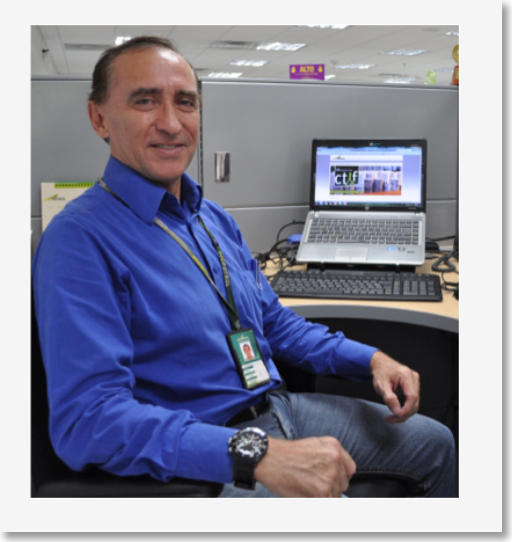


Edgar Castillo

Investigador, ICP – Ecopetrol

Researcher, ICP - Ecopetrol

Biocombustibles avanzados a partir del aceite de palma

Advanced Biofuels from Palm Oil

Colombia

Biocombustibles avanzados a partir del aceite de palma

TRABAJAMOS PARA PRODUCIR BARRILES LIMPIOS

Centro de Innovación y Tecnología en Refinación, Petroquímica, Biocombustibles y Energía CEQ-ICP.

ecopetrol

XVIII Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite
Cartagena, Septiembre 2015

Contenido

TRABAJAMOS PARA PRODUCIR BARRILES LIMPIOS

Tecnologías para producir Diesel y Jet Renovable

- Definición del Producto
- Métodos de Producción
- Calidad del Producto

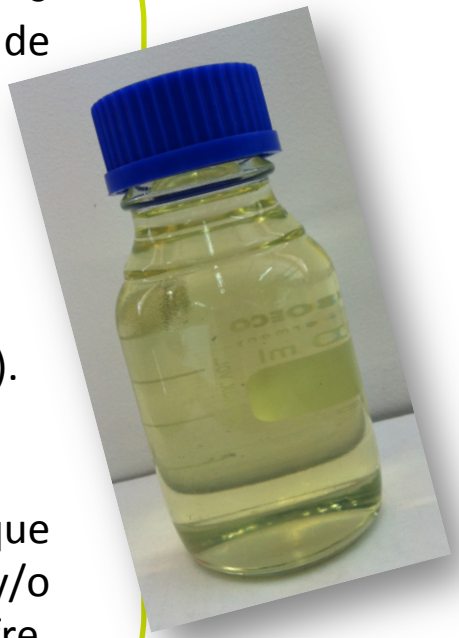
Diesel Renovable en Ecopetrol

- Alcance del proyecto
- Formulación de Alternativas
- Plan de Trabajo

Diesel Renovable? Green Diesel?

Diesel Renovable

Hidrocarburo liquido obtenido a partir de fuentes renovables, por procesos termoquímicos (hidrotratamiento/isomerización, BTL, etc.) o bioquímicos, cuya composición química es similar a las fracciones de diesel de los hidrocarburos líquidos obtenidos del petróleo.

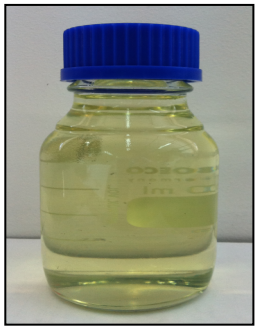


RUTAS: Coprocesamiento de aceites vegetales en unidades HDT.
Hidrotratamiento/Isomerización de aceite vegetales.
Métodos bioquímicos (en desarrollo: GMO, Nuevos procesos).
Métodos termoquímicos (en desarrollo: BTL, Pirolisis, etc)

Hidrotratamiento (HDT)**:** se refiere a un proceso termoquímico que emplea catalizadores en presencia de hidrogeno para transformar y/o mejorar combustibles con altos contenidos de contaminantes (azufre, aromáticos, nitrógeno y metales) en combustibles limpios.

HDT de diferentes fuentes de lípidos

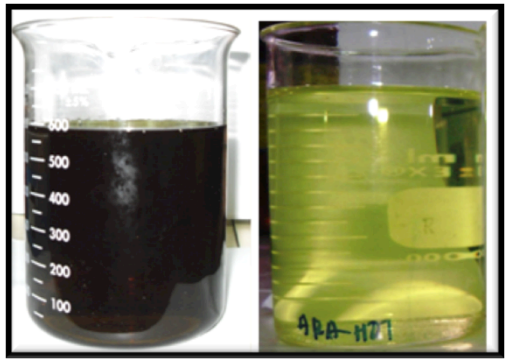
Aceite crudo de palma antes y después de HDT



Aceite Jatropha hidrotratado

Grasa animal antes y después de HDT

Aceite de Higuerilla antes y después de HDT



Aceite de Refinado de algas antes y después de HDT

Existen diferencias entre el Diesel Renovable y el Biodiesel

Biodiesel:

$$\begin{array}{l} CH_2 - COOR1 \\ | \\ CH - COOR2 \\ | \\ CH_2 - COOR3 \end{array} + 3CH3\text{-}OH \longrightarrow \begin{array}{l} CH_2 - OH \\ | \\ CH - OH \\ | \\ CH_2 - OH \end{array} + \begin{array}{l} CH_3 - O\text{-}CO\text{-}R1 \\ CH_3 - O\text{-}CO - R2 \\ CH_3 - O\text{-}CO - R3 \end{array}$$

Triglicéridos **Metanol** **Glicerol** **Métil Ester**

Diesel Renovable:

$$\begin{array}{l} CH_2 - COOR1 \\ CH - COOR2 \\ CH_2 - COOR3 \end{array} + H_2 \longrightarrow \underset{\text{Parafinas lineales}}{CR1 + CR2 + CR3} + \underset{\text{Agua}}{H_2O} + \underset{\text{Gases}}{C_3H_8 + C_2H_6 + CH_4 + CO_2 + CO + H_2}$$

Triglicéridos **Hidrógeno 2000 PCEB**

La **tecnología** de producción del diésel renovable es **madura y probada**, con un mercado incipiente.

UOP/Eni Ecofining™

Bio-Synfining™ technology

Vegan Technology

NExBTL technology

- Existen a nivel mundial varios proveedores de tecnologías propias para la producción de diesel renovable, tanto de la industria de combustibles fósiles como de biocombustibles.

- En los últimos 9 años han sido solicitadas a nivel mundial más de 600 patentes relacionadas con invenciones de biocombustibles a partir de procesos de hidrotratamiento.

Proyectos UOP

Año de inicio	Tecnología	Ubicación	Cliente	Tamaño (BPD)
2008	Ecofining/RJ	USA	Planta demostrativa UOP	200
2013	Ecofining	USA	Valero/Darling	10,000
2014	Ecofining	Italia	ENI	8,500
2014	Renewable Jet	USA	AltAir Fuels	No disponible
N/D	Ecofining	USA	No disponible	No disponible
N/D	Ecofining	USA	Emerald Biofuels LLC	No disponible

- Gran interés en Estados Unidos
- Interés significativo por parte de refinadores en la Unión Europea en 2012.

Fuente: UOP

El diésel renovable es **producido y comercializado** por algunas compañías en **Europa, Asia y Norteamérica**.

Ubicación	Capacidad	Inicio Operaciones	Costo aprox.
Porvoo, Finland	190 KTA	2007	
Porvoo, Finland	190 KTA	2009	
Singapur	800 KTA	Noviembre 2010	550 Mill. Euros
Rotterdam	800 KTA	2011	670 Mill. Euros

Su producto, conocido como NEXBTL el cual es obtenido mediante el hidrotratamiento de aceites vegetales o aceites usados fue introducido en el **año 2008.**

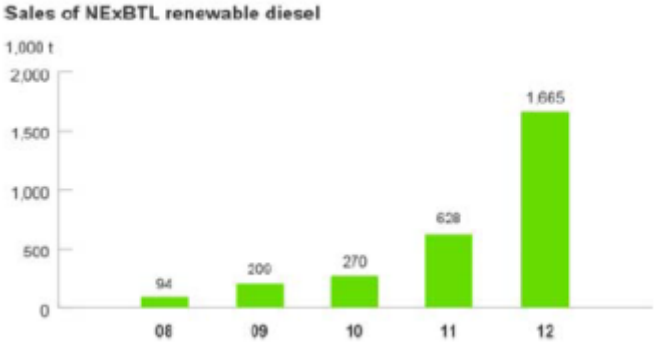
NESTE OIL

Se han realizado **pruebas extensivas** de campo del producto en **Finlandia, Alemania y Canadá**. El combustible ha mostrado un excelente desempeño usado al 100% así como en diferentes porcentajes de mezcla con el diesel fósil.

En 2008, iniciaron en sus estaciones de servicio ventas de mezclas del 10% de diésel renovable. **En 2012 aumentaron al 15%.**

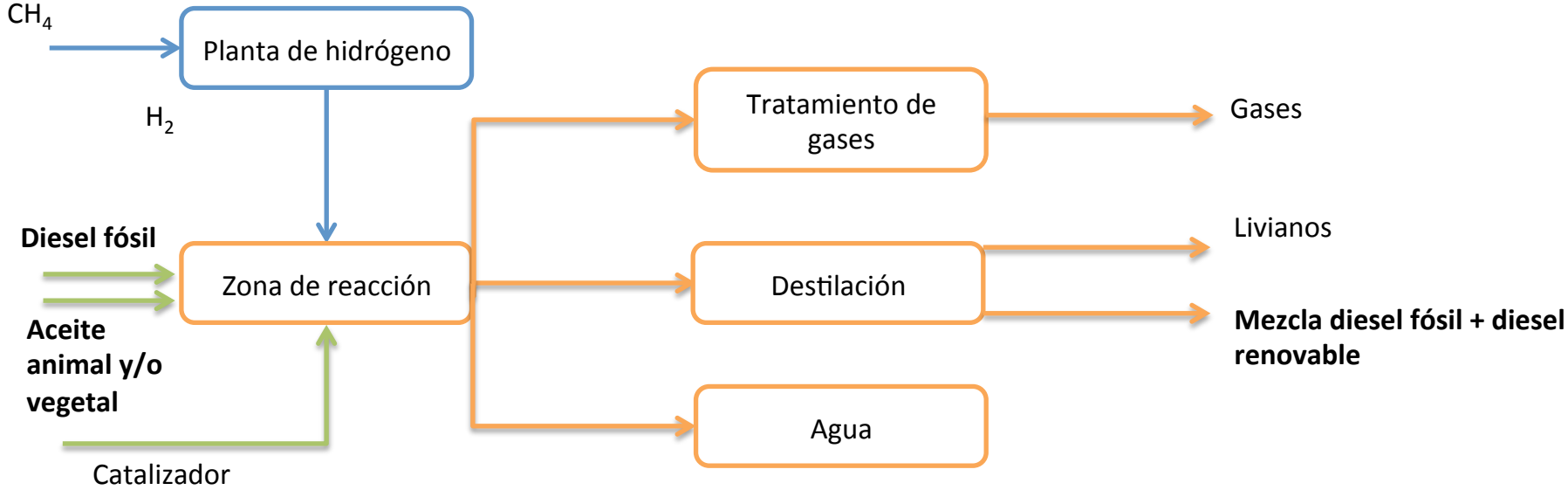
Actualmente es el productor de diésel renovable más grande a nivel mundial. Sus principales materias primas son **aceite de palma (65%), aceites usados y aceites de pescado (35%)**.

Sus ventas de diésel renovable en 2012 fueron de **1.7 millones de toneladas** a más de 10 países en Europa y a USA, lo que equivale al consumo anual de **2.1 millones de carros.**



Sus plantas de diésel renovable también permiten producir **jet (aviación) y nafta renovable** (producción de bioplásticos).

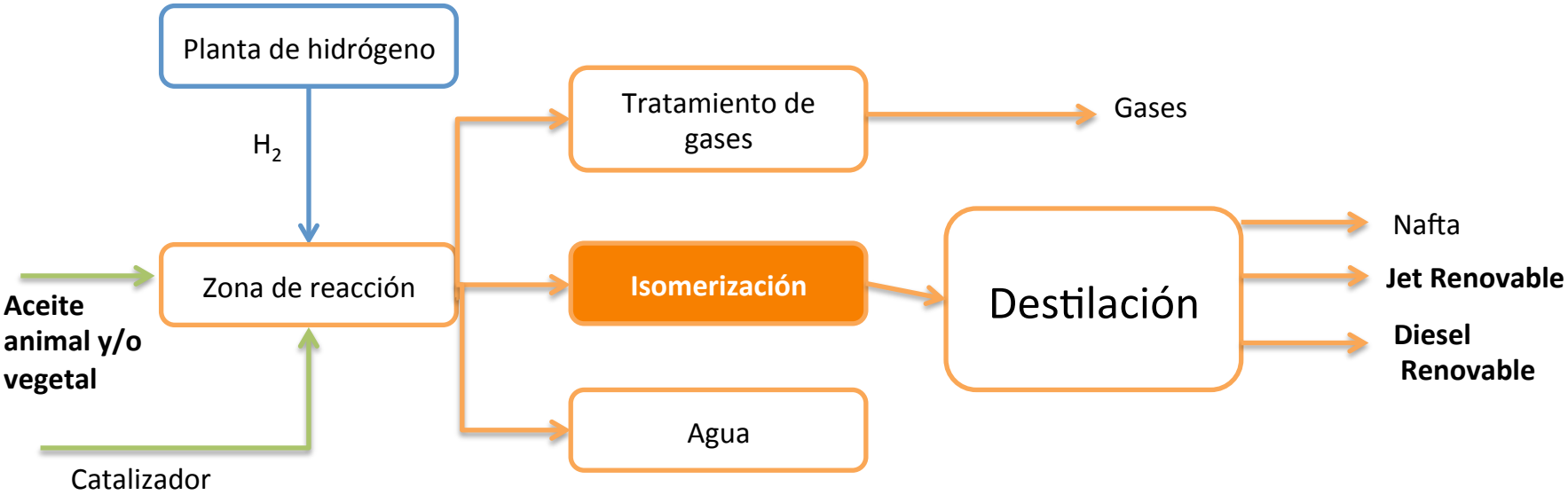
*En **coprocesamiento,** el aceite es hidrotratado **junto con hidrocarburos fósiles** en **refinerías existentes**. El producto final es una **mezcla** de biocombustible y diesel fósil.*



- El triglicérido proveniente del aceite de palma es convertido en una parafina lineal y el combustible final está compuesto por material orgánico y fósil. Los subproductos generados son hidrocarburos livianos como gas combustible, monóxido de carbono, dióxido de carbono y agua.

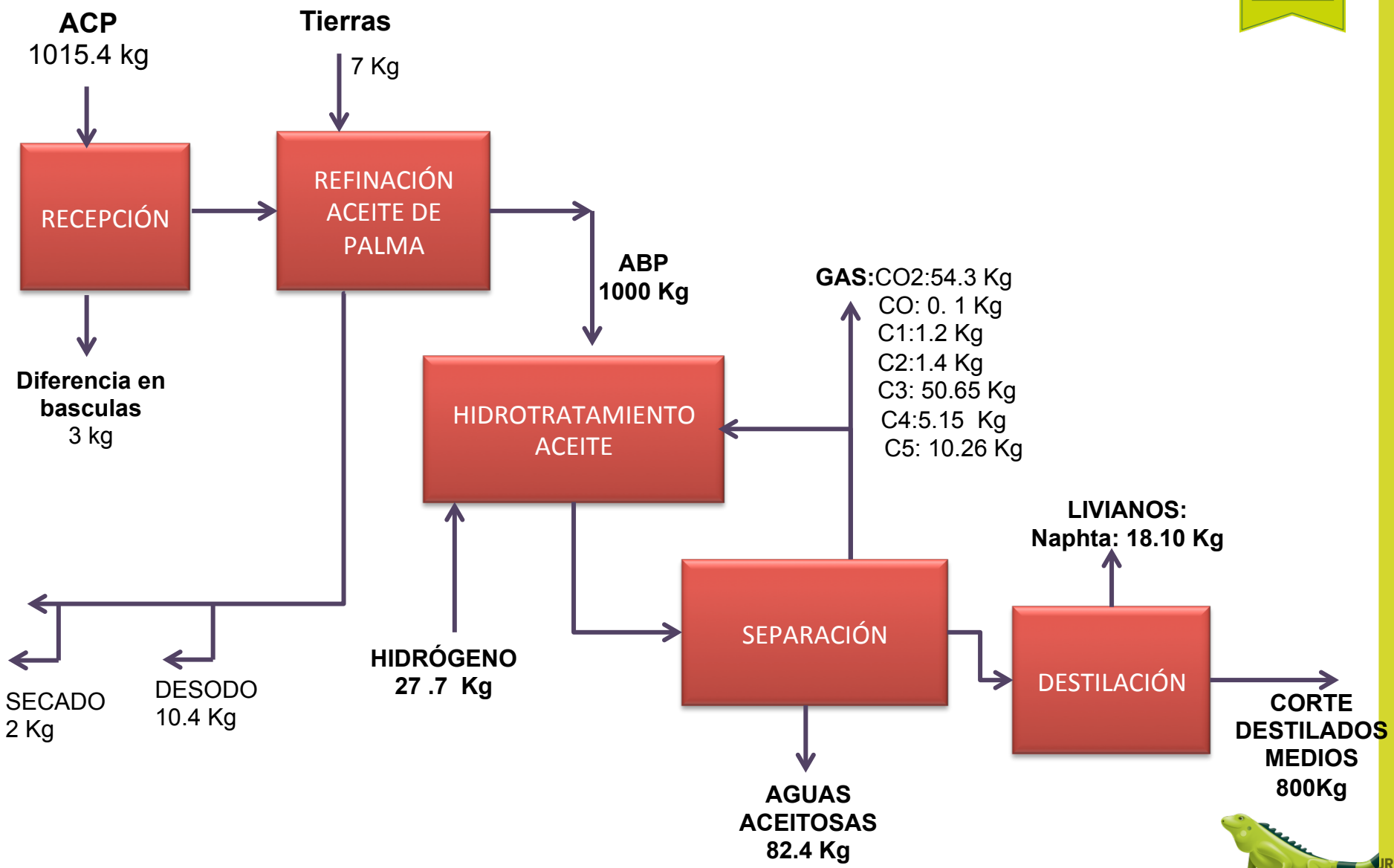
- La proporción de diesel renovable es cuantificada según los balances de masa del proceso.

*En **planta dedicada**, la carga es **100% aceite animal o vegetal**, la cual pasa por el proceso de **hidrotratamiento e isomerización** y el producto final es **100% biocombustible**. Tecnología Versátil*



- En planta dedicada se realiza un proceso adicional de isomerización en el cual se ajustan propiedades en frío del combustible.
- De acuerdo con las condiciones del proceso, a través de planta dedicada es posible producir no solo diésel renovable, sino también **jet renovable**, el cual puede ser usado como combustible de aviación.

Balance global para la producción de Diesel renovable



PESADOS

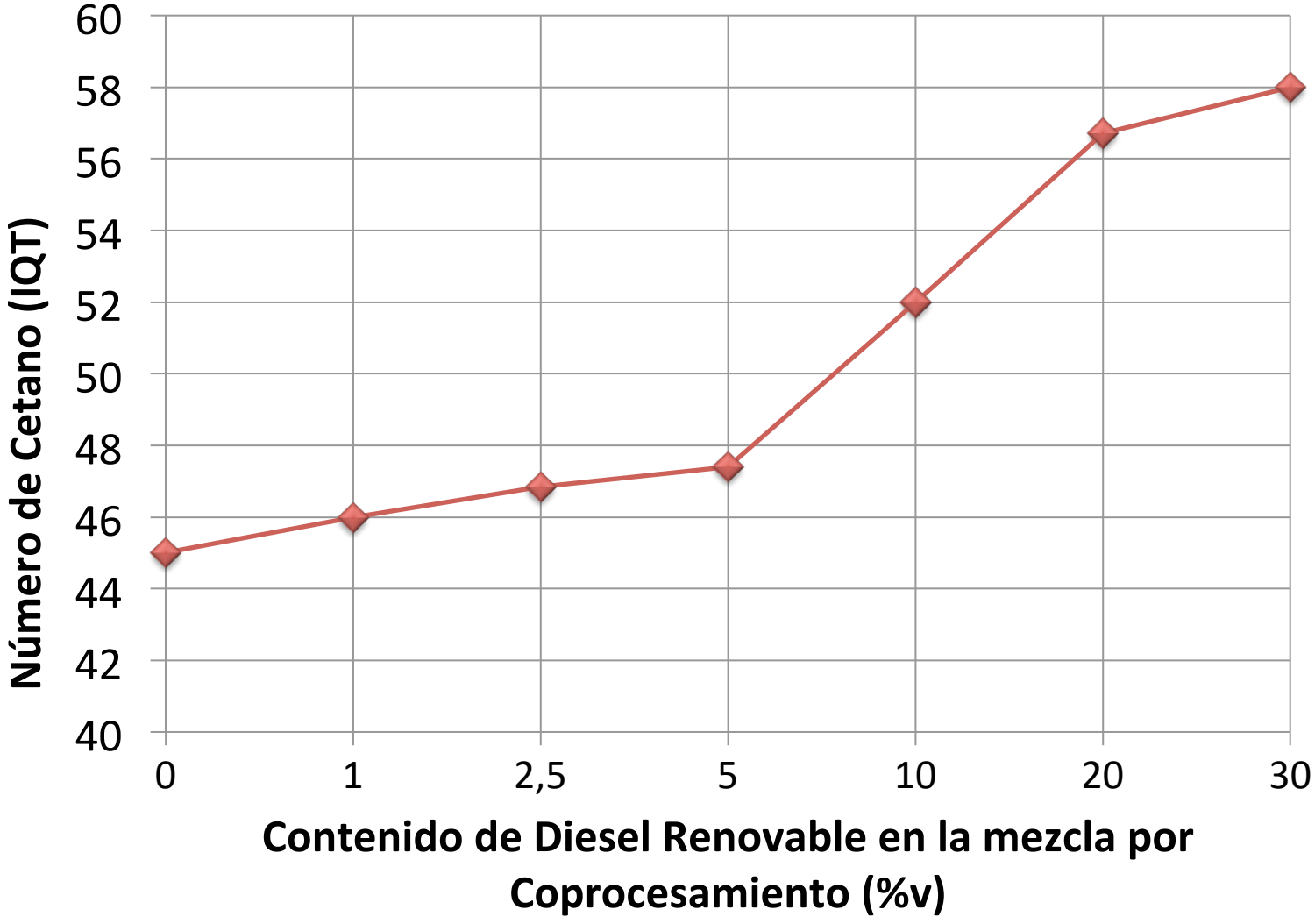
Propiedades del diesel renovable como combustible

TRABAJAMOS PARA PRODUCIR BARRILES LIMPIOS

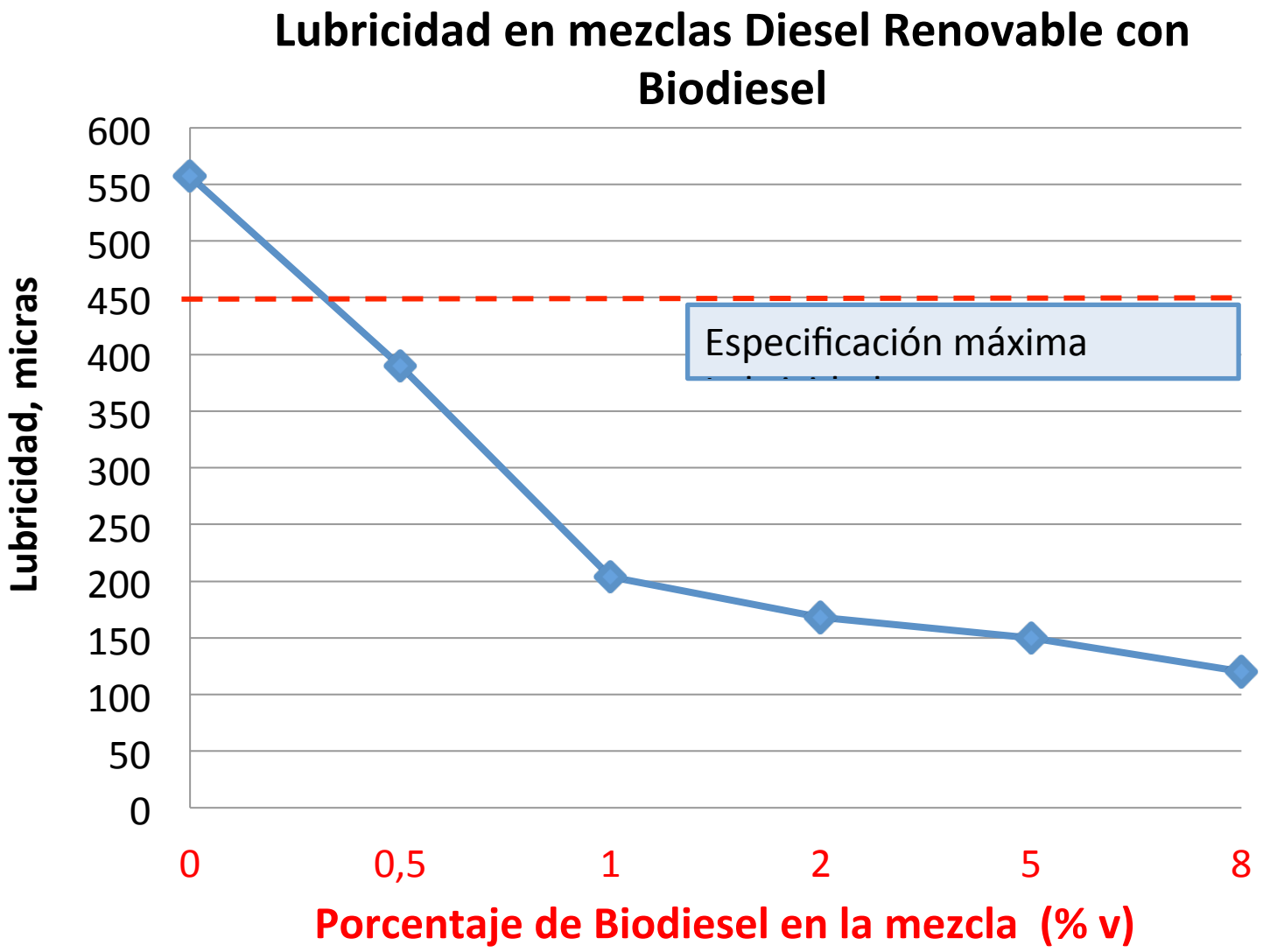
PROPIEDAD	Diesel Renovable (NExBTL)	Diesel GTL	Biodiesel (RME)	EN590-2005	ASTM D975 2D-S15
Densidad 15°C (Kg/m^3)	775 - 785	770 – 785	~ 885	~ 835	No especificada
Viscosidad 40°C(mm2/s)	2.9 - 3.5	3.2 - 4.5	~ 4.5	~ 3.5	1.9 – 4.1
Número de Cetano	84 – 99	73 – 81	~ 51	~ 53	> 40
Destilación 10% (°C)	260 – 270	~ 260	~ 340	~ 200	No especificada
Destilación 90% (°C)	295 - 300	325 – 330	~ 355	~ 350	282 – 338
Punto de Nube (°C)	-5…..-30	0….-25	~ -5	~ -5 Summer Grade	0 ….-30 Winter time
Poder Calorífico (MJ/Kg)	~ 44	~ 43	~ 38	~ 43	~ 43
Poli aromáticos (%wt)	0	0	0	~ 4	No especificada
Oxigeno (%wt)	0	0	~ 11	0	0
Azufre (mg/Kg)	~ 0	< 10	< 10	< 10	< 15

Fuente: Rantanen, L. et al. NExBTL - Biodiesel fuel of the second generation. SAE Paper 2005-01-3771.
ASTM D975 06a

La calidad de la mezcla Diesel-Diesel renovable mejora el Número de Cetano



Las deficiencias en lubricidad pueden superarse….



Existe una evidente sinergia con la producción de Jet Renovable

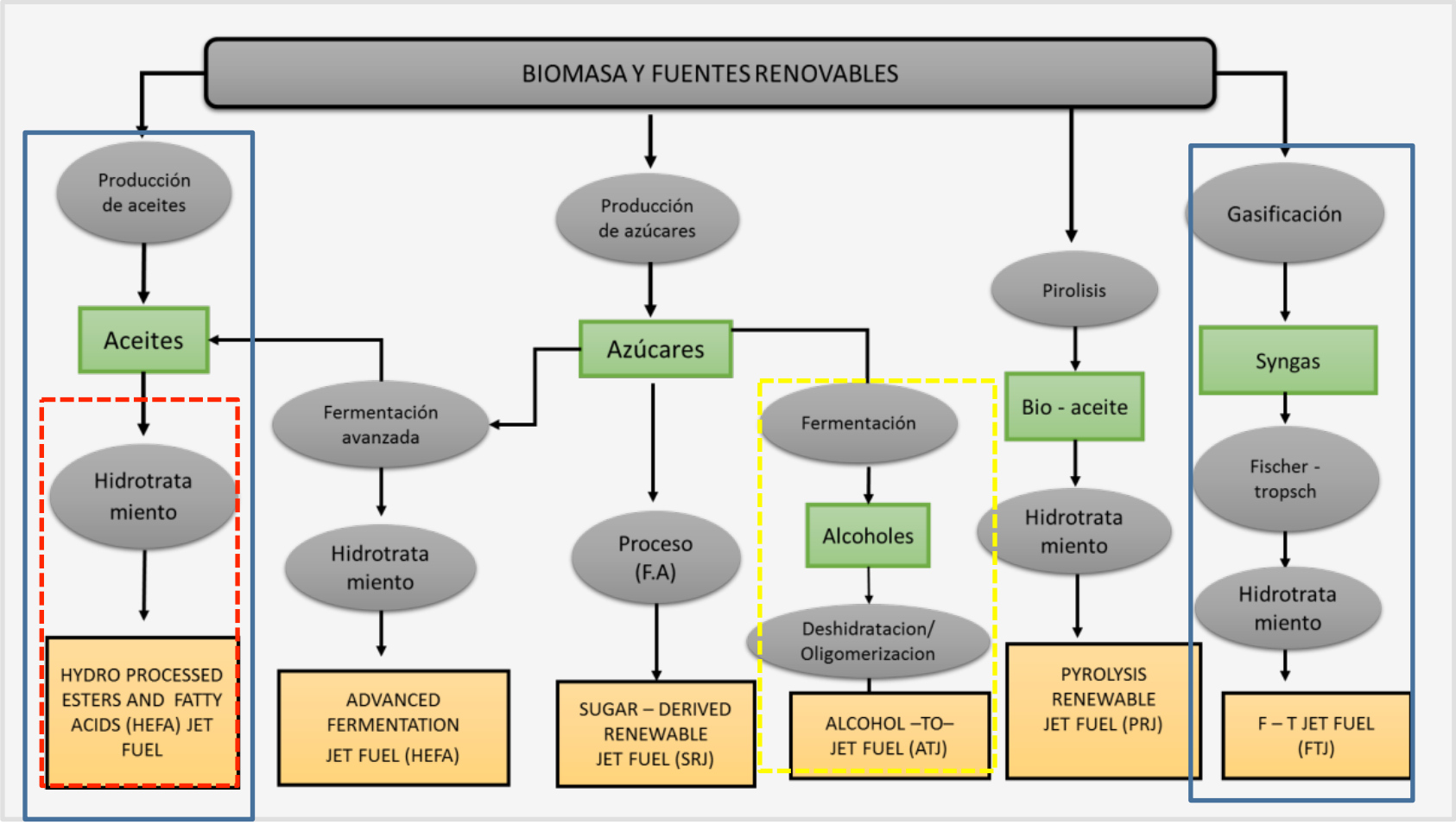


Imagen: Malina R. 2012

Aprobadas por ASTM

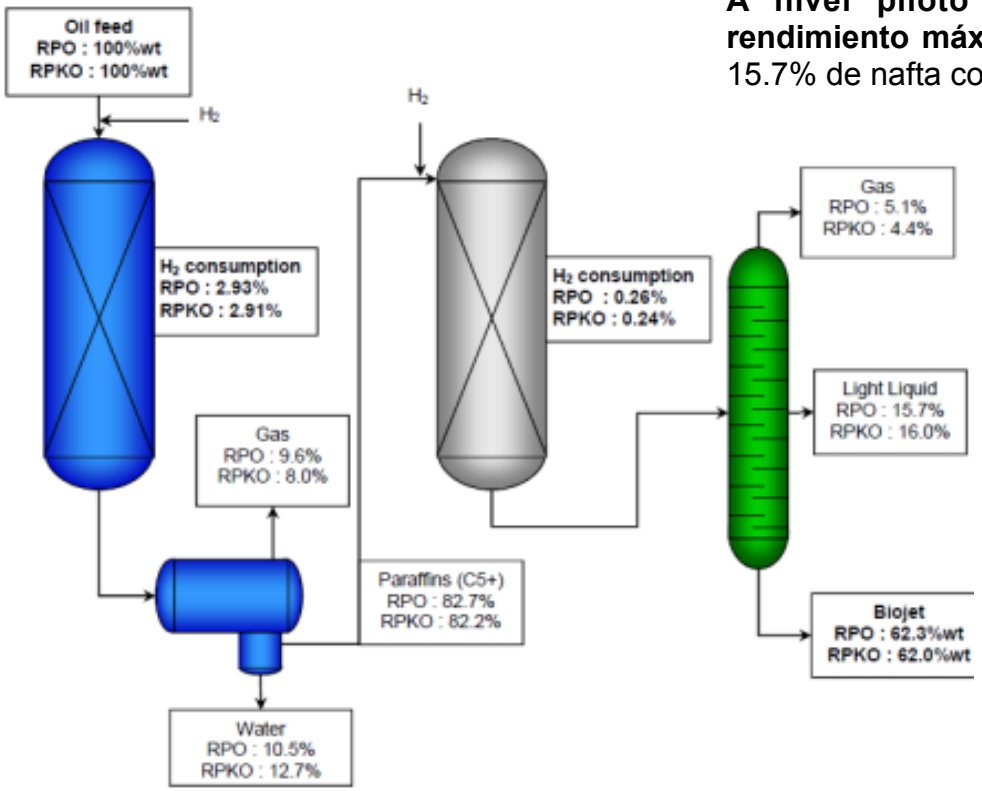
Ruta escogida para análisis experimental en proyecto

En proceso de Inclusión en ASTM

Producción de Jet renovable a partir de aceite de palma

TRABAJAMOS PARA PRODUCIR BARRILES LIMPIOS

A nivel piloto se determinó el balance de masa y rendimiento máximo para Biojet del 61-62% *w/w* y cerca de 15.7% de nafta con potencial para su valorización.

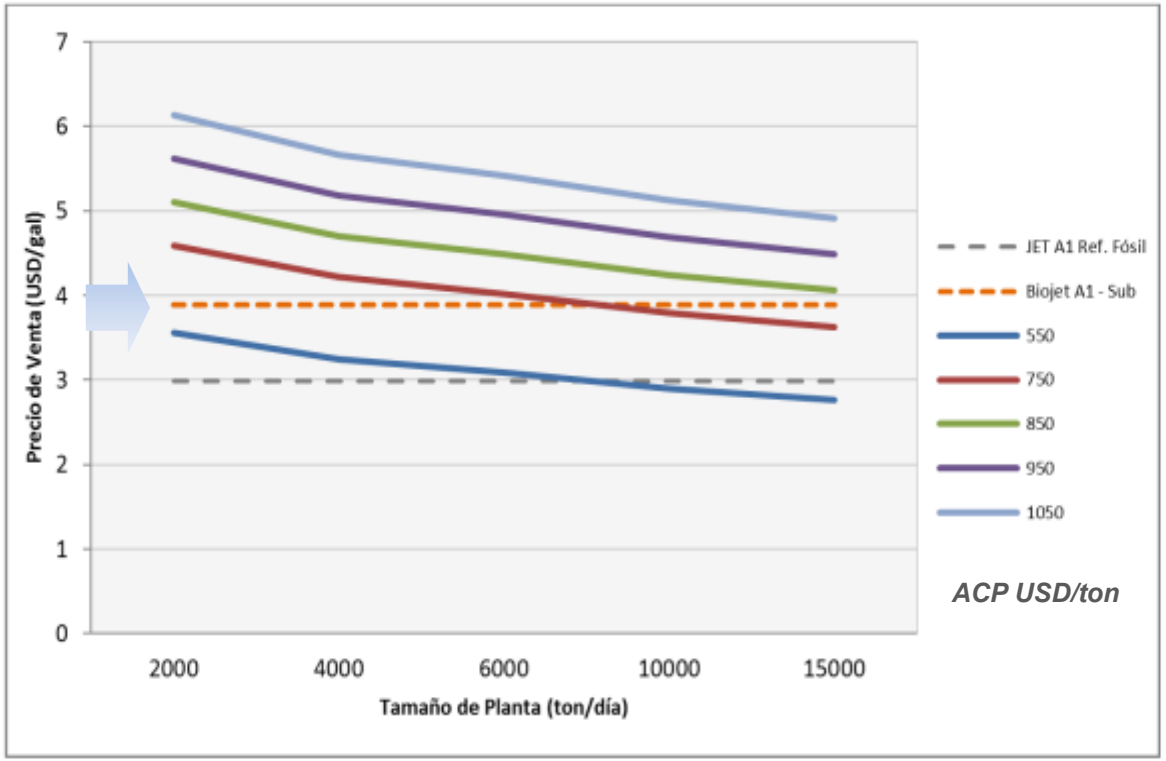


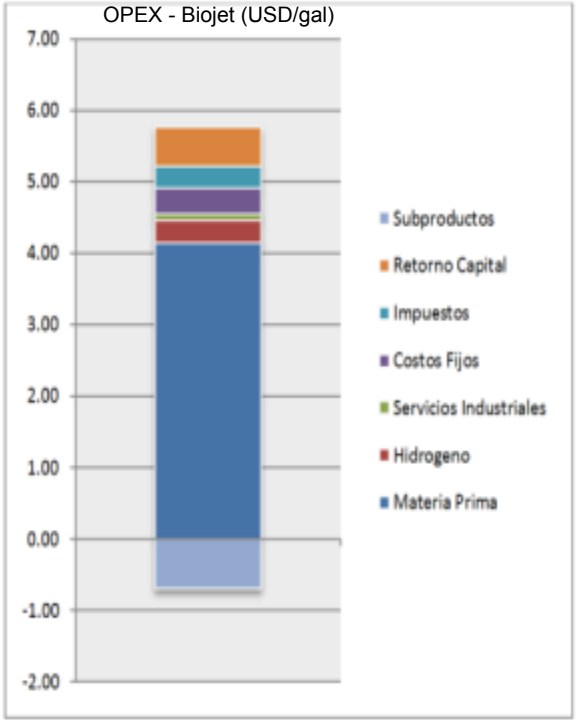
Calidad de Biojet obtenido

	Biojet ex-RPKO	Biojet ex-RPO	Requirements
Flash Point (°C)	**58.5**	**56.5**	**>38°C**
Physical Distillation D86 (°C)			
IBP (0.50 %)	177.3	164.7	
5.0%	184.9	181.6	
10.0% (T10)	**187.5**	**187.0**	<205°C
20.0%	191.4	200.3	
30.0%	195.7	214.4	
40.0%	199.4	229.2	
50.0% (T50)	**203.2**	**242.1**	report
60.0%	206.9	253.1	
70.0%	211.7	261.4	
80.0%	218.2	267.6	
90.0% (T90)	**231.4**	**273.4**	report
95.0%	246.1	277.4	
FBP (99.50 %)	**263.7**	**283.8**	<300°C
T90-T10, °C	43.9	86.4	>22°C
Residue (%wt)	1.0	0.3	<1.5%wt
Loss (%wt)	0.2	0.0	<1.5%wt
Freezing Point, °C	**-46**	**-42**	**<-40**
Yields (%wt)			
"Light Liquid"	20.5	20.1	
Biojet	**79.5**	**79.9**	

Una aproximación preliminar a la economía del Jet renovable

TRABAJAMOS PARA PRODUCIR BARRILES LIMPIOS





@ 2000 BPD - CAPEX: 120MM USD (2014 –Colombia – Operativo)

Caso de Referencia: MP: 850 USD/ton y Planta 2000 barriles /día

CLAVE: Rendimiento a Biojet. 62% w/w hace que la Oportunidad de Negocio sea de implementación comercial compleja, obligando al proyecto a requerir una materia prima en el rango de **550-650USD/ton;**

Escala. Las tecnologías de HDT para producción de Jet requieren escala y proyectos en el rango 2.000-4.000 BPD no se encuentran documentados comercialmente, a su vez el mercado de Jet en Colombia es pequeño, lo cual indica que un proyecto comercial deberá considerar mercados internacionales y diversificación de productos.

Producción de hidrogeno: reformado de gas natural para producir hidrógeno (smr)- principios básicos

TRABAJAMOS PARA PRODUCIR BARRILES LIMPIOS

Gas Natural

Generación de vapor

Reformado con Vapor: 1600°F (870°C) :

$CH_4 + H_2O \leftrightarrow 3H_2 + CO$

$C_nH_m + (n)\ H_2O \leftrightarrow (n+m/2)\ H_2 + (n)\ CO$

Para metano: $\Delta H = +206$ KJ/mol

Reactor de Conversión de gas de agua (WGS): 650 °F (345°C):

$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$

$\Delta H = -41$ KJ/mol

Remoción de CO2:

- Wet Scrubber o
- PSA

CO_2

Metanización: 750 °F (400 °C):

$CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$

$CO_2 + 4H_2 \leftrightarrow CH_4 + 3H_2O$

Separación a 100 ° F (40 ° C)

H_2 (95%)

Agua

Reformado de Gas Natural para Producir Hidrógeno (Smr) Licenciadores

Licenciador	Nombre tecnología	Página web
Lurgi	• Lurgi Reformer® • Pressure Swing Absorption (PSA) • Rectisol® • Lurgi Combined Reforming Process	http://www.lurgi.com/website/index.php?L=1&id=46
Foster Wheeler	• Foster Wheeler Terrace-Wall™ • Foster Wheeler downfired steam reformers. • Wet scrubber o PSA	http://www.fwc.com/GlobalEC/Refining/hydrogen.cfm
KBR	• KBR Top-Fired Steam Methane Reformer (SMR) • KRES™ Autothermal Reformer (ATR) • KRES™ Reforming Exchanger System.	http://www.kbr.com/Technologies/Hydrogen/
KTI	• Tecnimont steam reforming technology.	http://www.technipktispa.it/Hydrogen.htm
Uhde	• The proprietary Uhde top-fired steam reformer	https://procurement.uhde-web.de/competence/technologies/
Haldor Topsoe	• Topsoe Bayonet reformer • Side-fired tubular reformer • Haldor Topsoe Exchange Reformer (HTER) • Haldor Topsoe Convection Reformer (HTCR)	http://www.topsoe.com/business_areas/hydrogen/Processes.aspx
Linde	• Linde steam reformer plant	http://www.linde-engineering.com/en/process_plants

Proyecto Diesel Renovable en Ecopetrol- Planta Dedicada

Objetivo

Producir Diesel renovable en planta dedicada a escala comercial de manera rentable, de tal forma que contribuya al objetivo estratégico de desarrollar y consolidar la canasta de productos del Grupo Empresarial con energías alternativas, y alcanzar una producción de 450 KTA Propias de Biocombustibles en el año 2020.

Beneficios Esperados

- Incorporación de hasta 160000 ton/año de diesel renovable a partir de aceite de palma colombiano.
- Mejorar calidad de los combustibles en el blending por incorporación de un producto con mayor cetano, menor densidad y cero azufre.
- Diversificación de la canasta energética: ampliación del portafolio de productos para Ecopetrol, con la incorporación de un producto con mayor contenido energético.

* Se estima equivalencia energética y expansión de volumen para un periodo de 30 años de operación. Capacidad de planta 4000 BD

Reglamentación de Diesel Renovable en Colombia

Ministerio de Minas y Energía
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
RESOLUCIÓN 90963 DE 2014
(Septiembre 10)
"Por la cual se modifica el artículo 4º de la Resolución 898 de 1995, modificado por la Resolución 182087 de 2007, en relación con los criterios de calidad de los biocombustibles para su uso en motores diésel como componente de la mezcla con el combustible diésel de origen fósil en procesos de combustión".

Que con base en los desarrollos llevados a cabo por Ecopetrol S.A., a través del Instituto Colombiano del Petróleo, ICP, y los estudios llevados a cabo a nivel mundial en Europa (Neste Oil), Estados Unidos (UOP) y Brasil (Petrobras), entre otros, para la transformación de los aceites de origen vegetal o animal en procesos de hidrotratamiento obteniéndose un biocombustible sintético, conocido mundialmente con el nombre genérico de ***diésel renovable****, definido en la reglamentación americana (RFS2) y europea (RED);*
Que de acuerdo con el Documento Conpes 3510 del 31 de marzo de 2008 sobre "Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia" se tiene como objetivos específicos entre otros: "Diversificar la canasta energética del país mediante la producción eficiente de biocombustibles, haciendo uso de las tecnologías actuales y futuras";

Formulación de Alternativas- Plan Fase II

TRABAJAMOS PARA PRODUCIR BARRILES LIMPIOS

Capacidad Planta
- >2000 BD
- 4000 BD

→ Estudio Mercado Materia Prima y Producto

Ubicación
- Refinería
- Plantaciones

→ Estudio Localización De Planta

Tecnología
- Planta Dedicada
- Co-procesamiento

→ Ingenieria Conceptual

Socio Proyecto
- Licenciador Tecnológico
- Cultivador y/o Otros

→ Estrategia de Negocio

Para uso restringido en Ecopetrol S.A. Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta presentación puede ser reproducida o utilizada en ninguna forma o por ningún medio sin permiso explícito de Ecopetrol S.A.