



Por **María Belén Brest, Juan Martín Goldsack, Martín Gravagno y Cecilia Trapani** (Raízen Argentina)

La experiencia de certificación ISCC-EU en producción de diésel renovable coprocesado aporta criterios técnicos y de gestión para implementar esquemas de operación mixta en refinerías, asegurando trazabilidad de la cadena productiva y reconocimiento de la reducción de emisiones.

Certificación ISCC para producción de diesel renovable: un hito en la industria de refinación nacional

Este trabajo fue seleccionado en el 7.º Congreso Latinoamericano y del Caribe de Refinación.



En el siguiente proyecto se presentan los principales desafíos afrontados en el proceso de certificación

Desarrollo

El comienzo del Coproceso en la Refinería

La unidad definida para coprocesar en la refinería fue la hidrotratadora de Diesel. Esta unidad se encuentra operando desde 1997. Se diseñó originalmente para eliminar el azufre de una mezcla de corrientes de diesel livianos, pesados y craqueados de origen fósil, bajo una alta presión parcial de hidrógeno. El proceso consta de una sección de purificación de gas fresco, una sección de reacción y una sección de procesamiento final.

En el año 2022, se decidió comenzar con el proyecto para incorporar materia prima de origen renovable, biofeeds, lo que implicó realizar adaptaciones en la refinería, tanto para el ingreso y almacenamiento de la materia prima, como para el procesamiento de la misma en la hidrotratadora.

En conjunto entre los equipos de Refinería y Suministros&Trading, se realizó un estudio de las posibles materias primas existentes en el mercado, se definió la calidad del producto que requeríamos para su procesamiento, y se comenzó con la búsqueda de proveedores. La materia prima elegida fue el aceite de soja pretratado.

Para el almacenamiento se definió utilizar un tanque existente. En las inmediaciones del mismo se construyó un descargadero de camiones dedicado para biofeeds. Para la alimentación a la hidrotratadora se utilizó una línea dedicada.

Del lado de Ingeniería de Procesos, se realizaron pruebas piloto donde se analizó el impacto del coproceso en la unidad, se realizó una evaluación de riesgos, se definieron las medidas de mitigación necesarias y finalmente se validó un modo operativo de Coprocesamiento en la unidad.

La comercialización del Diesel Renovable

Por último, con el coproceso se sumó un nuevo producto final, el diesel renovable, el cual se produce y almacena en conjunto con el diesel fósil tradicional.

Lograr un coproceso continuo en la refinería conllevó a una producción sostenida y con escala comercial de diesel renovable. Sin embargo, la comercialización de este nuevo producto aun siendo posible, no se encuentra regulada en el mercado de combustibles local.

A nivel compañía era vital poder comercializar este producto dentro de un marco que asegure y demuestre la sostenibilidad en su producción, lo que nos llevó a dar un paso más y buscar una certificación internacional de sustentabilidad para este nuevo producto.

ISCC-EU fue el sistema de certificación elegido ya que garantiza que las materias primas renovables utilizadas para la producción de combustibles renovables sean trazables, sostenibles y que contribuyan efectivamente a la reducción de emisiones, y además permite cuantificar dicha reducción asegurando así el valor agregado del producto final.

ISCC es reconocido y obligatorio en la Unión Euro-

Con el objetivo de avanzar en la transición energética, la refinería Raízen realizó en los años 2022 y 2023 pruebas de incorporación de materia prima renovable para Coprocesar junto con la alimentación fósil en la unidad hidrotratadora de diesel, logrando para 2024 un Coprocesamiento continuo en la unidad.

Una vez consolidado el nuevo modo de operación de Coprocesamiento, surgió el siguiente desafío del proyecto, poder comercializar estos productos dentro de un marco que asegure y demuestre la sostenibilidad en su producción. Surge entonces el objetivo de certificar dicha operación bajo el estándar ISCC (International Sustainability and Carbon Certification), reconocido y obligatorio en la Unión Europea para la comercialización de biocombustibles, pero totalmente nuevo para nuestro país en lo referente a unidades de coproceso.

pea para la comercialización de biocombustibles, pero totalmente nuevo a nivel coprocesamiento en Refinerías en nuestro país.

El camino hacia la certificación

En el contexto de una refinería en nuestro país, la adopción de procesos de gestión alineados con los estándares exigidos por la certificación ISCC representó una oportunidad estratégica para comenzar a integrarnos a cadenas de valor globales orientadas a la sostenibilidad.

Implementar estos estándares no solo nos permite cumplir con los requisitos regulatorios internacionales, sino también posicionar a la refinería como un actor comprometido con la transición energética.

La certificación ISCC exige una gestión rigurosa de la trazabilidad, control de documentación, cadena de custodia y reducción de emisiones, lo cual impulsa la optimización operativa, fortalece la transparencia de nuestro proceso productivo y abre las puertas a mercados/clientes que valoran productos de origen renovable certificado.

Desarrollo de trazabilidad y cadena de custodia

La implementación de sistemas de trazabilidad y cadena de custodia es fundamental para obtener la certificación ISCC EU, ya que permite demostrar de forma transparente la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociada al coprocesamiento.

La trazabilidad asegura que se pueda rastrear el flujo de la materia prima desde su origen hasta el producto final, asignando a cada lote características específicas como el tipo de materia prima, procesamiento de la misma y emisiones asociadas. Por su parte, la cadena de custodia define cómo se gestionan las mezclas de materias primas renovables y fósiles dentro del proceso.

Trazabilidad Raízen

Para asegurar la trazabilidad en nuestro proceso productivo, necesitamos que nuestros proveedores de materia prima también se encuentren certificados por ISCC, lo que implicó la necesidad de realizar acuerdos comerciales con proveedores de materia prima que se encuentren certificados y que además cumplan con nuestros estándares de calidad de producto para su Coprocesamiento.

La evidencia de las características de sostenibilidad se transmite a lo largo de la cadena mediante Declaraciones de Sostenibilidad – DS. Estas declaraciones incluyen la cantidad de material suministrado, las emisiones asociadas y es el certificado que confirma que el proveedor está certificado bajo ISCC. Actualmente recibimos la materia prima renovable en lotes, donde cada uno de estos lotes trae asociado su DS.

Para la gestión integral del transporte y la descarga en refinería de la materia prima, se desarrolló un portal web dedicado que permite la integración de todos los actores involucrados en la operación logística. Esta herramienta digital facilita la coordinación, el seguimiento en tiempo real y la trazabilidad documental de cada entrega, asegurando eficiencia operativa y cumplimiento con los requisitos del sistema de certificación ISCC.

El transporte de materia prima desde el proveedor hasta la refinería es mediante camiones dedicados. Para ISCC, el transporte no requiere certificación, pero si es necesario contar con toda la información relevante de cada transporte para el cálculo de emisiones asociadas: distancias recorridas, volumen por camión y datos físicos de la materia prima.

Una vez que el camión se presenta en la refinería, se inicia el proceso de recepción mediante su pesaje en una balanza calibrada, lo que permite registrar el peso bruto de ingreso. Posteriormente, el camión accede a las instalaciones y descarga el contenido en el tanque de materia

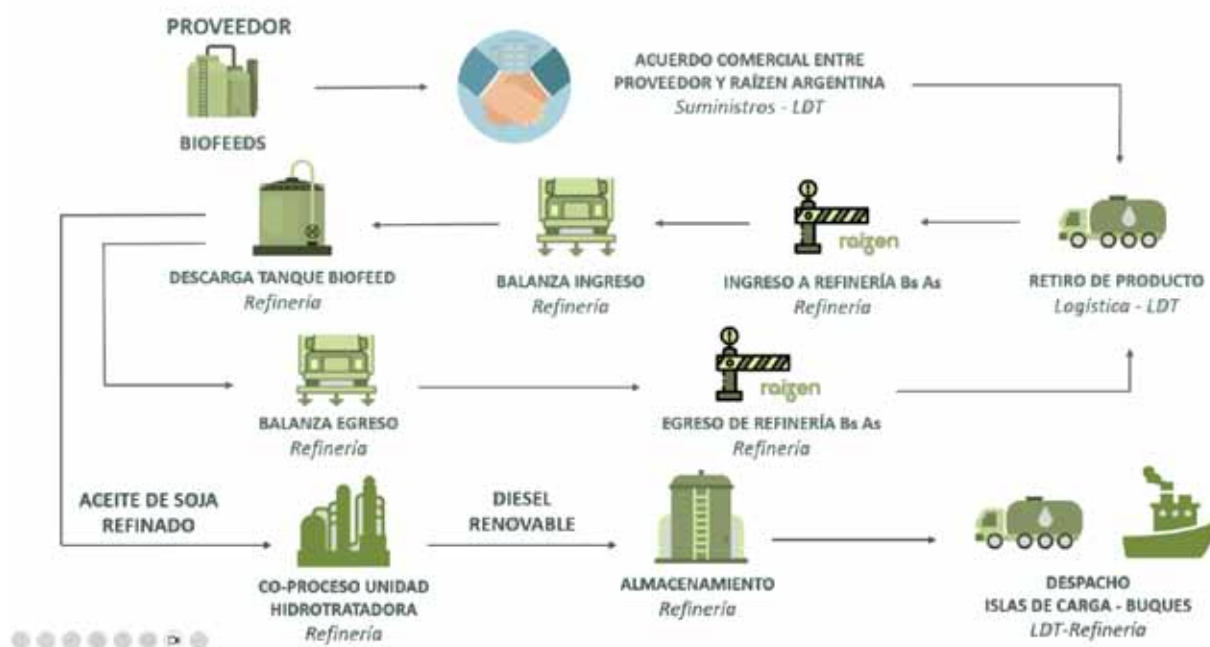


Figura 1.

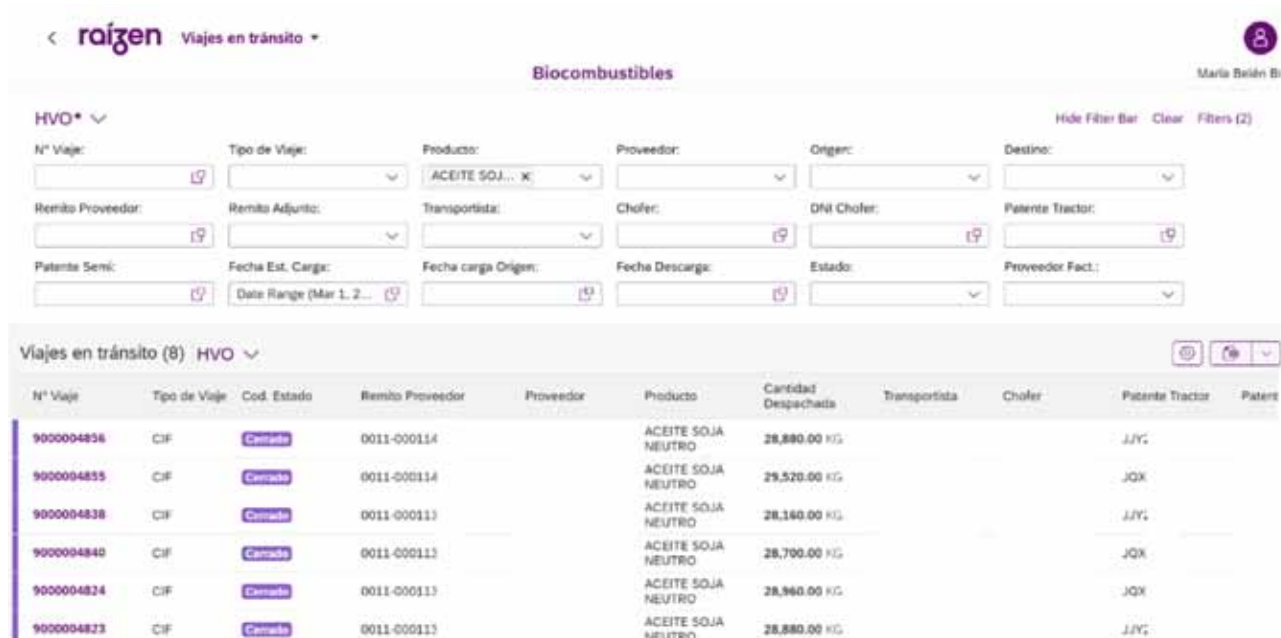


Figura 2.



Figura 3.

prima. Finalizada la descarga, el camión vuelve a pasar por la misma balanza para registrar el peso de salida. La diferencia entre ambos registros constituye el volumen neto descargado, que se utiliza como dato calibrado y trazable del ingreso de materia prima renovable a la refinería.

Luego la materia prima es coprocesada en la unidad de hidrotratamiento junto con la alimentación fósil. La producción resultante —una mezcla de diésel fósil y renovable— se almacena en tanques certificados, cumpliendo con los requisitos de trazabilidad y segregación. Aunque el producto se despacha en forma equivalente al diésel convencional desde el punto de vista físico y comercial, a nivel ISCC se genera un valor agregado mediante la emisión de créditos de diésel renovable sobre la

fracción correspondiente dentro del diésel coprocesado.

Estos créditos se formalizan a través de un certificado de sostenibilidad (Proof of Sustainability, PoS), que se emite una vez que el producto ha sido vendido bajo los términos del sistema ISCC. El PoS contiene toda la información necesaria para demostrar el cumplimiento de los criterios de sostenibilidad y reducción de emisiones, incluyendo el tipo y origen de la materia prima, el ahorro de emisiones de GEI, y el volumen certificado como renovable. Este mecanismo permite que el valor ambiental del producto se reconozca y se transfiera a lo largo de la cadena de suministro, incluso cuando el producto físico renovable no se comercializa de forma segregada del fósil.

Cadena de custodia Raízen

En Raízen optamos por utilizar como cadena de custodia el método de balance de masa, ya que permite la mezcla física de materiales fósiles y renovables, siempre que se presente un control documental que asegure que la cantidad de diesel renovable producido y certificado no exceda la correspondiente al procesamiento de la cantidad de materia prima sostenible introducida en el procesamiento.

El mismo se lleva en forma independiente, por coproceso y por tipo de material, sostenible y fósil. Contiene la siguiente información:

- Inventario inicial y final de material fósil y renovable
- Ingreso de material renovable
- Reporte de producción: Créditos producidos de diesel renovable. Factor de conversión utilizado (Bioyield).
- Egreso de materiales con PoS de diesel renovable.
- Créditos de un periodo a otro.

El cálculo de ahorro de GEI – donde la sustentabilidad se materializa

El cálculo del ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es el momento en que el valor ambiental del coprocesamiento se transforma en evidencia concreta. Una vez producido el diésel renovable, este cálculo permite cuantificar con precisión el impacto positivo del proceso, demostrando cuánto se ha reducido la huella de carbono en comparación con un combustible 100% fósil, a lo largo de todo el ciclo de vida del producto. No se trata solo de un requisito técnico, es la validación que respalda la sostenibilidad del producto final. Este dato, verificado y documentado bajo los estándares ISCC EU, es clave para posteriormente emitir el certificado de sostenibilidad (PoS). En resumen, el ahorro de GEI es lo que convierte al diésel renovable en una herramienta real de descarbonización.

El punto crítico: el factor de conversión de biofeed a diesel renovable

El punto crítico para la certificación fue determinar cuánto biofeed efectivamente se estaba convirtiendo en diesel renovable.

El hidrotratamiento de aceite ocurre en etapas, donde cada una requiere distintas cantidades de H_2 . La primera etapa es la hidrogenación/saturación de los enlaces múltiples de las cadenas de ácidos grasos del triglicérido. El siguiente paso luego de la saturación del triglicérido consiste en el hidrocraqueo del mismo en una molécula de propano y tres ácidos grasos libres. Finalmente, para completar la conversión del ácido graso a hidrocarburo, la desoxigenación puede ocurrir de tres maneras distintas en función de los productos obtenidos: Hidrodesoxigenación (HDO), Descarbonilación (DCN) o Descarboxilación (DCO):

Los subproductos del hidrotratamiento son: CH_4 , C_3H_8 , CO , CO_2 y H_2O ; donde el % de cada subproducto va a depender de la reacción de desoxigenación que predomine

En el esquema de esta página presentan las distintas posibilidades.

Para cualquiera de las posibles reacciones del biofeed, la estructura molecular final del diesel renovable es análoga a las moléculas de diesel de origen fósil, por lo que no es posible determinar de forma sencilla que moléculas representan diesel renovable. Es por este motivo que el desarrollo de un método para determinar el factor de conversión de nuestra materia prima renovable en diesel, aceite de soja pretratado, fue vital para nuestro proceso de certificación.

Previo al desarrollo del método, se realizó un cálculo de rendimiento teórico como información de diseño, utilizando el perfil de ácidos grasos de nuestra materia prima, y considerando un 100% de reacción de hidrodesoxigenación (HDO); obteniendo la máxima conversión teórica posible para el biofeed analizado.

El método que optamos desarrollar fue el método de rendimiento A descrito en ISCC 203-01 – Guidance for the certification of Co-Processing. Este método establece la comparación de escenarios con alimentación 100% fósil y escenarios con Coproceso, y se analizan los resultados para poder determinar el rendimiento de la materia prima de origen renovable. Este método se utiliza como método principal de cálculo.

Posteriormente, se realizó un test run en la unidad en dos etapas, una con alimentación 100% fósil y la segunda agregando alimentación renovable, y comparan-

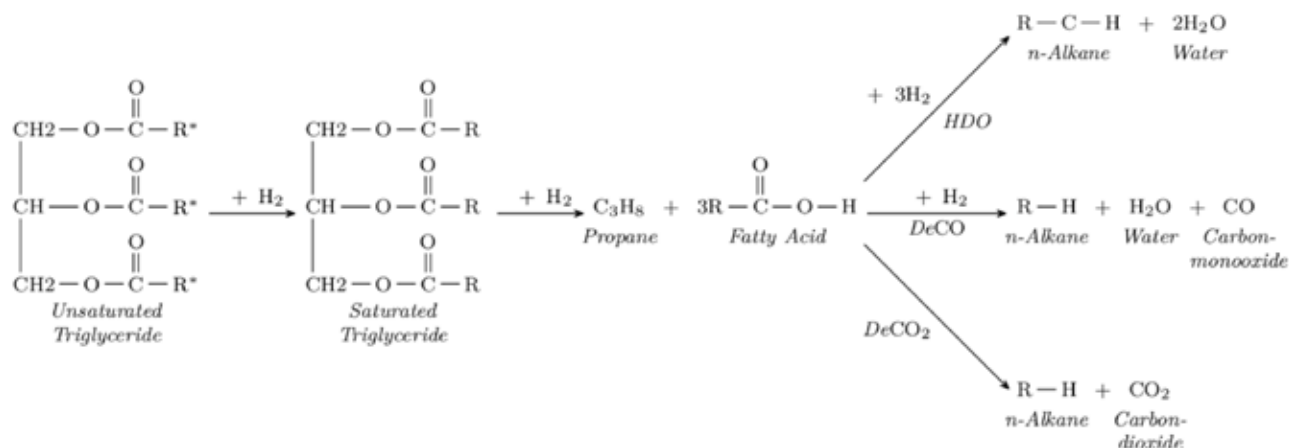


Figura 4.

Tipo de Triglicérido		PM Triglicerido [g/mol]	Composición [%]	PM Aceite de Soja [g/mol]	Molécula hidrotratada	PM molecula hidrotratada [g/mol]	Composición [%]	PM Diesel Coprocesado [g/mol]
C24:0	Lignocérico	1142	0,20%	2,28	C24H50	338	0,20%	0,676
C22:1	Erúico	1052	0,05%	0,53	C22H46	308	0,05%	0,154
C22:0	Behenioco	1058	0,40%	4,23	C22H46	310	0,40%	1,24
C20:1	Gadoleico	968	0,20%	1,94	C20H42	280	0,20%	0,56
C20:0	Araquídico	974	0,40%	3,90	C20H42	282	0,40%	1,128
C18:3	Linolénico	872	6,80%	59,30	C18H38	248	6,80%	16,864
C18:2	Linoleico	878	52,30%	459,19	C18H38	250	52,30%	130,75
C18:1	Oleico	884	23,70%	209,51	C18H38	252	23,70%	59,724
C18:0	Esteárico	890	4,40%	39,16	C18H38	254	4,40%	11,176
C17:1	Margaroleico	836	0,05%	0,42	C17H36	238	0,05%	0,119
C17:0	Margárico	848	0,10%	0,85	C17H36	240	0,10%	0,24
C16:1	Palmitoleico	800	0,10%	0,80	C16H34	224	0,10%	0,224
C16:0	Palmitico	806	11,00%	88,66	C16H34	226	11,00%	24,86
C14:0	Mirístico	722	0,10%	0,72	C14H30	198	0,10%	0,198
C12:0	Laurico	638	0,05%	0,32	C12H26	170	0,05%	0,085
TOTAL[%]			100%	871,8				247,998

Tabla 1.

do ambos casos se pudo determinar un factor de rendimiento analítico.

Se calcularon los pesos moleculares de cada triglicérido y se los multiplico por el % de composición en el aceite para determinar un peso molecular promedio de la materia prima. Lo mismo para el peso molecular Diesel Coprocesado

Se consideró un hidrotratamiento vía hidrodesoxigenación (HDO), donde:

Triglicérido (esteárico) + 12 H₂ → C₁₈H₃₈ + 3 n-C₁₈ + 6 H₂O

Y el equivalente para todos los tipos de triglicéridos. De todos los tipos obtenemos 3 moléculas paraafínicas (de cadenas de entre 12 a 24 carbonos, dependiendo del tipo)

Para definir el rendimiento [X], se lo calculó como la relación entre 3 moléculas de Diesel Coprocesado y la molécula de triglicérido, obteniendo un valor teórico de 85,34%. Luego, el restante 14,66% corresponde a la formación de subproductos

Método del rendimiento

Se realizó un test run para determinar el factor de bio-rendimiento real de la unidad hidrotratadora,

El cronograma simplificado del test run se presenta a continuación:

Paso	1	2
Nombre	Carga 100% fósil	Carga fósil + Bio
Horas	0 a 6	6 a 12
Carga fósil [%]	100%	94%
Carga Bio [%]	0%	6%

Las variables más importantes que se monitorearon en relación al cálculo del bio-rendimiento fueron las siguientes:

Variable	Instrumento
Alimentación Líquida	Caudalímetro
Alimentación Biofeed	Caudalímetro
Alimentación Gaseosa	Caudalímetro
Gas fresco a Fuel Gas	válvula de control
OffGas	Caudalímetro
Producción Diesel	Caudalímetro
Nivel tanque Biofeed	Radar
Skim Oil	Caudalímetro

Los datos de las variables de proceso indicadas arriba se extrajeron del sistema PI, el cual funciona como base de almacenamiento de la información del sistema de control distribuido DCS que contiene la información en tiempo real de las variables de proceso de la unidad.

Consideraciones generales:

- El bio-rendimiento calculado es basado en la alimentación total a la planta
- La unidad se encontraba operando en modo baja severidad (contenido de azufre en producción de 150ppm)
- Se mantuvieron constantes condiciones operativas de presión y temperatura
- Se mantuvieron constante las calidades de las alimentaciones fósiles a la unidad

Se presentan además estas variables en un esquema de la hidrotratadora de Diesel:

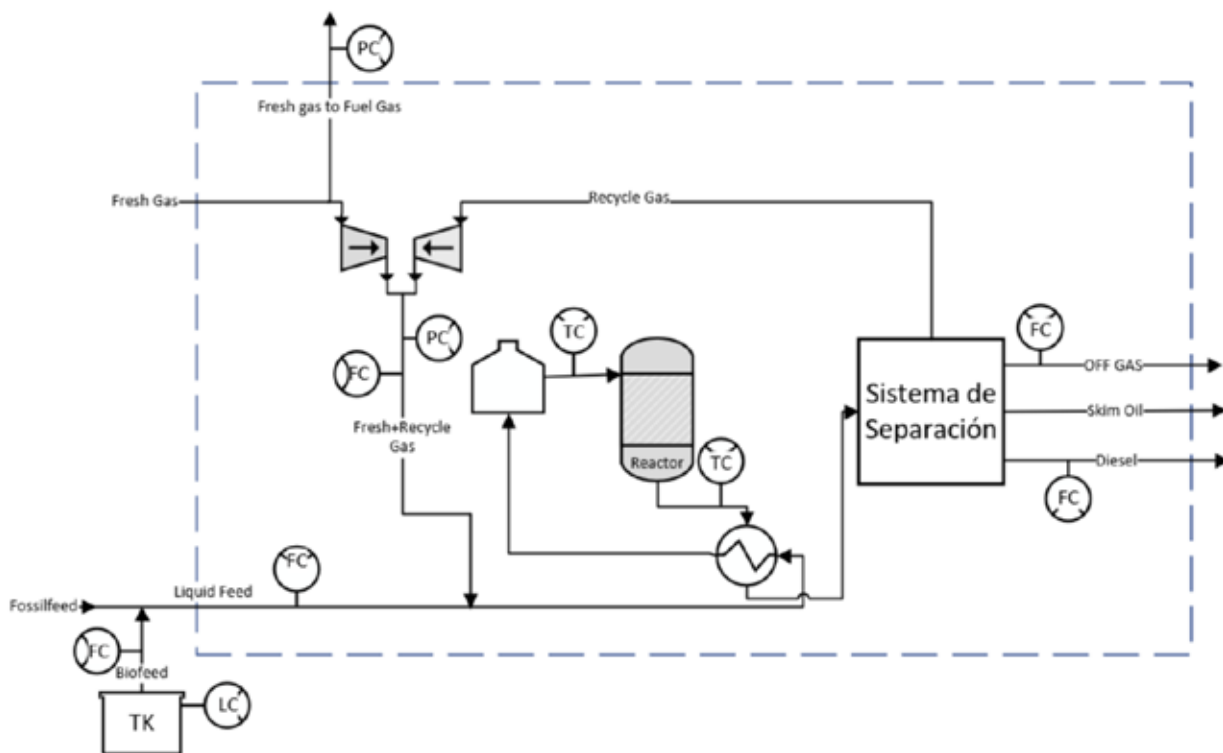


Figura 5.

Etapas 1: Carga 100% fósil

El test run comenzó estableciendo una carga 100% fósil

Se mantuvo la unidad operando estable en estas condiciones durante 8hs.

Se tomaron muestras para caracterizar analíticamente esta etapa. Se tomaron muestras de: alimentación combinada, producción Diesel, Gas Fresco y OFF Gas

Con esta etapa obtuvimos dos datos clave: el consumo de hidrógeno de la carga fósil y el rendimiento de la alimentación fósil.

El consumo neto de hidrógeno en las reacciones de hidrodesulfurización se calculó como la entrada de gas fresco a la unidad; restando el OffGas remanente que se rutea a la unidad de tratamiento de gas; estos caudales normalizados por el % en peso de hidrógeno correspondiente, obtenidos de la cromatografía gaseosa analizada.

$$1. \quad H2_{total} = FreshGas \times \% \frac{m}{m} H2 - OFFGas \times \% \frac{m}{m} H2$$

Además, podemos calcular el consumo de hidrógeno por carga fósil

$$2. \quad \frac{H2}{FossilFeed} = \frac{H2t}{FossilFeed} = \frac{tH2}{tFF}$$

El rendimiento de producción fósil se calculó como:

$$3. \quad FossilYield = \frac{FossilDiesel}{FossilFeed + H2_{total}}$$

Etapas 2: Carga fósil + Bio

Para la segunda etapa del Test run se añadió carga Bio de forma escalonada, hasta llegar a un 6% de la alimentación; reduciendo la carga fósil para mantener la carga total en la unidad

Se mantuvo la planta operando estable en estas condiciones durante 6hs.

Se realizó una nueva ronda de muestreo para caracterizar analíticamente la etapa. Se tomaron nuevamente muestras de: Alimentación combinada, Producción Diesel, Gas Fresco y OFF Gas

Con esta segunda se pudo determinar el rendimiento de la carga fósil+bio.

$$1. \quad TotalYield = \frac{TotalDiesel}{TotalFeed}$$

Además, por diferencia entre el consumo de hidrógeno de las dos etapas se pudo determinar cuánto hidrógeno del total consumido correspondía a la alimentación bio.

$$2. \quad H2_{total} = H2f + H2b$$

$$3. \quad H2f = FossilFeed \times \frac{H2}{FossilFeed}$$

De la ecuación de rendimiento fósil+bio:

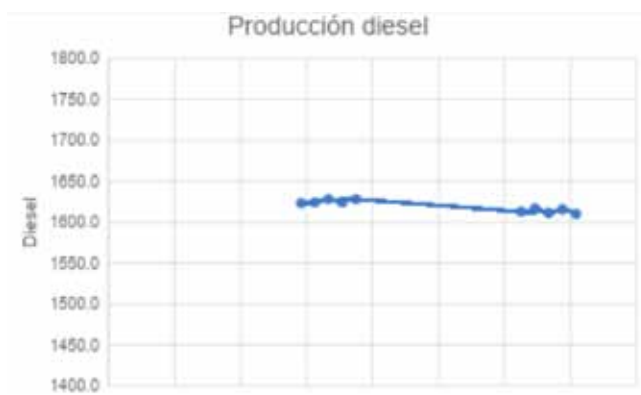
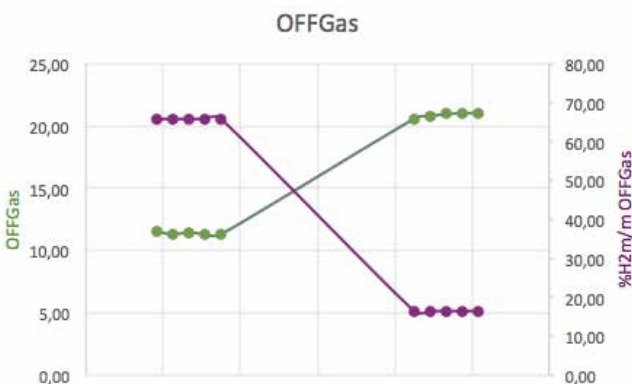
$$4. \quad TotalFeed \times TotalYield = TotalDiesel = (FossilFeed + H2f) \times FossilYield + (BioFeed + H2b) \times BioYield$$

Despejando el bio-rendimiento:

Se analizaron las variables operativas durante el test run, se tomó un promedio de dos horas estables de cada etapa y se aplicaron las ecuaciones desarrolladas, obteniendo un Bioyield de **82,6%**

Conclusiones método del rendimiento

- El resultado obtenido es coherente con los valores esperados, menor al máximo rendimiento teórico calculado
- Mayor caudal de ingreso de hidrógeno a la sección de reacción, indicador del mayor consumo de hidrógeno en el reactor para tratar el biofeed
- Mayor caudal corriente de OFFGas indicando por un lado una mayor producción de subproductos de reacción, pero con una disminución de contenido de hidrógeno (determinado a partir de las cromatografías gaseosas analizadas)
- Una pequeña disminución del caudal de producción de diesel



Calibración con C14

Para validar la conversión de biofeed, se empleó el método directo por determinación de carbono 14 a un batch de coproceso de aceite de Soja pretratado

Consideraciones generales:

- Se varió la proporción de Biofeed entre 2% y 6% teniendo como prioridad la estabilidad de la unidad
- Se mantuvieron constantes condiciones operativas de presión y temperatura
- La unidad se encontraba operando en modo baja severidad
- Se corrió la producción a un mismo tanque de diesel durante el tiempo que duró la corrida batch
- No se cambiaron calidades de alimentaciones fósiles a la unidad durante la corrida y se mantuvo la carga total a la unidad

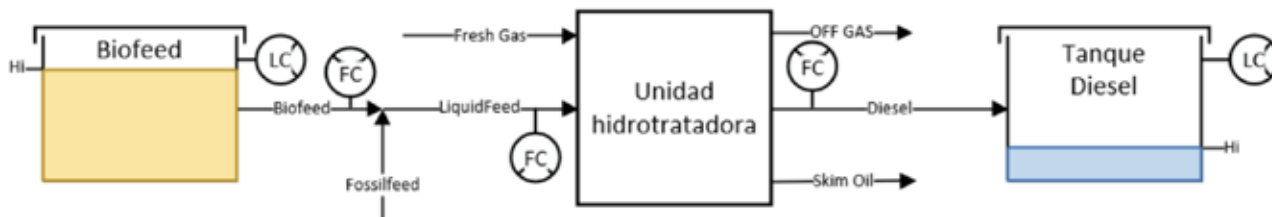


Figura 6.

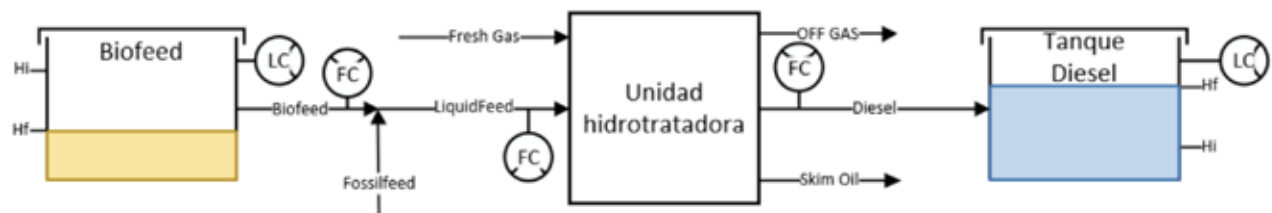


Figura 7.

Paso	1	2	3
Nombre	Carga 2,5% Bio	Carga 6% Bio	Carga 100% fósil
Carga fósil [%]	97,5%	94%	100%
Carga Bio [tn/d]	2,5%	6%	0%

Las variables más importantes que se monitorearon en relación al análisis de C14 fueron las siguientes:

Variable	Instrumento
Alimentación Líquida	Caudalímetro
Alimentación Biofeed	Caudalímetro
Producción Diesel	Caudalímetro
Nivel tanque Biofeed	Radar
Nivel tanque Diesel	Radar

Etapla 1: Situación inicial, previo al coproceso Batch

- Se tomó muestra del tanque de Biofeed, y se midió su altura inicial
- El tanque de diesel al cual se iba a correr la producción tenía un fondo no bombeable, se midió su altura inicial y se tomó una muestra para analizar C14, se estimaba que podía tener algún remanente de contenido biogénico ya que se había utilizado previamente para batchs de CoProceso

Etapla 2: Situación final, luego de la corrida del Batch

- Luego de finalizar la corrida Batch:
- Se midió altura final del tanque de biofeeds, para poder con los datos físicos del tanque poder medir el volumen total alimentado, coprocesado y almacenado en el tanque de diesel
- Se recirculó el tanque de diesel durante 4hs para asegurar que el producto sea homogéneo
- Se midió altura final del tanque de diesel, para determinar el diesel total Batch producido y volumen final del tanque
- Se tomó muestra del tanque de diesel para analizar contenido de C14

Análisis y resultados C14

Las muestras tomadas durante el test run, se analizaron mediante el método AMS (Accelerator Mass Spectrometry), y los resultados fueron los siguientes:

Et. Muestra	Descripción	Tipo muestra	Resultado C14 - AMS
1 Tanque biofeeds	Tanque de Biofeed	Líquida	100%
1 Tanque Diesel	Fondo no bombeable pre-batch	Líquida	0,44%
2 Tanque Diesel	Muestra final post batch	Líquida	3,02%

Luego, analizando retroactivamente, podemos definir calcular el bio-rendimiento con la siguiente formula:

$$BioYieldC14 = \frac{(DieselTotal \times 3,02\% - DieselFondo \times 0,44\%)}{Biofeed} \times 100$$

Despejando con los volúmenes calculados con las mediciones de diferencias de altura de los tanques y convirtiendo los datos a máscos:

$$BioYieldC14 = \frac{(HVO_{Total} - HVO_{Fondo})}{Biofeed} \times 100 = 83,6\%$$

Comparación de resultados

Por metodología ISCC, la discrepancia entre métodos para validar el bio-rendimiento se calcula comparando los resultados obtenidos por el método principal de cálculo con los resultados del análisis de carbono 14, que actúa como referencia. Esta comparación se expresa como una diferencia porcentual entre ambos valores

En la siguiente tabla se estima el porcentaje de diesel de origen biogénico según los rendimientos calculados por los dos métodos explicados anteriormente.

Método	Bioyield	Contenido biogénico en tanque final (%)	Diferencia resultados	Comentarios
Rendimiento	82,6%	2,99	0,03	Discrepancia <1%
C14	83,6%	3,02		



Como conclusión de estos análisis, pudimos validar un factor de bio-rendimiento de 82,6% para un Coproceso entre 2% y 6% de biofeed en la alimentación combinada.

Índice

- RBA: Refinería Buenos Aires
- Biofeed: Materia prima de origen renovable
- ISCC: International Sustainability and Carbon Certification
- Diesel renovable: Diesel obtenido a partir del procesamiento de aceite vegetal
- HVO: Hydrotrated Vegetable Oil. Equivalente a Diesel renovable, nombre utilizado principalmente en Europa
- DS: Declaración de Sustentabilidad
- PoS: Proof of Sustainability
- LDT: Negocio de Logística, Distribución y Trading
- GEI: Gases de efecto invernadero
- AMS: Accelerator Mass Spectrometry

Bibliografía

- ISCC 203-01 – Guidance for the certification of Co-Processing

