los certificados de equipos, herramientas y maquinaria.
- Realizar excavaciones con base al diámetro de tubería a instalar.
- Bajado e instalado de tramos de tubería a soldar.
- Doblado de tubería en los puntos del trazado que requieran curvas.
- Soldadura y pruebas de calidad en sitio de la soldadura como lo establece la norma.
- Aplicación de recubrimiento en juntas de la soldadura realizada en cada tubo.
- Realizar prueba dieléctrica del recubrimiento una vez se tenga un tramo de la tubería.
- Bajado y tapado de tubería.
- Prueba hidrostática.
- Limpieza interior de tubería para retiro de impurezas.
- Garantizar el derecho de vía en las condiciones encontradas.

- Instalación de señalización informativa sobre los derechos de vía del poliducto.
- Instalación de la protección catódica, de acuerdo con indicaciones del área de integridad.

Las plantas donde se realiza el almacenamiento o el rebombeo deben contar con, trampas de recibo, válvulas de seguridad, sistema de filtrado, bombas de impulso, sistemas de medición y tanques de almacenamiento.

3.2.3 Reglamentación para transporte de turbocombustible por poliducto. El transporte del combustible para aviones Jet A-1 por poliducto, debe cumplir con los requisitos, procedimientos y rotulados establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 4517 de 2005 (primera actualización), la cual indica el “Manejo de Turbocombustible para Aviación. Transporte (Icontec Internacional, 2013).

3.2.3.1 Requisitos para el transporte por poliducto

- Se debe solicitar ensayos de calidad del producto a transportar.
- Se debe contar con un programa de mantenimiento al poliducto con el fin de garantizar la calidad de los productos transportados.

3.2.3.2 Procedimientos para el transporte por poliducto

- Cuando se despacha el lote se debe proceder a la toma de muestras del producto transportado en las fases de inicio, en el intermedio y al finalizar la operación.

“Nota 2. En poliductos, el turbocombustible debe ser transportado entre cuñas de queroseno o en su defecto entre cuñas del mismo producto”

- Se debe garantizar las presiones de operación las cuales hace referencia a la presión y caudal seguro, para de esta manera evitar las pérdidas de calidad durante las interfaces en el transporte de cada producto.
- Implementar y garantizar la tecnología en las plantas de recibo que se requiere para asegurar el corte del lote dentro de cada interface, de igual manera realizar la toma de muestras del producto.
- Cuando finaliza la operación de recibo de producto en planta se deben realizar ensayos para determinar niveles de contaminación por la presencia de material Particulado, sedimentos o cuerpos colorantes. Se debe seguir los métodos indicados en las normas “ASTM D2276 o ASTM D3830”.

3.2.3.3 Rotulado para transporte por Poliductos

- *“Teniendo en cuenta que el poliducto es un medio usado para transportar varios productos derivados del petróleo, este numeral no se aplica”.* (Icontec Internacional, 2013)

3.3 Infraestructura y trazados de plantas y poliductos que transportan combustible para aviones Jet A-1 en Colombia

La producción, distribución y transporte del combustible para aviones Jet A-1, está a cargo de la empresa Ecopetrol S.A., tal y como lo contempla la legislación colombiana en el artículo 68 de la ley 489 de 1998. El transporte se realiza por medio de poliductos construidos, operados y mantenidos a lo largo del territorio colombiano. A partir del año 2012, Cenit Transporte y Logística de Hidrocarburos S.A.S., fue constituida como una filial de la empresa Ecopetrol S.A. *“para atender las crecientes necesidades de la industria petrolera nacional derivadas del aumento de la producción de hidrocarburos y de las mayores ventas de crudos y refinados, tanto en Colombia como en los mercados internacionales”* (Sánchez, 2017). Lo anterior define a Cenit S.A.S. como propietaria de los activos (poliductos y plantas), de transporte de hidrocarburos refinados en el país.

Las Figuras 3 y 4 muestran los poliductos construidos, operados y mantenidos a lo largo del territorio colombiano:

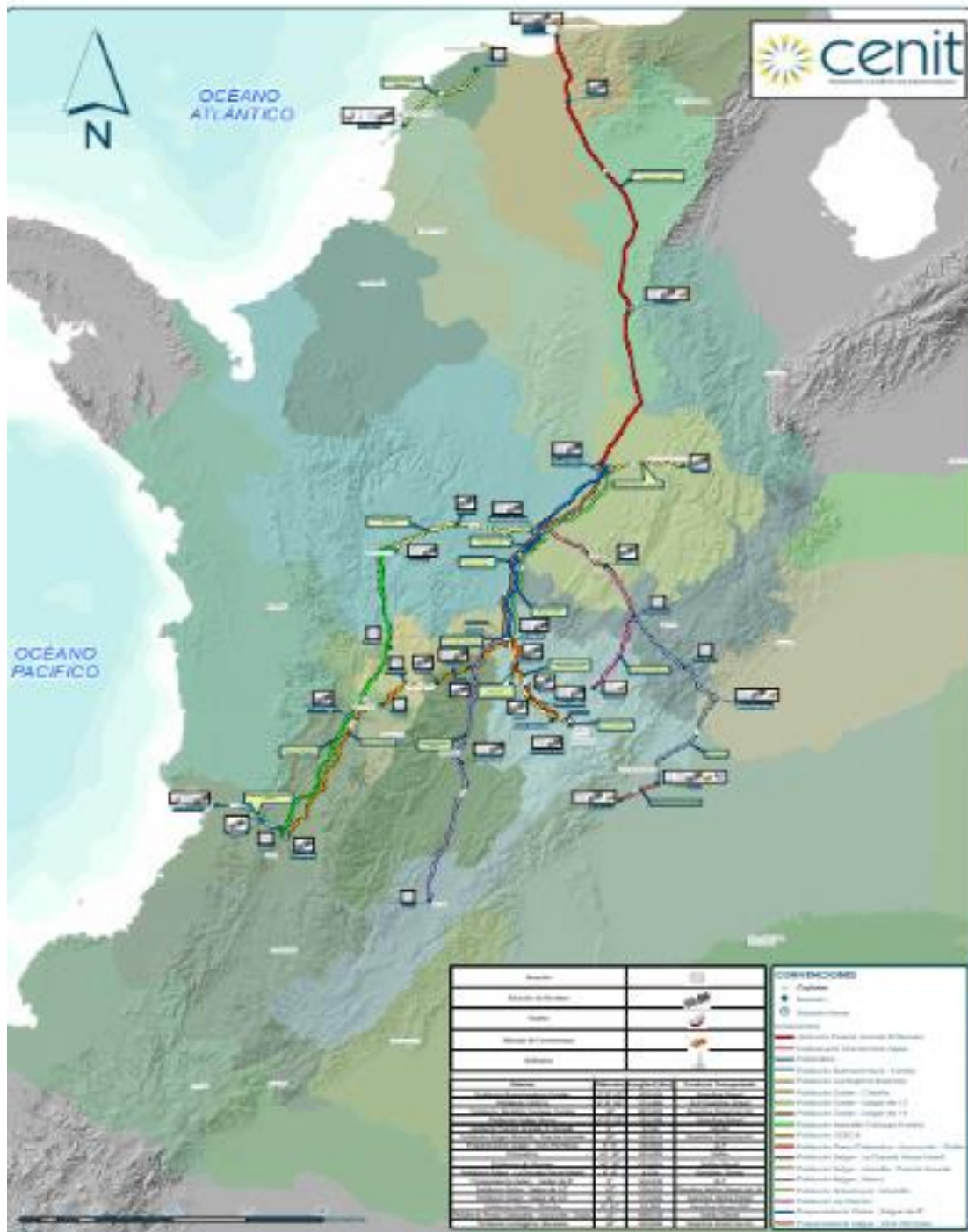


Figura 3. Mapa Infraestructura Petrolera. Cenit.

Nota. Adaptado de: (Cenit S.A.S., s.f.)

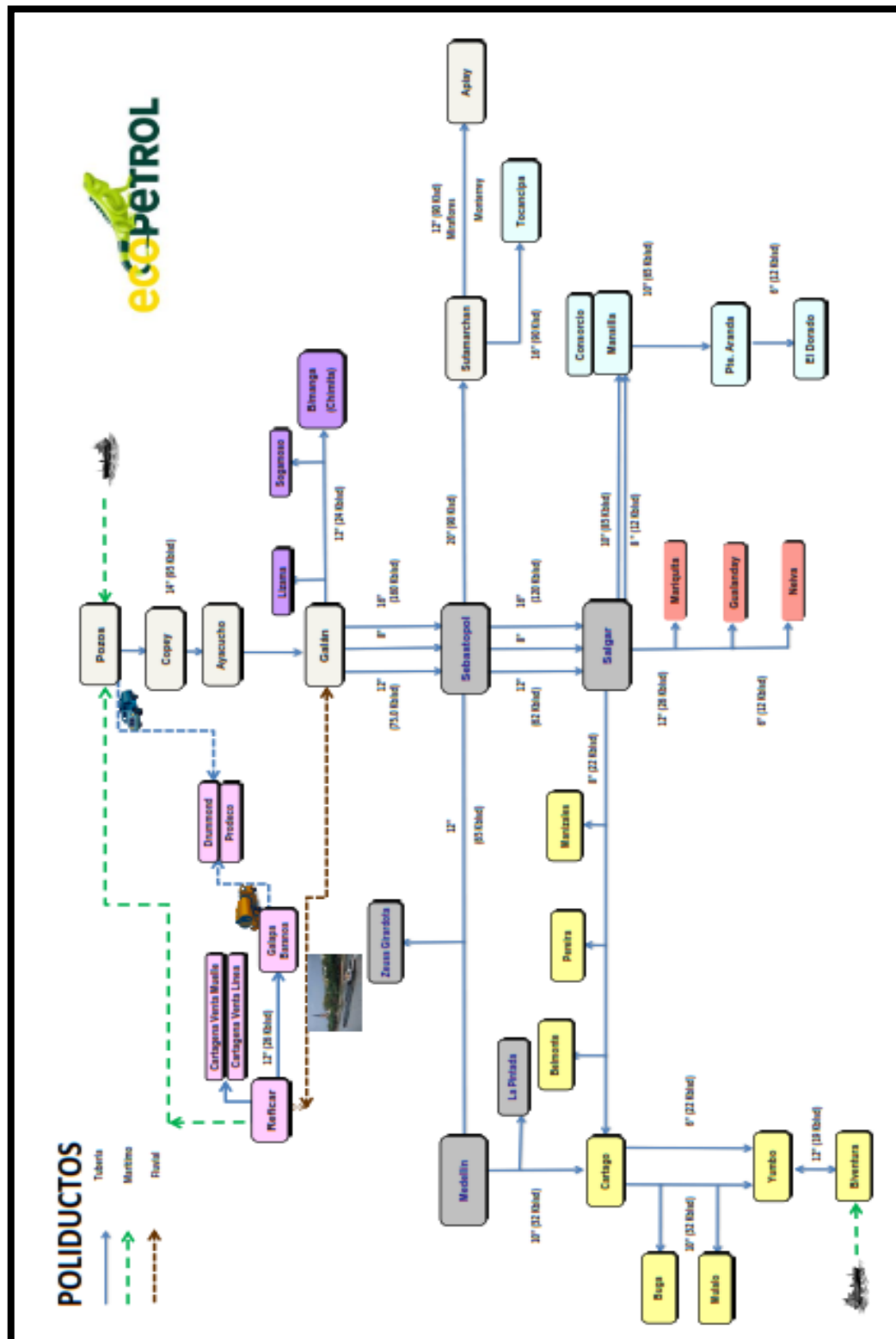


Figura 4. Diagrama de Poliductos – Ecopetrol

Nota. Adaptado de: (Ecopetrol)

Los sistemas que transportan el combustible para aviones Jet A-1 en Colombia se relacionan a continuación:

Tabla 6.

Sistemas que transportan combustible para aviones Jet A-1 en Colombia. Infraestructura Petrolera. Cenit.

Nombre del Sistema	Diámetro del Poliducto (pulgadas)	Longitud del Poliducto (km)	Producto Transportado	Estación de bombeo
Poliducto Medellín Cartago – Yumbo	10"	807,609	Jet A-1, Gasolina, Diésel	Medellín - La Felisa - Cartago – Yumbo
Jet Ducto Puente Aranda – El Dorado	6"	9,714	Jet A-1	Puente Aranda – Allied Aviation
Poliducto Salgar Mansilla – Puente Aranda	10"	183,613	Jet A-1, Gasolina, Diésel	Salgar – Guaduro – Villeta – Albán – Mansilla
Poliducto Galán – Salgar	12"	378,333	Jet A-1, Gasolina, Diésel, Nafta	Galán – Salgar
Poliducto Cartagena Baranoa	12"	103,646	Jet A-1, Gasolina, Diésel	Cartagena – Baranoa

Nota. Adaptado de: (Cenit S.A.S., s.f.)

4. Análisis de resultados de la estrategia de optimización en drenajes y Flushing

4.1 Generalidades del Flushing

El cumplimiento de las características y parámetros para el transporte de Jet A-1 por poliductos, se establece en la norma “ASTM D2276 o ASTM D3830” (Icontec Internacional, 2013), en donde se contempla que el parámetro ésteres metílicos de ácidos grasos – (FAME) debe ser menor a 5 ppm, con el propósito de evitar la alteración de los parámetros de calidad del JET A1 al ser transportado a través de los poliductos. De esta manera, se hace necesario identificar los puntos donde se encuentran residuos de otros productos transportados por el mismo poliducto y así mismo facilitar su eliminación. Estos puntos en las tuberías se denominan “piernas muertas” y son aquellos en donde existe poco flujo o éste se encuentra estancando, generando la mezcla del producto estancado con el fluido transportado por la tubería, lo que ocasiona que el parámetro del JET A1 – FAME no cumpla con el límite establecido por la norma.

Teniendo en cuenta lo descrito, Ecopetrol S.A. lleva a cabo en las tuberías y bombas el procedimiento de flushing, lo cual consiste en la realización de lavado con un producto igual o similar al que se va a transportar, con el propósito de eliminar los residuos de otros productos transportados previamente.

El procedimiento de flushing se realiza con una cuña de kerosene, la cual va por la tubería en la cabeza del JET A1.

A principios del año 2018, Ecopetrol S.A. adopta como límite el parámetro de FAME 50 ppm (acorde con la normatividad vigente), dando inicio a la optimización del procedimiento del flushing en las plantas del sistema Salgar – Mansilla, disminuyendo la cantidad de producto drenado, el cual se envía a los tanques sumideros y de alivio, generando ahorros por que se disminuye la cantidad de producto degradado en el transporte del JET.

4.2 Resultados de la estrategia de optimización de drenaje y flushing

En el mes de marzo del 2018 se inició la estrategia de optimización de los drenajes y flushing de manera progresiva en cada una de las plantas que conforman el sistema Salgar – Mansilla: Guaduoero (marzo), Villeta (abril) y Albán (mayo).

Con el propósito de sustentar lo descrito, la Tabla 7 presenta los resultados de la optimización en plantas de rebombeo en el sistema Salgar – Mansilla durante el año 2018; de igual manera, se encuentran tabuladas las cantidades (en barriles) de JET A-1 enviado a los tanques de alivio de cada planta durante el transporte de JET A-1, lo cual se encuentra a continuación:

Tabla 7.

Ecopetrol. Resultados de optimización en plantas de rebombeo 2018. Sistema Salgar -Mansilla

Resultado de La Optimización del Flushing en el 2018												
CANTIDADES DE BARRILES ENVIADOS AL TANQUE DE ALIVIO DURANTE EL FLUSHING EN PLANTAS DE REBOMBEO												
Plantas	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiemb	Octubre	Noviemb	Diciembre
Guaduoero	212	295	241	110	113	69	148	0	0	0	0	0
Villeta	127	173	164	337	49	45	57	0	0	0	0	0
Alban	160	159	123	166	123	15	14	0	0	19	16	6

Fuente de datos: Trabajo de campo

El comportamiento de la estrategia de optimización de los drenajes y flushing en las plantas de rebombeo, origen y recibo del Sistema Salgar –Mansilla en 2018, se presenta a continuación en la Figura 5:

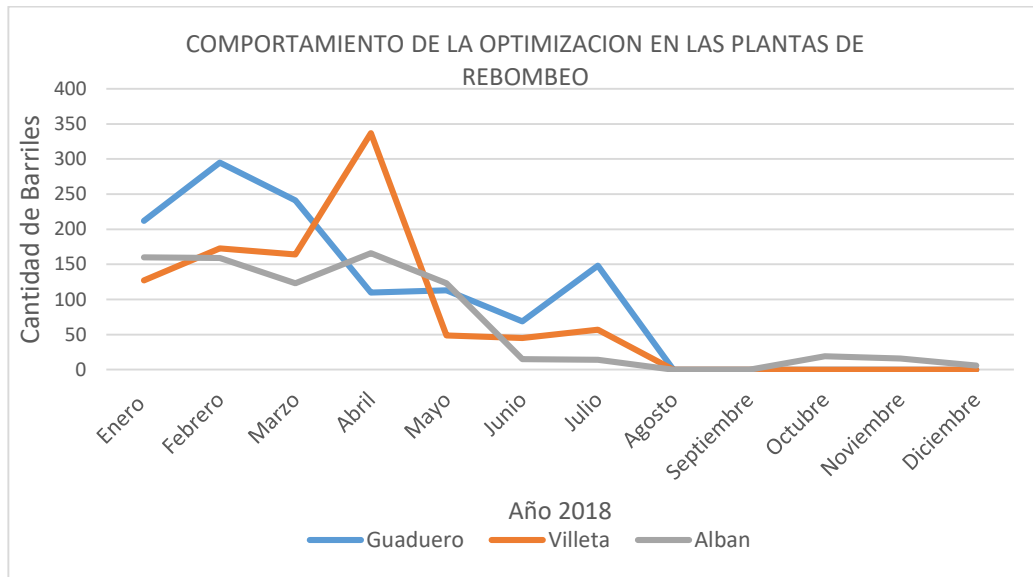


Figura 5. Ecopetrol. Comportamiento de optimización en plantas de rebombeo 2018. Sistema Salgar -Mansilla.

4.3 Análisis de resultados de la optimización en drenajes y Flushing

La Tabla 7 resultados de optimización en plantas, muestra los datos de campo obtenidos de la cantidad de producto JET A-1 que fue drenado mediante el procedimiento del flushing en las plantas de rebombeo; Guaduo, Villeta y Albán las cuales pertenecen al Sistema Salgar –Mansilla. Se observa en la Figura 5 comportamientos de optimización en plantas, que a partir de la implementación del procedimiento de optimización del Flushing, se disminuyó la cantidad de producto JET A-1 que se degrada al ser enviado a los tanques de alivio de cada una de las plantas.

En las plantas de inicio y de terminación del sistema Salgar y Mansilla respectivamente se realizan unos procesos propios de su condición de almacenamiento de producto, por lo cual se deben realizar drenajes de los fondos de tanques y drenajes de sistemas de filtrado, generando normalmente unos volúmenes grandes de producto drenado al tanque de relevo lo que enmascara la disminución de cantidad de producto drenado por la optimización del flushing.

El proceso que se realiza para recuperar los productos que llegan al tanque de relevo, comienza tomando una muestra del producto del tanque, el cual se envía al laboratorio para determinar el contenido de azufre, la gravedad API, densidad, presión barométrica, la curva de destilación del producto, el punto de ebullición inicial y el punto de ebullición final de la muestra, este mismo análisis se realiza al tanque de gasolina Motor que se va enviar por el poliducto. Adicionalmente, teniendo el flujo al cual se va enviar el bache de gasolina por el poliducto, se determina el flujo al cual se puede inyectar al tanque de relevo al paso del bache de gasolina, conservando los parámetros de la gasolina motor.

La cantidad de energía que utiliza en promedio es la consumida por el motor de la bomba de inyección del tanque de relevo al paso de la gasolina motor es aproximadamente de 58kw/h que tiene un costo aproximado de \$30.740 pesos, por ejemplo, en una gasolina motor que tenga un punto de ebullición final de 205 °C y con un producto en el tanque relevo con punto ebullición final de 347 °C y un punto ebullición inicial de 44 °C, se necesitarían inyectar 53 barriles por hora, es decir que para inyectar 1000 barriles se necesitarían 19 horas de energía que tendría un costo económico de \$ 584.060 pesos .

Realizando un análisis del ahorro económico con la optimización del flushing, no es muy relevante con la inyección del producto al paso de la gasolina motor, pero en caso de que fuera necesario realizar el drenaje del tanque relevo a través de carrotanques, por daño en el sistema de inyección de producto al paso de gasolina motor, sería muy alto el costo debido a que se requeriría sacar por carrotanques 500 barriles al mes entre las tres plantas (Albán, Villeta, Guaduro), lo que implica la utilización de tres carrotanques de 200 barriles cada uno. El costo promedio de un viaje de carrotanque es de diez millones de pesos (\$10.000.000), lo que generaría un ahorro en promedio de treinta (30) millones de pesos mensuales con la implementación de la optimización del flushing.

5. Fluctuación de precios del combustible para aviones en Colombia.

5.1 Estructura de precios del JET A-1

La estructura del precio del JET A-1, ha tenido como referencia la Ley 681 de 2001 y la Resolución 8 0299 de 2001 del Ministerio de Minas y Energía, posteriormente modificada por la Resolución 18 0088 de 2003 y el artículo 116 de la Ley 1450 de 2011, lo anterior con el propósito de su comercialización nacional. Las tarifas de transporte se liquidan en pesos por galón de acuerdo con las Resoluciones 18 0088 de Enero 30 de 2003, 18 1701 del 22 de Diciembre de 2003, 181300 del 23 de Agosto de 2007 y 180989 del 17 de junio de 2011. Las tarifas de transporte están a cargo de Cenit Transporte y Logística de Hidrocarburos S.A.S (Ecopetrol S.A., s.f.).

Ecopetrol S.A. publica en su página web, los precios actualizados de acuerdo con la siguiente estructura (Ecopetrol S.A., s.f.):

$$\text{PMV} = \text{IP} + \text{IVA} + \text{TI} + \text{Otros}$$

Donde,

PMV: Precio de venta de la gasolina de aviación Jet A-1 al Distribuidor Mayorista

IP: Ingreso al productor

IVA: Impuesto al Valor Agregado

TI: Valor del transporte a través del sistema de poliductos.

Otros = Comercialización y margen de continuidad.

5.2 Fluctuación de precios del combustible para aviones en Colombia

Teniendo en cuenta la estructura determinada por la normatividad y la publicación por parte de Ecopetrol S.A. en su página web, a continuación se presenta la fluctuación de precios que ha presentado el JET A-1, en el periodo comprendido entre el año 2003 y 2010:

Tabla 8.

Fluctuación de precios del JET A-1 desde el año 2003 hasta 2010

		Precio por años en USD/gal							
Descripción		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1. Ingreso al Productor (IP)		0,83473	1,34845	1,71332	1,71194	2,66751	1,89964	1,98772	2,32166
2. IVA		0,13355	0,21575	0,27413	0,27391	0,42680	0,30394	0,31803	0,37147
3. Transporte	Bucaramanga (Chimitá)	0,03300	0,0391	0,04570	0,04760	0,05550	0,05040	0,06260	0,0686
	Puerto Salgar Bogotá (Puente Aranda)	0,05056	0,0608	0,07110	0,07410	0,08640	0,07840	0,09740	0,1068
	Medellín	0,08180	0,0978	0,11430	0,11910	0,13890	0,12610	0,15670	0,1718
		0,07022	0,0841	0,09830	0,10240	0,11940	0,10840	0,13470	0,1477
	Cartago	0,08005	0,0957	0,11190	0,11660	0,13590	0,12340	0,15330	0,1682
	Cali (Yumbo)	0,08988	0,1073	0,12550	0,13070	0,15250	0,13840	0,17200	0,1886
	Barranquilla (Baranoa)	0,02422	0,0287	0,03350	0,03490	0,04070	0,03700	0,04590	0,0504
	Tocancipá	0,08180	0,0978	0,11430	0,11910	0,13890	0,12610	0,15670	0,1718
	Cartagena	0,01194	0,0141	0,01650	0,01720	0,02780	0,02520	0,03140	0,0344
	Barrancabermeja	0,01475	0,0147	0,01720	0,02780	0,03240	0,02940	0,03650	0,0401
	Buenaventura	0,02352	0,1227	0,14340	0,14950	0,17430	0,15820	0,19660	0,21560

Fuente de datos Página Web Ecopetrol S.A. (Ecopetrol S.A., s.f.)

Con la expedición de la Ley 1450 de 2011, a partir de este año se incorpora a la estructura de precios, los costos adicionales y se complementa lo relacionado con los cargos por transporte según lo estipulado en la Resolución 180989 del 17 de junio de 2011.

A partir del 1° de agosto de 2014 las tarifas de transporte están a cargo de Cenit Transporte y Logística de Hidrocarburos S.A.S., por lo tanto, Ecopetrol deja de publicar esta información.

De acuerdo con lo descrito y teniendo en cuenta las novedades presentadas, a continuación se describe la fluctuación de precios del JET A-1 desde el año 2011 hasta el 2018:

Tabla 9.

Fluctuación de precios del JET A-1 desde el año 2011 hasta 2018.

		Precio por años en USD/gal							
Descripción		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1. Ingreso al Productor (IP)									
USD/gln		2,85228	3,02868	2,96256	2,84632	1,04548	1,51986	1,83610	1,68490
2. IVA		0,45636	0,48459	0,47401	0,45541	0,16728	0,24318	0,34886	0,32013
3. Transporte	Bucaramanga (Chimitá)	131,12	135,05	0,07	0,08	Debido a que las tarifas de transporte están a cargo de Cenit Transporte y Logística de Hidrocarburos S.A.S., a partir del 1° de agosto de 2014 Ecopetrol deja de publicar esta información y a partir de esa fecha los interesados deberán recurrir a Cenit para adelantar cualquier consulta referente a este tema.			
	Puerto Salgar	204,08	210,19	0,11	0,12				
	Bogotá (Puente Aranda)	328,2	338,05	0,18	0,19				
	Medellín	282,17	290,63	0,15	0,17				
	Cali (Yumbo)	321,23	330,86	0,2	0,21				
	Barranquilla								
	(Baranoa)	360,27	371,08	0,05	0,06				
	Cartagena			0,04	0,04				
	Barrancabermeja	76,55	78,85	0,04	0,05				
4. Costos adicionales (Ley 1450 de 2011) (pesos por galón)		0	0	=					
5. Impuesto al carbono \$/gal								148,00	156,00

Fuente de datos Página Web Ecopetrol S.A. (Ecopetrol S.A., s.f.)

6. Conclusiones

Como conclusiones del trabajo de recolección y análisis de literatura sobre la producción, transporte, uso y reglamentación de combustibles para aviones en Colombia, se presentan las siguientes:

- Colombia es uno de los países productores y consumidores del Jet A-1, lo cual lo hace responsable del cumplimiento y aplicación del marco legal y de cada una de las condiciones y especificaciones que legisla al combustible en relación con sus propiedades y características físico químicas, todo lo relacionado al muestreo para garantizar la calidad del producto y las obligaciones de los compradores que distribuyen, almacenan, entregan y abastecen de combustible a las aeronaves. Es importante resaltar que las normas colombianas que rigen lo referente al combustible Jet A-1, son tomadas bajo la base de las normas internacionales, las cuales son vigiladas por cada uno de los gobiernos de cada país.
- Los poliductos corresponde a uno de los sistemas más seguros, rápidos y rentables para el transporte del Jet A-1, desde su punto de producción hasta su destino final, garantizando el cumplimiento de cada una de las especificaciones y de los controles establecidos en las normas nacionales e internacionales que buscan la calidad del producto al momento de ser usado en cada una de las aeronaves.

- Se logró corroborar la eficacia del procedimiento de optimización del flushing, a través de la reducción en la cantidad de barriles degradados, al pasar de drenar 120 barriles por cada 100 mil barriles transportados, a drenar 25 barriles por cada 100 mil barriles transportados.
- Se identificó la organización existente desde hace varios años, en relación con la estructura del precio de JET A-1 en Colombia y su continua actualización y ajuste normativo, lo cual evidencia que corresponde a un proceso controlado y encaminado a garantizar su rentabilidad para el país.

Referencias Bibliográficas

- ANCAP. (2017). *JET A-1*. Obtenido de <https://www.ancap.com.uy/innovaportal/file/1657/1/jet-a-1.pdf>
- Angulo, L., Márquez, G., & Rivas, M. Á. (2012). Mérida, Venezuela. PETROING C.A. *Obtención de Gasolina Comercial, Kerosene y Gasóleo*. Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Química P.p. 19-22. Obtenido de http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/marquezronald/wp-content/uploads/PETROINCA_FINAL.pdf
- ASTM International. (2018). *ASTM D1655. Especificación estándar para combustibles de turbina de aviación*. Obtenido de <https://www.astm.org/Standards/D1655.htm>
- Aviacionulm. (s.f.). *Leonardo da Vinci, de la utopía a la ciencia*. Obtenido de <http://www.aviacionulm.com/Leonardo.thml>
- Barros, P., & Bravo, A. (2001). *Libros Maravillosos. La Historia de la Aviación*. Obtenido de <http://www.librosmaravillosos.com/lahistoriadelaaviacion/index.html>
- Botello, A. V., Von Osten, J. R., Gold-Bouchot, G., & Agraz-Hernández, C. (2005). *Diagnósticos y Tendencias. Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental*. Obtenido de https://books.google.es/books?id=WwuryOF1jUEC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Carstensen Lalo, J. I., & Castrejon Huicochea, A. V. (2010). *Diseño y Construcción de un Poliducto para Transporte de Diésel*. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/15726>
- Cavado –Osorio, A., Comesaña-Garcia, Y., Fernández, R., & Dago-Morale, A. (2014). *Técnicas quimiométricas de reconocimiento de patrones para el control de calidad de turbo combustibles Jet a-1 a partir de sus propiedades fisicoquímicas* Revista CENIC Ciencias

- Químicas, Vol. 45, Pp. 2-6. Obtenido de
file:///C:/Users/user/Desktop/Monografia/JET%20UIS.pdf
- Cenit S.A.S. (s.f.). *Mapa de infraestructura Petrolera Colombiana*. Obtenido de
file:///C:/Users/user/Downloads/16009_Poli.pdf
- Ecopetrol. (s.f.). *Diagrama de poliductos de Colombia*.
- Ecopetrol Gerencia de Control de Operaciones y Mantenimiento. (2018). *Resultados de la Optimización de flushing en el jet A-1 Salgar – Mansilla L10*.
- Ecopetrol S.A. (s.f.). *Precios historicos*. Obtenido de
<https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/precios/precios-historicos/historicos>
- Energy Institute JIG. (2013). *Quality assurance requirements for the manufacture, storage and distribution of aviation fuels to airports. Versión en inglés*. Obtenido de
https://publishing.energyinst.org/__data/assets/file/0005/76874/Pages-from-WEB-VERSION-EI-1530-12.11.13.pdf
- Feijoo Ruiz, C. D. (2012). *“Procesamiento de la Mezcla Crudo y Médium Distillate For Blending Stock (MDBS) Para Aumentar la Producción De Destilados Medios” Universidad Nacional de Ingeniería Perú. Pp.13-20*. Obtenido de
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1527/1/feijoo_rc.pdf
- Gestor Normativo. (2019). *Departamento de Administración de la Función Pública. Decreto 968 de 1940*. Obtenido de
http://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=78419
- Gestor Normativo. (2019). *Departamento de Administración de la Función Pública. Decreto 4299 de 2005. Pp 1-23*. Obtenido de
http://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=18314
- Gustato. (s.f.). *Destilación Atmosférica y al Vacío*. Obtenido de
<http://gustato.com/petroleo/destilacion.html>

ICAO. OACI. NKAO. (2012). *Doc 9977 AN/489. International Civil Aviation Organization. Manual on Civil Aviation Jet Fuel Supply. Versión en inglés.* Obtenido de <https://skybrary.aero/bookshelf/books/2477.pdf>

Icontec Internacional. (2013). *Norma Técnica Colombiana NTC 4517 (segunda actualización). Manejo del Turbocombustible para Aviación. Transporte.* .

Icontec Internacional. (2014). *Norma Técnica Colombiana NTC 4642 (segunda actualización). Manejo del Turbocombustible para Aviación. Almacenamiento.*

Icontec Internacional. (2015). *Norma Técnica Colombiana NTC 1899 (Novena actualización). Petróleo y sus Derivados. Combustible de Aviación para Motores a Reacción.* .

Instituto Nacional de Seguridad E Higiene en el Trabajo. (2016). *Queroseno. Documentación Toxicológica para el Establecimiento del Límite de Exposición Profesional del Queroseno (Combustible de Aviación). PP. 1-2.* Obtenido de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/LEP%20_VALORES%20LIMITE/Doc_Toxicologica/capitulos%20101_106/ficheros/DLEP%20106.pdf

Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2018). *Decreto 1451.* Obtenido de <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%201451%20DEL%2006%20DE%20AGOSTO%20DE%202018.pdf>

Ministerio de Minas y Energía. (1974). *Decreto 636.* Obtenido de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/170046/Decreto-636-+1974.pdf/2460d3cb-98a3-46f6-8e85-cc8a0cb97ce8>

Ministerio de Minas y Energía. (26 de junio de 2003). *Decreto 1760.* Obtenido de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/655199/Decreto-1760-26Junio2003.pdf/10da619c-aafa-421f-bcc9-865a5d1e011f>

Repsol. (2012). *Ficha de Datos de Seguridad Jet A-1. Pp. 1 – 12.* Obtenido de file:///C:/Users/user/Desktop/Monografia/FDS_JET_A1_diciembre2012_tcm7-619312.pdf

Repsol Aviación. (s.f.). *¿Cuáles son las propiedades del JET A-1?* Obtenido de https://www.repsol.com/imagenes/global/es/Propiedades_Jet_A1_tcm13-19730.pdf

Revista Credencial de Historia. (2019). *Historia de la Aviación en Colombia, 1911 – 1950*. Obtenido de <http://www.revistacredencial.com/credencial/historia/temas/historia-de-la-aviacion-en-colombia-1911-1950>

Sánchez, J. (2017). *Cenit, empresa transportadora de Ecopetrol que no alcanzó a vender el Gobierno*. Obtenido de <https://www.elespectador.com/economia/cenit-empresa-transportadora-de-ecopetrol-que-no-alcanzo-vender-el-gobierno-articulo-725480>

Senado de la Republica de Colombia. (2011). *Constitución Política 1991. Artículo 332*. Obtenido de <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Documents/Constitucion-Politica-Colombia.pdf>

SrpskaCrnja. (2007). *Alexander Mozhaisky*. Obtenido de https://web.archive.org/web/20080531143550/http://www.srpskacrnja.com/Avioni/savremeni_avioni.htm

Stewart, Martin V, BS. (2018). *La Destilación*. Obtenido de <http://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2095/eds/detail/detail?vid=3&sid=5fe93e74-0d31-4eff-9e7f-9811678b4743%40pdc-v-sessmgr01&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=89250421&db=ers>

The Amazing Hiram Maxim - Una biografía íntima por Arthur Hawkey Spellmount Publishers. (2001). *Hiram Stevens Maxim 1840 – 1916*. Obtenido de <http://www.flyingmachines.org/maxim.html>

Wikipedia La enciclopedia libre. (17 de agosto de 2018). *Gravedad API*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Gravedad_API

Wikipedia La enciclopedia libre. (17 de enero de 2019). *Energía solar fotovoltaica*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica

Wikipedia La enciclopedia libre. (25 de enero de 2019). *Historia de la aviación*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_aviaci%C3%B3n#cite_note-wright1910-42