



NOTA DE ESTUDIO

CONFERENCIA SOBRE LA AVIACIÓN Y LOS COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

Ciudad de México, México, 11 a 13 de octubre de 2017

Cuestión 1 del

orden del día: **Avances en materia de investigación y certificación de combustibles de aviación alternativos**

SITUACIÓN DE LA CERTIFICACIÓN TÉCNICA DE LOS COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN ALTERNATIVOS

(Nota presentada por la Secretaría de la OACI)

RESUMEN

En la presente Nota se describen las especificaciones existentes para combustibles de aviación alternativos, los procesos de conversión aprobados para la producción de combustibles de aviación alternativos y los procesos de conversión que actualmente están en evaluación. También se presentan los retos asociados a la certificación técnica así como las posibles formas de superarlos.

Las medidas propuestas a la Conferencia figuran en el apartado 5.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Tal como se describe en la Nota CAAF/2-WP/01, existen dos tipos de certificaciones asociadas a los combustibles de aviación alternativos (AAF): a) certificación técnica, que garantiza que el combustible cumple las características exigidas para su uso en aeronaves existentes, y b) certificación de sostenibilidad, que garantiza que un determinado AAF cumple los criterios de sostenibilidad definidos y, por lo tanto, es un combustible sostenible para la aviación (SAF). La presente Nota de Estudio se centra en la certificación técnica de los AAF.

1.2 La certificación técnica de combustibles alternativos ha logrado avances significativos desde la primera Conferencia sobre la aviación y los combustibles alternativos (CAAF/1). En 2009 no existía una especificación relativa a la producción de combustibles de aviación alternativos (AAF). Actualmente existen diversas especificaciones de AAF en todo el mundo, como la ASTM D-7566, la Norma de Defensa del Reino Unido (DEF STAN) 91-091 versión 9, la Resolución 63/207 de la ANP brasileña y la China CTSO-2C701.

1.3 La presente Nota se centra en las especificaciones de AAF publicadas por ASTM International, un organismo de normalización internacional, ya que se trata de normas con un amplio reconocimiento internacional. La Nota describe los cinco procesos de conversión actualmente aprobados por la ASTM para la producción de AAF, así como los procesos de conversión actualmente en

evaluación¹. En el Apéndice A se describen de una manera técnica más detallada esos procesos de conversión y en el Apéndice B se incluye un glosario de términos técnicos asociados a los procesos de conversión descritos en esta Nota.

2. PROCESOS DE CONVERSIÓN APROBADOS COMO ANEXOS A ASTM D7566

2.1 La norma D7566 de la ASTM incluye cinco anexos con los procesos de conversión aprobados para la producción de AAF. En el Cuadro 1 se resumen las características básicas de esos procesos de conversión, incluyendo posibles materias primas que pueden utilizarse en cada proceso de conversión, así como el coeficiente de mezcla máximo aprobado para cada tipo de AAF.

Cuadro 1. Procesos de conversión aprobados como anexos de la ASTM D7566.

| Anexo | Proceso de conversión | Abreviatura | Posibles materias primas | Coefficiente de mezcla en volumen | Propuestas de comercialización |
|-------|--|-------------|---|-----------------------------------|---|
| 1 | Queroseno parafínico sintético Fischer-Tropsch | FT-SPK | Carbón ⁺ , gas natural ⁺ , biomasa | 50% | Fulcrum Bioenergy, Red Rock Biofuels, SG Preston, Kaidi, Sasol, Shell, Syntroleum |
| 2 | Queroseno parafínico sintético de ésteres y ácidos grasos hidroprocesados | HEFA-SPK | Bioaceites, grasa animal, aceites reciclados | 50% | AltAir Fuels, Honeywell UOP, Neste Oil, Dynamic Fuels, EERC |
| 3 | Isoparafinas sintéticas de azúcar fermentada hidroprocesada | SIP-HFS | Biomasa utilizada para la producción de azúcar | 10% | Amyris, Total |
| 4 | Queroseno parafínico sintético con aromáticos obtenidos mediante la alquilación de aromáticos ligeros de fuentes distintas al petróleo | SPK/A | Carbón ⁺ , gas natural ⁺ , biomasa | 50% | Sasol |
| 5 | Queroseno parafínico sintético a base de alcohol para reactores | ATJ-SPK | Biomasa utilizada para la producción de almidón y azúcar así como biomasa celulósica para la producción de isobutanol | 30% | Gevo, Cobalt, Honeywell UOP, Lanzatech, Swedish Biofuels, Byogy |

⁺ Estas materias primas no son renovables y por lo tanto, no son adecuadas para la producción de SAF, pero posiblemente puedan ser utilizadas para la producción de AAF para aplicaciones militares.

¹ Seminario público patrocinado por la Bioenergy Technologies Office del EERE en Macon, G. f.-1. (2017). *Alternative Aviation Fuels: Overview of Challenges, Opportunities, and Next Steps*. Macon, Georgia, USA: U.S. Department of Energy Energy Efficiency and Renewable Energy.

3. NUEVOS PROCESOS DE CONVERSIÓN, ACTUALMENTE EN PROCESO DE APROBACIÓN EN LA ASTM

3.1 La especificación ASTM D7566 fue elaborada para permitir su futura ampliación conforme se verifique la viabilidad de nuevos métodos de producción de AAF. La ASTM también ha emitido una norma relativa al proceso de prueba y evaluación necesario para la publicación de un nuevo anexo de D7566 sobre un nuevo proceso de conversión, que describe el papel de los fabricantes de equipos originales de la máquina de turbina de gas y de aeronaves en el proceso de prueba y evaluación. Esta norma se denomina ASTM D4054 “Standard Practice for Qualification and Approval of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives” (sólo disponible en el idioma inglés, “Práctica normalizada para la cualificación y aprobación de nuevos combustibles y aditivos para combustibles para turbinas de aviación”).

3.2 La ASTM D4054 se ha elaborado para orientar a los productores de AAF sobre los objetivos en materia de ensayos y de propiedades necesarios para evaluar una propuesta de AAF. La norma D4054 consta de un proceso iterativo por el que el productor del combustible candidato somete a ensayo muestras del combustible para medir sus propiedades, composición y rendimiento. Los ensayos abarcan las propiedades básicas de la especificación, las propiedades ampliadas denominadas propiedades adecuadas a los objetivos, un banco de pruebas del motor, el ensayo de los componentes y, si es necesario, un ensayo general del motor. Es un proceso riguroso que exige la participación y las aportaciones de muchas de las partes interesadas de la ASTM.

3.3 El cuadro 2 ofrece una perspectiva general de los procesos de conversión actualmente en fase de aprobación para su inclusión como anexos de la norma ASTM D7566.

Cuadro 2. Procesos de conversión actualmente en fase de aprobación en la ASTM.

| Proceso de conversión | Abreviatura | Posibles materias primas | Propuestas de comercialización | Observaciones |
|---|--------------------------------|---|---|--|
| Reactores basados en hidrotérmolisis catalítica / HEFA con punto de congelación elevado | CHJ/ HFP-HEFA | Bioceites, grasa animal, aceites reciclados | Chevron Lummus Global, Applied Research Associates, Blue Sun Energy | Reacción de bioaceites con agua en condiciones de elevada presión y temperatura. Podrían utilizarse sin mezclar |
| Coprocesado de bioaceites en refinerías actuales | Co-procesado | Bioaceites | Chevron, Phillips66, BP ² | El coprocesado se basa en el procesamiento de bioaceite con destilados intermedios obtenidos en refinerías existentes |
| Queroseno parafínico sintético a base de alcohol para reactores | ATJ-SPK (además de isobutanol) | Biomasa utilizada para la producción de almidón y azúcar y biomasa celulósica para la producción de alcohol | Gevo (butanol), LanzaTech (etanol) | ASTM está examinando la producción de combustible para reactores a partir de butanol y etanol además del isobutanol que ha sido aprobado como ATJ-SPK (Anexo 5). |
| Queroseno parafínico sintético con aromáticos a | ATJ-SKA | Biomasa utilizada para la producción de | Byogy, Swedish Biofuels | Combustible producido con bioaromáticos para permitir porcentajes de mezcla |

²http://www.caafi.org/resources/pdf/CoProcessing_of_HEFA_Feedstocks_with_Petroleum_Hydrocarbons_for_Jet_Production_June192015.pdf

| | | | | |
|--------------------------------|--------------|---|--------|--|
| base de alcohol para reactores | | almidón y azúcar y biomasa celulósica para la producción de alcohol | | superiores. |
| HEFA Plus | Diésel verde | Bioceites, grasa animal, aceites reciclados | Boeing | Se han realizado los primeros vuelos de prueba con una mezcla del 15% de diésel HEFA (“diésel verde”) ³ |

4. CONCLUSIÓN

4.1 La certificación técnica de los AAF ha evolucionado profundamente desde la CAAF/1 celebrada en 2009. Un hito importante ha sido la aprobación de la norma D7566 de la ASTM. Disponer de una norma reconocida internacionalmente permite a todas las partes que participan en la producción, adquisición y utilización de los AAF tener garantías sobre la seguridad y viabilidad del combustible.

4.2 No obstante, el tiempo y los recursos económicos necesarios para la aprobación de nuevos procesos de conversión son aún grandes retos para el desarrollo de nuevas formas de producción de AAF. Los Estados y las partes interesadas de la industria deben trabajar conjuntamente en la normalización y simplificación del proceso necesario para la aprobación de nuevos procesos de conversión, que abarquen todo el proceso de desarrollo y utilización a fin de permitir una mayor diversificación de los procesos de conversión y las materias primas a utilizar para la producción de los AAF.

4.3 Dada la compleja cadena de suministro asociada a la industria de los AAF, los distintos tipos de materias primas que pueden utilizarse para la producción de AAF y el conocimiento necesario para la certificación técnica y la producción de AAF, es necesaria una colaboración global e interdisciplinar entre los Estados para la aprobación de nuevos procesos de conversión destinados a la producción de AAF, así como para la certificación técnica de nuevos proveedores de AAF. Todo ello tendrá un efecto beneficioso en términos de diversificación y disponibilidad de los AAF.

5. MEDIDAS PROPUESTAS A LA CAAF/2

5.1 Se invita a la CAAF/2 a que:

- a) reconozca la importancia de disponer de una especificación internacionalmente aceptada para los procesos de conversión utilizados en la producción de combustibles de aviación alternativos;
- b) aliente a los Estados a apoyar la aprobación de nuevos procesos de conversión actualmente en desarrollo;
- c) reconozca la necesidad de colaboraciones globales e interdisciplinarias en materia de certificación técnica, y

³ Mawhood, R. et al., (2016). Production pathways for renewable jet fuel: a review of commercialization status and future prospects. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining* 10(4): 462-484.

- d) llegue a un acuerdo sobre la necesidad de reducir el tiempo y los recursos económicos necesarios para la certificación técnica de combustibles de aviación alternativos y que analice los medios y las políticas para alcanzar ese objetivo.

APPENDIX A

CHEMICAL DESCRIPTION OF THE CONVERSION PROCESSES

Fischer-Tropsch hydroprocessed synthesized paraffinic kerosene (FT-SPK)

FT-SPK AAF is produced by thermally converting the feedstock into a synthesis gas that is then converted in a Fischer-Tropsch (FT) reactor into liquid hydrocarbons such as diesel or jet fuel. The FT synthesis can be described as a set of catalytic processes employing iron-based or cobalt catalysts depending on the synthesis temperature and desired products, e.g. gasoline, olefins, diesel, or paraffins. Ideally, FT-SPK feedstocks should contain high concentrations of carbon and hydrogen to increase the efficiency of this thermochemical process. Common feedstocks for FT synthesis are coal, natural gas, or biomass, however, coal and natural gas are not renewable and thus are not suitable for sustainable aviation fuel production. Biomass is renewable but often has a large variation in carbon content. A less common, but still renewable feedstock, is biogas produced from anaerobic digestion of organic matter, such as landfills, animal manure, and wastewater, or a mixture of liquid and solid biomass⁴. With this conversion process, up to 50% by volume of the FT-SPK component can be blended with conventional Jet A or Jet A-1 fuel.

Synthesized paraffinic kerosene produced from hydroprocessed esters and fatty acids (HEFA-SPK)

HEFA-SPK is produced by reacting an oil or fat-based feedstock with hydrogen. The primary feedstock are triglycerides, which are building blocks of fats and oils. They are derived from vegetables, animals, or waste oil found in nature. To account for the presence of oxygen and unsaturated carbon bonds, both deoxygenation and hydrogenation process steps are required to produce a saturated hydrocarbon fuel. With this conversion process, up to 50% by volume of the HEFA-SPK component can be blended with conventional Jet A, or Jet A-1 fuel.

Synthesized iso-paraffins produced from hydroprocessed fermented sugars (SIP-HFS)

SIP-HFS are synthetic hydrocarbons that are produced by hydroprocessing and fractionation of farnesene derived from the fermentation of sugars. This conversion is also known as direct sugars to hydrocarbons (DSHC). Possible sugar feedstocks can include sugar cane and beets, corn grain, and pretreated lignocellulosic biomass⁵. The sugars are aerobically fermented into a farnesene intermediate using yeast cells. To obtain farnesene, the intermediate is separated into a solid and liquid part and further into an oil and aqueous phase using centrifugation. With this conversion process, up to 10% by volume of the SIP-HFS component can be blended with conventional Jet A or Jet A-1 fuel.

Synthesized kerosene with aromatics derived by alkylation of light aromatics from non-petroleum sources (SPK/A)

SPK/A stands for FT-SPK with increased aromatics content. A minimum of 8% aromatics is required in AAF blends to ensure sufficient seal swell to prevent fuel system leaks. Therefore, this synthesized fuel that includes aromatics can reach higher blend rates than the ones without aromatics inclusion. Similar

⁴Jingura, R. M. et al., (2009). Optimization of biogas production by anaerobic digestion for sustainable energy development in Zimbabwe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (5), 1116-1120.

⁵ Staples, M. D. et al., (2014). Lifecycle greenhouse gas footprint and minimum selling price of renewable diesel and jet fuel from fermentation and advanced fermentation production technologies. *Energy & Environmental Science* 7, 1545-1554.

feedstocks to those used to produce FT-SPK are used with alternative processing steps needed to produce aromatics. According to the ASTM D7566 specification, the SPK/A synthetic blending component shall be comprised of FT-SPK combined with synthesized aromatics from the alkylation of non-petroleum derived light aromatics, primarily benzene. With this conversion process, up to 50% by volume of the SPK/A component can be added to blended with conventional blending components, Jet A, or Jet A-1 fuel.

Alcohol-to-jet synthetic paraffinic kerosene (ATJ-SPK)

ATJ-SPK is produced from isobutanol and processed through dehydration, oligomerization, hydrogenation, and fractionation. Possible feedstocks for isobutanol production include fermentable sugars, such as sugar cane and sugar beet, hydrolysed grain starch from wheat or corn, hydrolysed polysaccharides from lignocellulosic biomass, or wood sent through a thermochemical conversion³. As defined in the specification, up to 30% by volume of the ATJ-SPK component can be blended with conventional Jet A or Jet A-1 fuel.

Catalytic Hydrothermolysis Jet (CHJ) and Co-processing Jet

CHJ is a two-step process of catalytic hydrothermolysis and hydroprocessing. Possible feedstocks are triglyceride-based and include plant oils, waste oils, algal oils, and oils such as soybean oil, jatropha oil, camelina oil, carinata oil, and tung oil. In CHJ the selected feedstock is reacted with water in a supercritical phase to obtain a product resembling light crude oil. Reactions taking place in the hydrothermal process are cracking, hydrolysis, decarboxylation, isomerization, and cyclization. The intermediate is then hydroprocessed, obtaining a blend of diesel, jet fuel, naphtha, and liquefied petroleum gases, which are finally separated via distillation.

Like for CHJ, the feedstock for Co-processing Jet is triglyceride-based. Co-processing is based on the conversion of vegetable oil alongside middle distillates in existing refineries to reduce capital investment.

ATJ-SPK (ethanol)

The ASTM committee responsible for managing the D7566 approval process is reviewing production of jet fuel from alcohols in addition to isobutanol, which has already been approved as ATJ-SPK (Annex 5). Alternative jet fuel production from ethanol is currently in review. Once sufficient test data is collected for other alcohols, this annex may be extended further.

APPENDIX B

GLOSSARY OF TECHNICAL TERMS ASSOCIATED WITH CONVERSION PROCESSES

Cracking describes the thermal decomposition of a substance.

Cyclization describes a molecule structure change resulting in a ring structure.

Decarboxylation describes the removal of one or several carboxyl groups i.e. COOH, from a molecule.

Dehydration describes the loss of a water molecule.

Deoxygenation describes a process for removing oxygen from oxygen containing compounds.

Farnesene describe branched alkene with the chemical formula: C₁₅H₂₄, consisting of isomers and containing at least (6E)-7,11-dimethyl-3methylene-1,6,10-dodecatriene or (E,E)-3,7,11-trimethyl-1,3,6,10-dodecatetraene.

Fractionation describes a gas/liquid separation and isolation of synthesized iso-paraffins, typically including a distillation step.

Hydrocracking describes the hydrogenation of larger or complex hydrocarbons, followed by cracking, to produce high-octane fuel.

Hydrogenation is a molecular reaction with hydrogen, often associated with the saturation of unsaturated hydrocarbons. It can be either catalytic or by thermal hydrolysis.

Hydrolysis describes a molecule decomposition by bond splitting and the addition of a hydrogen cation and the hydroxide anion of water.

Hydroprocessing describes several conventional chemical processes in which hydrogen is reacted with organic compounds in the presence of a catalyst to remove impurities such as hydrotreating, hydrogenation, or hydrocracking.

Hydrotreating reacts organic compounds with hydrogen to remove impurities such as oxygen, sulphur, and nitrogen.

Isomerization describes a molecule forming a different isomer.

Oligomerization describes the process of converting smaller molecules into intermediate sized ones