

**INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE DESTILADOS MEDIOS USANDO
MEZCLA CASTILLA Y MDBS (MEDIUM DISTILLATE FOR BLENDING STOCK)**

**JONN JAIRO DÍAZ FONTECHA
KEYLA MARÍA SOLANA LAMBRAÑO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2016

**INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE DESTILADOS MEDIOS USANDO
MEZCLA CASTILLA Y MDBS (MEDIUM DISTILLATE FOR BLENDING STOCK)**

**JONN JAIRO DÍAZ FONTECHA
KEYLA MARÍA SOLANA LAMBRAÑO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Químico**

**Director
CRISOSTOMO BARAJAS FERREIRA
Magíster en Ingeniería Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2016

AGRADECIMIENTOS

A nuestro director de proyecto, Crisóstomo Barajas Ferreira, por su colaboración, confianza y apoyo brindados en el desarrollo de este trabajo.

Al ingeniero Elkin Grimaldos por el conocimiento aportado en los procesos de refinación, ya que fueron fundamentales para llevar a cabo este proyecto.

Al ingeniero y profesor Iván Ordoñez por su paciencia y colaboración, además de su compromiso por formar profesionales con gran sentido crítico.

A la Universidad Industrial de Santander, especialmente a la escuela de ingeniería química y su gran cuerpo docente por todas las enseñanzas impartidas a lo largo de este proceso.

DEDICATORIA

A DIOS por darme el don de la vida, y por permitirme realizar uno de mis sueños más anhelados. “Toda la gloria es para ti señor”

A mis padres Flor Consuelo Fontecha A y Luis Armando Díaz B quienes fueron siempre mi principal motivación y ejemplo a seguir, por confiar en mí y brindarme su amor su cariño su comprensión y su apoyo incondicional.

A mis hermanos Sergio Armando Díaz y Johan Andrés Díaz quienes siempre me motivaron a seguir adelante, por brindarme su apoyo sus consejos su cariño y por qué siempre estaremos juntos apoyándonos incondicionalmente.

A Vanesa Rivera quien se convirtió en un pilar fundamental en este camino, gracias a su motivación, comprensión, amor y apoyo incondicional fue posible lograr una de mis metas más soñadas.

A Keyla María Solana L quien es mi mejor amiga y me acompaño incondicionalmente a lo largo de este proceso brindándome siempre sus mejores consejos.

A Jhon Carlos Suarez quien es mi colega y mejor amigo apoyándome siempre en las buenas y en las malas.

A mi familia que siempre estuvo alentándome a pesar de las dificultades y adversidades en este camino de formación tanto personal como profesional.

Por último a mis amigos que de alguna u otra manera aportaron de manera directa o indirecta su granito de arena para ser una mejor persona tanto ética y moralmente como profesional.

JONN JAIRO DIAZ F.

DEDICATORIA

A Dios y a la virgen María por todas las bendiciones y por permitirme alcanzar este logro tan importante en mi vida.

A mi padre, Wilfredo un hombre de gran inteligencia, que se ha esforzado por brindarme y enseñarme lo mejor, que siempre ha tenido la entereza para aconsejarme y apoyarme en cualquier circunstancia y a pesar de las adversidades de la vida siempre permanece firme ante cualquier situación.

A mi madre, Candelaria, una mujer maravillosa, fuerte, incondicional, que ha luchado incansablemente por su familia, ella, un ejemplo de mujer que me ha enseñado el significado de la bondad, la lealtad, el cariño y el amor.

Ambos han luchado cada día para brindarme lo mejor, ofreciéndome siempre su ayuda sin importar los sacrificios requeridos. Ellos han creído en mí y mis capacidades y siempre han celebrado mis triunfos como si fueran suyos, a ellos les debo todo lo que tengo y todo lo que soy, y sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

A mis hermanos Anyela, Carlos y Alfredo, que siempre han estado conmigo, brindándome sus alegrías y compañía, creciendo cada día con mis triunfos, espero brindarles siempre el mejor ejemplo.

A mis ángeles que están en el cielo por iluminar mi camino día a día, y a mis ángeles aquí en la tierra, mis más sinceras gracias por el apoyo y la confianza dada.

Finalmente al ilustre profesor Félix Andrés Vitoria Romero quien fue pieza fundamental para amar el estudio y siempre vivir entre letras.

KEYLA MARIA SOLANA LAMBRANO

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA	19
1.1 PROCESO, SIMULACIÓN Y TABULACIÓN DE DATOS	20
1.1.1 Descripción general del proceso	20
1.1.1.1 Unidades de acondicionamiento	20
1.1.1.2 Unidad de fraccionamiento	21
1.1.2 Variables de operación y su influencia	22
1.1.3. Valores numéricos para las variables de entrada	24
1.1.4 Simulaciones y su diseño	25
1.1.5 Obtención de datos	27
1.2 TRATAMIENTO DE LA MEZCLA CASTILLA CON MDBS	27
1.2.1. Cortes o fracciones de los productos de destilación atmosférica	28
1.2.2. Métodos de ensayo aplicado a los combustibles	29
1.2.2.1. Métodos de ensayo de la nafta	29
1.2.2.2. Métodos de ensayo para el queroseno	29
1.2.2.3. Métodos de ensayo del diesel	30
1.2.3 Evaluación de las mezclas Castilla con MDBS	30
2. RESULTADOS Y ANÁLISIS	31
2.1 EVALUACIÓN DE LA NAFTA	31

2.1.1. Producción de la nafta	31
2.1.2. Propiedades evaluadas en la nafta	32
2.2 EVALUACIÓN DEL QUEROSENO	33
2.2.1. Producción del queroseno	33
2.2.2. Propiedades evaluadas en el queroseno	34
2.3 EVALUACIÓN DEL DIESEL	36
2.3.1. Producción del diesel	36
2.3.2. Propiedades evaluadas en el diesel	36
3. CONCLUSIONES	39
4. RECOMENDACIONES	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXOS	53

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Metodología planteada para el aumento de la producción de destilados medios usando mezcla Castilla y MDBS.	19
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso	20
Figura 3. Diagrama de flujo de la torre atmosférica	23
Figura 4. Producción de nafta Vs. Porcentaje de MDBS en el crudo	31
Figura 5. Presión de vapor de nafta Vs. Porcentaje de MDBS en el crudo	32
Figura 6. Comparación curvas de destilación	33
Figura 7. Producción de queroseno Vs. Porcentaje de MDBS en el crudo	34
Figura 8. Punto de inflamación del queroseno Vs. Porcentaje de MDBS en el crudo.	35
Figura 9. Comparación curvas de destilación	35
Figura 10. Producción de diesel Vs. Porcentaje de MDBS en el crudo	36
Figura 11. Índice de Cetano Vs. Porcentaje de MDBS en el crudo	37
Figura 12. Comparación curvas de destilación	37
Figura 13. Producción de crudo Reducido Vs. Porcentaje de MDBS en el crudo	38

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Variables de entrada de la torre de destilación	24
Tabla 2. Parámetros de Diseño de la Torre de Destilación	26
Tabla 3. Valores ingresados para la caracterización del MDBS	26
Tabla 4. Propiedades de la mezcla de Crudo con el MDBS	28

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Especificación de corrientes del proceso	53
Anexo B. Rangos de operación de la torre de destilación.	56
Anexo C. Propiedades y Especificaciones de la Mezcla Castilla.	57
Anexo D. Propiedades y Especificaciones del MDBS (Medium Destillate For Blending Stocks).	58
Anexo E. propiedades y Especificaciones de los productos en mezcla al 10%.	59
Anexo F. Especificaciones Técnicas de la nafta	60
Anexo G. Especificaciones Técnicas Queroseno	61
Anexo H. Especificaciones Técnicas Diesel	62

RESUMEN

TITULO: INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE DESTILADOS MEDIOS USANDO MEZCLA CASTILLA Y MDBS (MEDIUM DISTILLATE FOR BLENDING STOCK)*

AUTOR(ES): KEYLA MARIA SOLANA LAMBRAÑO**
JONN JAIRO DIAZ FONTECHA**

PALABRAS CLAVE: Crudo pesado, destilados medios, crudo reducido, fraccionamiento, MDBS.

Procesar crudos pesados es una tarea que implica muchos desafíos en cuanto a su transporte, refinación y producción, ya que las reservas de crudo liviano han venido en declive a través de los últimos años debido a la creciente demanda energética del país. Cuando se procesan crudos pesados la producción de destilados medios se ve afectada debido a la presencia de compuestos pesados que contienen asfaltenos, parafinas y/o resinas los cuales reducen la calidad del crudo.

Por tanto la finalidad de este trabajo está enfocada al incremento de destilados medios mediante el uso de la mezcla Castilla y MDBS (Medium Distillate for Blending Stock), que permita obtener productos de alto valor comercial como la nafta, queroseno y diesel y a su vez reducir la producción de crudos reducidos los cuales hacen ineficiente el proceso de destilación atmosférica. Además en este proyecto también se evaluaron las propiedades más importantes de cada producto como la presión de vapor Reid (RVP) en la nafta, el punto de inflamación en el queroseno y el índice de cetano en el diesel, este estudio se llevó a cabo mediante el simulador de procesos Aspen HYSYS V8.0. Con este estudio se determinó que la calidad de los productos obtenidos mediante la adición de MDBS al crudo cumple con los estándares de calidad establecidos mediante las normas de ensayos ASTM.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería Química, Director: Crisóstomo Barajas Ferreira, M.Sc.

ABSTRAC

TITLE: INCREASE OF THE PRODUCTION OF DISTILLATES MEDIUM USING CASTILLA BLEND AND MDBS (MEDIUM DISTILLATE FOR BLENDING STOCK)*

AUTHOR: KEYLA MARÍA SOLANA LAMBRAÑO**
JONN JAIRO DIAZ FONTECHA**

KEYWORDS: Heavy crude, medium distillates, reduced crude, fractionation, MDBS

Processing heavy crude is a task that involves many defiance in terms of transportation, refining and production, since reserves of light crude have come in decline over the past years due to the growing energy demand of the country. When is processed crude heavy the production of distillates medium is sees affected due to the presence of compounds heavy that contain asphaltenes, paraffins or resins which reduce the quality of the crude.

Therefore the purpose of this work is focused on the increase of middle distillates by the mix of crude oil using Castilla Blend and MDBS (Medium Distillate for Blending Stock), that allows to obtain products of high value commercial such as naphtha, kerosene, and diesel and in turn reduce the production of reduced crude which make inefficient atmospheric distillation. In addition this project also assessed the most important properties of each product such as the Reid vapor pressure (RVP) in the naphtha, flash point in kerosene, and the cetane index in the diesel, This study was performed by Aspen HYSYS process simulator V8.0. with this study, it was determined that quality of products obtained by adding MDBS to the crude complies with the quality standards established by the standards of ASTM tests.

* Undergraduated Degree Work

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería Química, Director: Crisóstomo Barajas Ferreira, M.Sc.

INTRODUCCIÓN

Cuando hablamos de refinación hacemos referencia al petróleo, que desde su aparición ha tomado el control de nuestro planeta en cuanto a la generación de energía, dado que es su fuente más importante¹. Además de ser un recurso que juega un papel fundamental en la economía a nivel mundial. El petróleo en su estado natural no ofrece mayores ventajas energéticas por lo que se hace necesario someterlo a varios procesos de refinación para separarlo, transformarlo y purificarlo, para poder aprovechar sus múltiples derivados². De allí la importancia de tener refinerías que cuenten con la infraestructura y las tecnologías adecuadas para lograr este objetivo.

Una herramienta básica en la refinación del crudo son las unidades de destilación, donde básicamente el proceso consiste en vaporizar los hidrocarburos y luego condensarlos en cortes definidos, en donde fundamentalmente se modifica la temperatura a lo largo de la torre fraccionadora. La separación de los componentes de la mezcla se presenta como resultado del adición de energía al sistema y las diferencias entre las volatilidades de los constituyentes. Actualmente la refinería de Barrancabermeja-Santander hace parte del grupo empresarial Ecopetrol S.A, del cual hoy en día es socio mayoritario el gobierno de Colombia, a su vez es el complejo refinador más grande del país, con una conversión media del 76%³, que es debida a su configuración, es por esto que el complejo se ve en la obligación de hacer cambios totales o parciales para el mejoramiento de equipos y procesos, ya que en los últimos años se evidencia la oportunidad de aumentar su capacidad de procesamiento y a su vez de procesar crudos pesados. Los crudos pesados representan más de la mitad de la producción de petróleo del país, de allí que se presentan como una alternativa en la explotación, debido a que las reservas de crudo liviano y mediano se están agotando por su creciente consumo, su rentable extracción y fácil tratamiento^{4,5}.

Históricamente, la demanda de crudo pesado ha sido marginal debido a su alta viscosidad y composición química compleja, que dificultan y hacen costosa las etapas de producción, transporte y refinación^{6,7}.

Con el propósito de conseguir productos comerciales más valiosos, la materia prima debe seguir una serie de procesos de refinación, donde inicialmente se encuentra el proceso de destilación atmosférica^{8,9}. Este proceso es de suma importancia ya que una adecuada destilación permitirá una mayor eficiencia en los productos, provocando menores gastos energéticos y a su vez menos gastos económicos en la refinería. Debido a que un aumento de producción de destilados medios provoca una disminución de residuos pesados o fondos, que son poco valiosos y muy contaminantes para los siguientes procesos¹⁰.

Como es de esperarse, el uso de crudos pesados en refinación produce una disminución en el rendimiento de los destilados medios, lo cual es poco rentable en la industria del petróleo, además de presentar ciertas restricciones operacionales, ya que muchos equipos de destilación están diseñados para el procesamiento de crudo liviano y esto afecta enormemente la eficiencia en la producción.

Por lo tanto la finalidad de este proyecto consiste en incrementar la producción de destilados medios usando la mezcla Castilla (compuesta de crudo Castilla, Vasconia Pesado e Isla 6) y MDBS (Medium Distillate for Blending Stock) con el fin de obtener nafta, queroseno, y diésel, así como también se hará una evaluación de las propiedades más importante de cada producto, esto se llevara a cabo mediante el uso del simulador de procesos Aspen HYSYS V8.0. Se implementó el uso de MDBS debido a que es considerado una alternativa que permite incrementar los ingresos que se obtienen por ventas de combustible, dado que este presenta un bajo contenido de azufre y esto hace que sus productos derivados también muestren un bajo contenido de este contaminante¹¹. El

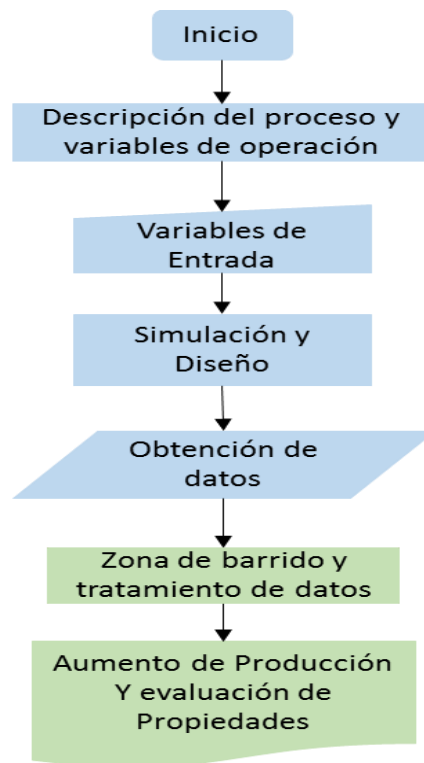
procedimiento para el aumento de destilados medios, consiste en procesar diferentes porcentajes de mezcla, y así lograr una adecuada capacidad de procesamiento, adaptadas a las condiciones de la torre de destilación, de igual manera permitirá evaluar las propiedades a cada mezcla de crudo con MDBS. La evaluación de estas propiedades se verifico con el mismo simulador. Para lograr tal fin se trabajará una simulación que utilizara como equipo principal una columna de destilación primaria que tendrá las condiciones de operación de la torre de destilación atmosférica T-201 ubicada en la unidad U-200 de Ecopetrol S.A¹², además de contar con un sistema pre-flash, junto con un horno que permitirá obtener la temperatura necesaria de la mezcla para ingresar a la torre. Esta simulación asumió que la mezcla de crudo tiene un precalentamiento previo antes de la zona pre-flash. El caudal de alimentación se mantuvo constante a lo largo del proceso, lo que vario fue el porcentaje de MDBS que se fue agregando a la mezcla Castilla.

De igual forma la simulación de la torre incluyo 3 despojadores laterales “strippers” que corresponden al queroseno, diésel y gasóleo atmosférico (GOA), estos usan vapor como fuente de calor, que permitirán arrastrar los componentes ligeros de los líquidos descendentes. Al realizar una extracción lateral, hacerla pasar por un “stripper” y devolver una parte de esta corriente a la torre principal, provoca que la temperatura de la corriente de regreso sea superior a la temperatura de la mezcla en el plato de retorno, lo cual hace que se produzca menor fase líquida, haciendo que la cantidad de reflujo sea menor a la necesaria para el adecuado funcionamiento de la torre. Por esta razón a la torre atmosférica se le incluyeron 3 reflujo externos, uno para cada extracción lateral, para que puedan garantizar el reflujo en todos los platos de la columna. Estos reflujo externos extraen una parte del caudal que pasa por el plato, para hacerlo pasar por un intercambiador de calor y luego devolverlo a un plato más arriba a una temperatura inferior.

1. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

Este trabajo presenta como metodología el desarrollo de dos etapas que se encuentran representadas en la Figura 1. Donde la primera etapa aborda la descripción general del proceso, las variables de operación y variables de entrada, así como las simulaciones que se llevaron a cabo por medio del simulador Aspen HYSYS V8.0 para lograr obtener los datos de salida del proceso simulado. La segunda etapa consiste en el análisis de datos arrojados por el simulador, donde se tiene como objetivo lograr que la mezcla Castilla con MDBS garantice el aumento de los destilados medios, para luego evaluar las propiedades de los productos obtenidos.

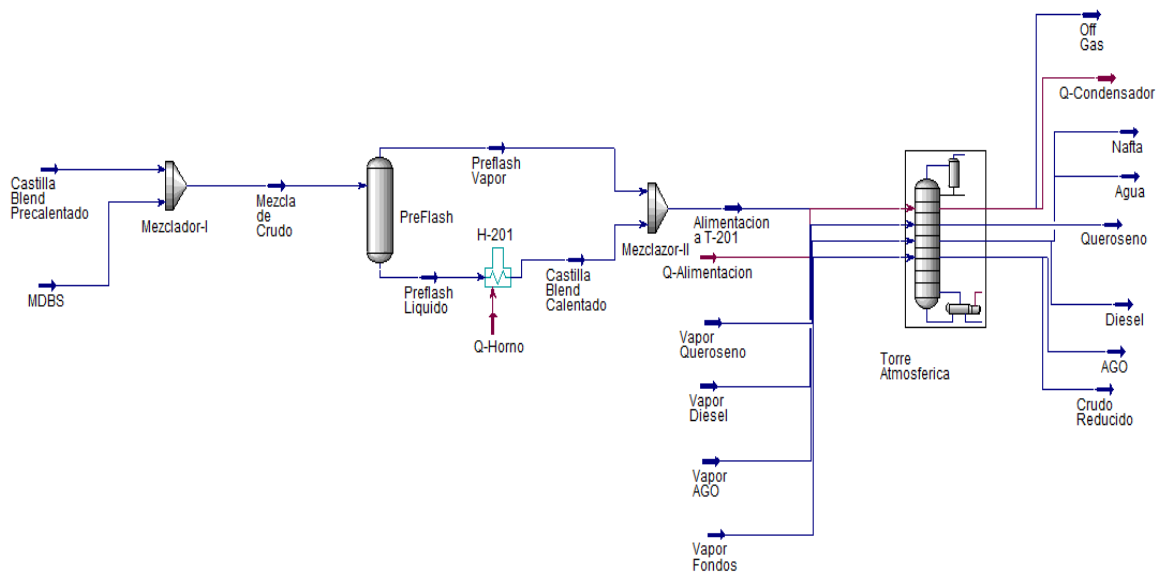
Figura 1. Metodología planteada para el aumento de la producción de destilados medios usando mezcla Castilla y MDBS.



1.1 PROCESO, SIMULACIÓN Y TABULACIÓN DE DATOS

1.1.1 Descripción general del proceso El proceso de destilación de crudo consiste básicamente en dos etapas: la primera está relacionada con todas las unidades que involucran el acondicionamiento del crudo y la segunda enfocada al fraccionamiento de este. Es por esto que la simulación cuenta de manera general con una columna pre-flash, un horno y una torre de destilación atmosférica, en la Figura 2 se observa el diagrama de flujo del proceso. Para el desarrollo práctico de este trabajo se asume que la mezcla de crudo ha recibido un precalentamiento y un proceso de desalado previo al sistema pre-flash instalado. La especificación de estas corrientes se encuentran en el ANEXO A.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso



1.1.1.1 Unidades de acondicionamiento

- **Columna pre-flash:** Luego que el crudo ha sido precalentado y desalado, se presenta la etapa pre-flash que consiste en una columna que permite separar las fracciones más livianas del crudo en la corriente de cima antes de que el

crudo sea alimentado a la torre atmosférica, mientras que solo los productos de la corriente de fondo serán los que continúan como carga al horno. Esta es considerada una etapa teórica adicional que permite un ahorro energético en el proceso de un 3,5% cuando se trabaja con crudos livianos y 1,5% para crudos pesados^{13,14}. Al implementar la columna pre-flash se disminuye la caída de presión al igual que la carga al horno atmosférico.

- **Horno de carga atmosférico:** El horno atmosférico tiene como función transmitir la energía necesaria al crudo después de pasar por todo el tren de intercambio de calor y la columna pre-flash, para facilitar la destilación en la torre atmosférica y de esta manera recuperar productos.

La zona de convección del horno cuenta con un sistema de recuperación de calor, en el que se sobrecalienta vapor que es utilizado como vapor de despojado en la torre atmosférica y los extractores laterales “stripper”. Luego el crudo caliente sale del horno por medio de dos serpentines y más tarde estos se unen en un solo circuito llamado línea de transferencia donde es dirigida a la torre atmosférica.

1.1.1.2 Unidad de fraccionamiento

- **Torre atmosférica:** El crudo que sale del horno se encuentra parcialmente vaporizado y entra a la torre atmosférica por la línea de transferencia que se encuentra a la altura de la zona de vaporización instantánea, localizada en el plato 5. Ver Figura 3. La fracción líquida de la carga de crudo fluye hacia el fondo de la torre, donde existen 4 platos de despojo y la fracción vaporizada asciende hacia la zona de fraccionamiento, donde se disponen 29 platos.

En la zona de fraccionamiento se presenta la separación del crudo en fracciones para obtener cortes de nafta, queroseno, diésel, gasóleo

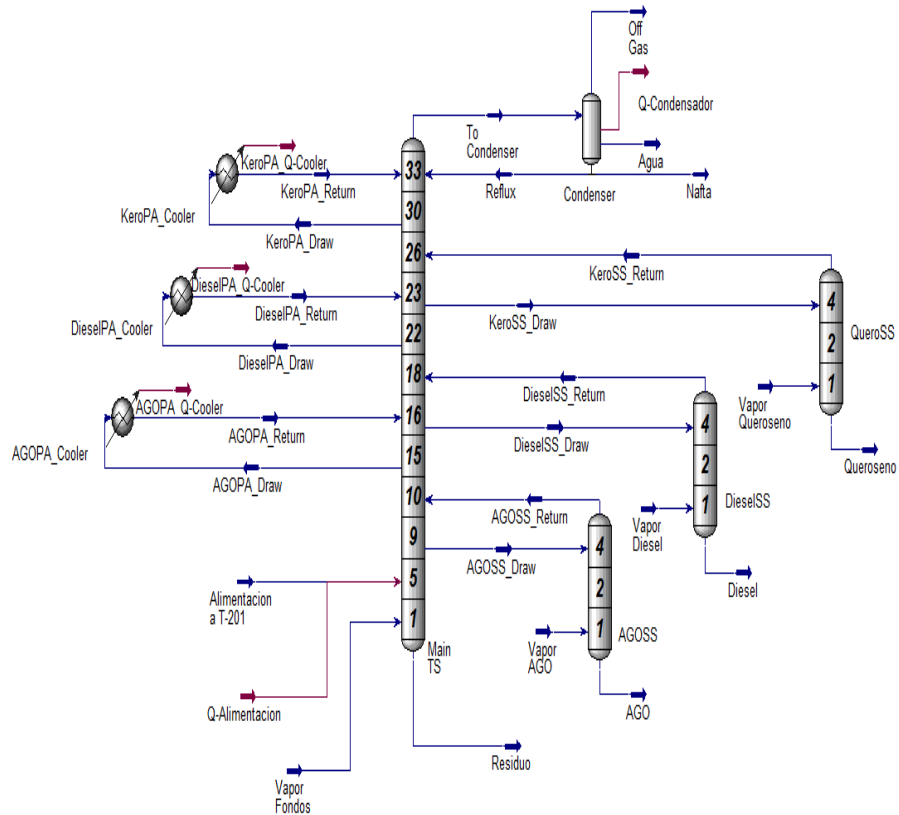
atmosférico (GOA) y crudo reducido, para tal propósito la torre atmosférica cuenta con tres extracciones laterales para el queroseno, diésel y GOA respectivamente, cada “stripper” tiene como función arrastrar los componentes ligeros de los líquidos descendentes mediante el ingreso de vapor de agua por el fondo de este, llevando el líquido hacia arriba y haciéndolo retornar a la torre atmosférica en un plato superior, ya que los compuestos ligeros hacen que el punto de inflamación de los productos sea bajo.

Además la torre atmosférica posee tres reflujos externos (cima, medio e inferior) conocidos como “pump-around”. Estos tienen como finalidad, eliminar el calor que se encuentra distribuido en los distintos niveles de la columna, de esta forma se logra disminuir la temperatura en la zona superior de la torre, ya que de no existir estos reflujos, sería necesario contar con un reflujo interno suficientemente grande como para retirar el calor de la columna.

1.1.2 Variables de operación y su influencia: Existe un sin número de estudios que han sido realizados a torres atmosféricas en donde identifican las variables de mayor impacto sobre los rendimientos de los productos como nafta, queroseno y Diésel^{15,16,17}. Estas variables son flujo de alimentación de crudo, temperatura de cima, flujo del reflujo externo o “pump around”, flujo de vapor de los despojadores, temperatura de salida de los despojadores y presión de cima de la torre. En el ANEXO B se encuentran los rangos de operación más importantes de la torre de destilación.

A continuación se dará a conocer la influencia de estas variables en la torre de destilación atmosférica.

Figura 3. Diagrama de flujo de la torre atmosférica



- **Flujo de alimentación de crudo:** Un incremento en la razón de alimentación demanda un gasto energético mayor, lo cual repercute en los costos operacionales de la unidad de destilación y además influye en la eficiencia de la torre afectando el grado de separación de la fracción de crudo.
- **Temperatura de cima:** Las altas temperatura generan mayor producción de nafta lo cual desfavorece la producción de queroseno esto se debe a que los rangos de ebullición finales de nafta e iniciales del queroseno se encuentran comprendidos entre sí.
- **Flujo de los “pump around”:** Un alto flujo provoca la inundación de torre y a su vez disminuye el perfil de temperatura de esta, causando menor fraccionamiento de crudo pesado.

- **Flujo de vapor de los despojadores:** Un aumento de esta variable provoca un gasto excesivo de vapor, incrementando la carga al sistema de condensación de cima de la torre, debido a que hay mayor arrastre de compuestos ligeros.
- **Temperatura de salida de los despojadores:** Las altas temperaturas produce un alto punto de ebullición final del producto causando que estos se salgan de su especificación por destilación.
- **Presión de cima:** Una alta presión disminuye la carga, aumentando el nivel del fondo ocasionando un aumento de la temperatura en la torre.

1.1.3. Valores numéricos para las variables de entrada: Los valores de las variables de entrada fueron escogidos de la torre atmosférica T-201 de la unidad U-200 de la refinería de Ecopetrol S.A. ubicada en Barrancabermeja- Santander, como ejemplo ilustrativo para el desarrollo de este proyecto.

Las variables de entrada que se tuvieron en cuenta fueron las presiones, las temperaturas, los flujos y la relación de reflujo, estas se fijan con valores que no cambiaran a lo largo del proceso, éstas se pueden observar en la Tabla 1. Es importante aclarar que el flujo de alimentación a la torre permanece constante, sin embargo mientras se logra el aumento de los destilados medios el porcentaje de la mezcla ira cambiando. Es decir la simulación base tendrá el 100% de mezcla Castilla, y las siguientes simulaciones se le adicionaran un porcentaje de MDBS hasta lograr que las cantidades de los productos sean las adecuadas.

Tabla 1. Variables de entrada de la torre de destilación

Variable	Unidad	TDA
Flujo de Alimentación	BPD	55.000
Temperatura de Alimentación	°F	675
Temperatura de Cima	°F	294
Temperatura de Fondos	°F	710

Variable	Unidad	TDA
Presión de Cima	Psia	24,7
Presión de Fondo	Psia	32,7
Caída de Presión	Psi	7

1.1.4 Simulaciones y su diseño: Para lograr la simulación del fraccionamiento de la mezcla Castilla es necesario caracterizar el crudo a través de ciertas propiedades como la gravedad API, la curva de destilación TBP, el factor de Watson y la viscosidad cinemática. El modelo termodinámico que se escoge para la simulación es el Peng-Robinson¹⁸ debido a que esta ecuación es ideal para el cálculo del equilibrio líquido-vapor de los sistemas que trabajan con hidrocarburos.

El siguiente paso es la instalación y configuración de los equipos pertenecientes a la unidad de destilación de crudo donde se encuentra el sistema de acondicionamiento de este, compuesto por una columna pre-flash y un horno atmosférico, si bien estos equipos son importantes en la simulación, no se hará una descripción detallada de su diseño ya que son equipos de configuración simple.

El equipo más importante en la simulación es la torre de destilación que está compuesta de un condensador parcial en donde la corriente líquida se divide en dos, una de agua y otra de nafta, mientras que la corriente gaseosa presenta un caudal significativamente pequeño.

La torre de destilación no cuenta con un rehervidor es por esto que se dispone de una corriente de vapor de fondo proveniente del horno atmosférico que compensa la función del rehervidor. La torre está constituida de 33 platos, 4 corresponden a la sección de despojo localizada en la parte inferior de la zona de alimentación y una sección de rectificación constituida por 29 platos. A la derecha de la columna se ubican 3 agotadores laterales que cuentan cada uno con 4 platos, además la

columna posee 3 reflujos externos conocidos como “pump around” (cima, medio, inferior).

Los datos de diseño tanto para la torre como para los agotadores laterales son: platos tipo válvula cuya eficiencia se fijó en 75%¹⁹, además la altura, diámetro y espaciamiento entre platos, fueron especificados mediante la herramienta “Try Sizing”²⁰ del simulador. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de Diseño de la Torre de Destilación.

Parámetros de Diseño	Unidad	TDA
Número de Platos	N/A	33
Eficiencia de Platos	%	75
Tipo de Plato	N/A	Válvula
Espaciamiento entre Platos	ft	2
Diámetro	ft	16,5
Altura	ft	66
Max Inundación	%	82
Material	N/A	Acero al Carbono

Una vez terminada la simulación se procedió a hacer la caracterización del MDBS, que consiste en agregar los valores de la curva de destilación ASTM-D86, la viscosidad cinemática y la gravedad API, para luego agregar a la mezcla Castilla teniendo como caso base la simulación descrita anteriormente. Estos valores se muestran a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores ingresados para la caracterización del MDBS

MDBS		
Propiedades	Unidad	
Gravedad API	°API	49,15
Destilación D-86		
Punto Inicial de Ebullición	°F	331,00
5% Vol. Recuperado		343,80

MDBS		
Propiedades	Unidad	
10% Vol. Recuperado		346,80
20% Vol. Recuperado		354,90
50% Vol. Recuperado		388,80
90% Vol. Recuperado		508,80
95% Vol. Recuperado		553,10
Punto Final de Ebullición		592,70
Viscosidad Cinemática a 104°F	cSt	1,347

1.1.5 Obtención de datos: La información reportada por el simulador, es exportada y tabulada en Microsoft Excel, esta es útil a la hora de identificar las mezclas Castilla con MDBS que ofrezcan un aumento de producción de destilados medios (nafta, queroseno, Diésel) que son productos valiosos a nivel comercial y a la vez hacer una evaluación de las propiedades de los productos obtenidos

1.2 TRATAMIENTO DE LA MEZCLA CASTILLA CON MDBS

En este estudio se realizaron adiciones con diferentes porcentajes de MDBS a la mezcla Castilla, lo cual busca aumentar los rendimientos de los destilados medios mediante el proceso de destilación atmosférica, así como la evaluación en algunas de las propiedades más importantes de los productos. En la Tabla 4 se pueden observar algunas de las propiedades de la mezcla de crudo con MDBS.

Se escoge el MDBS debido a que presenta características que mejoran las propiedades del crudo, ya que el MDBS tiene características de “Diésel”, pero este se encuentra fuera de especificación por presentar componentes de hidrocarburos ligeros (metano y etano), que no pudieron ser despojados en el fraccionamiento de los LGN (líquidos de gas natural), y estos componentes ligeros hacen que la temperatura del 90% del volumen recuperado mediante la destilación sea de 514,4°F (268°C), mientras que la temperatura de especificación del Diésel se

encuentra comprendida de 572 a 752°F (300 a 400°C). Lo que hace que el MDBS no pueda ser comercializado como Diésel y por tanto se convierte en un producto con bajo valor comercial, pero con la ventaja de aportar propiedades muy importantes a los crudos en donde es mezclado.

Tabla 4. Propiedades de la mezcla de Crudo con el MDBS.

Especificaciones	MDBS en el Crudo					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Flujo Volumétrica [BPD]	55.000	53.900	52.800	51.700	50.600	49.500
Gravedad API	19,25	19,76	20,26	20,77	21,29	21,80
Punto de Inflamación [F]	21,53	30,90	38,58	47,42	54,70	62,24
Destilación, [F]						
10% Vol. Recuperado	207,54	218,99	228,46	239,47	248,62	258,19
50% Vol. Recuperado	763,72	753,22	742,20	730,96	718,59	705,99
90% Vol. Recuperado	1.601,43	1.603,92	1.606,11	1.608,64	1.611,44	1.614,43
Viscosidad Cinemática [cSt]	141,43	121,10	104,21	90,11	78,27	68,29

1.2.1. Cortes o fracciones de los productos de destilación atmosférica.

- **Nafta:** La nafta es un destilado ligero proveniente de la destilación atmosférica del petróleo crudo, es una fracción de hidrocarburos cuya estructura molecular está comprendida en C₅ a C₁₂ átomos de carbono, cuyo intervalo de destilación está situado de 86 a 401°F (30 a 205°C), donde el punto del 10% debe destilar antes de 158°F (70°C) y el punto de 95% antes de 383°F (195°C) con un punto final de destilación superior a 401°F (205°C).
- **Queroseno:** Es un destilado medio proveniente de la destilación atmosférica del petróleo crudo. Es una fracción de hidrocarburos cuyo intervalo de destilación está situado inmediatamente después de las naftas; el punto del 50% debe destilar antes de los 491°F (255°C), y el punto del 80% antes de los 545°F (285°C), de modo que la composición aproximada del queroseno supone la presencia de hidrocarburos comprendidos entre C₁₀ y C₁₄.

- **Diesel:** Es un aceite intermedio derivado del petróleo que se obtiene por destilación primaria, cuyo rango de destilación está comprendido de 572 a 752°F (300 a 400°C), donde el punto de destilación al 65% debe destilar antes de 662°F (350°C), y el punto del 90% inferior a 680°F (360°C). Su estructura molecular está constituida de C₁₃ a C₂₄ átomos de carbono aproximadamente.

1.2.2. Métodos de ensayo aplicado a los combustibles: Estos ensayos se realizan a cada uno de los productos que se obtienen mediante la destilación del crudo. Los ensayos tienen como finalidad comprobar si el funcionamiento de los equipos es el correcto, además de asegurar que la calidad de los productos terminados corresponda a las normas establecidas. Cada ensayo es llevado a cabo mediante las normas ASTM.

A continuación se presentan los principales métodos que son realizados a los productos.

1.2.2.1. Métodos de ensayo de la nafta: Los análisis de mayor relevancia a la hora de garantizar la calidad de la nafta son: El número de octano Research (D-2699), la presión de vapor (D-323), el color Saybolt (D-156), la destilación (D-86), entre otros. Sin embargo para este estudio se analizaron las siguientes propiedades.

- Presión de Vapor Reid
- Destilación

1.2.2.2. Métodos de ensayo para el queroseno: Los análisis más importantes para determinar la calidad del queroseno son: El color Saybolt (D-156), la destilación (D-86), el punto de inflamación (D-56) entre otros. Para este estudio se analizaron las siguientes propiedades

- Destilación
- Punto de inflamación

1.2.2.3. Métodos de ensayo del Diésel: De igual manera para verificar la calidad del Diésel se analizan: El número de cetano (D-976 / D-4737), la destilación (D-86), la viscosidad cinemática (D-445), el punto de inflamación (D-93), entre otros. Sin embargo para este estudio se analizaron las siguientes propiedades.

- Índice de cetano
- Destilación

1.2.3 Evaluación de las mezclas Castilla con MDBS: Primeramente se evaluaron diferentes porcentajes en volumen de MDBS con la mezcla Castilla, con un valor de carga constante de 55.000 BPD que corresponden a la capacidad instalada de la torre. El límite máximo establecido para mezclas de crudos con solventes es de 15% en volumen, ya que de superar este porcentaje las propiedades del crudo se verían comprometidas.

Sin embargo para este proyecto se escogió un máximo de 10% en volumen de MDBS para agregar a la mezcla Castilla (49.500 de mezcla Castilla y 5.500 de MDBS), ya que al superar este porcentaje se tendrían que modificar condiciones de operación de la torre desviándose del caso de estudio.

Luego se procedió a realizar un barrido de los datos arrojados por el simulador a todas las corridas obtenidas, teniendo como prioridad el rendimiento y evaluación de las propiedades de los productos. Para finalmente determinar los efectos del MDBS en este.

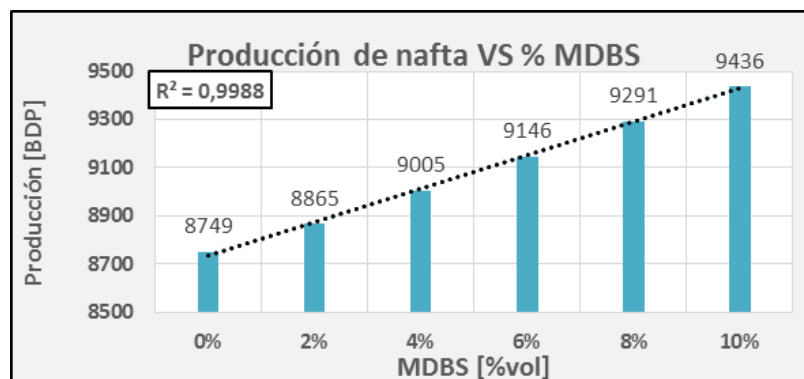
2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados de la producción y evaluación de las propiedades de los destilados medios obtenidos mediante el simulador Aspen HYSYS V8.0 se muestran a continuación:

2.1 EVALUACIÓN DE LA NAFTA

2.1.1. Producción de la nafta: Al observar la Figura 4, se puede evidenciar un notable aumento en la producción de nafta, porque con el 100% de mezcla Castilla se presentó un rendimiento del 15,9% vol, mientras que el rendimiento de la nafta obtenida de la mezcla al 10% de MDBS fue de 17,2% vol, este aumento es debido a que hay una mejor distribución de los componentes ligeros presentes en el MDBS para el corte de nafta. A pesar que la diferencia en los rendimientos evaluados fue de 1,3% vol, este porcentaje representa un aumento de 687 barriles de nafta con respecto al original.

Figura 4. Producción de nafta Vs. Porcentaje de MDBS en el crudo



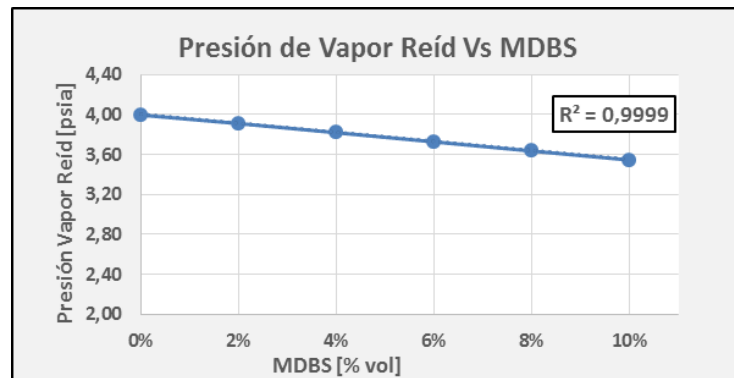
2.1.2. Propiedades evaluadas en la nafta

- **Presión de vapor Reíd:** La PVR proporciona una buena indicación de la volatilidad en las naftas y sirve para evaluar su tendencia a la evaporación, de manera que cuanto mayor es la presión de vapor, se evapora con mayor facilidad.

En la figura 5 se observa que la adición de MDBS a la mezcla Castilla disminuye la RVP de la nafta, haciendo que esta tienda a volatilizarse cada vez menos, lo cual es beneficioso a la hora de su transporte y almacenamiento, sin embargo esta propiedad no puede disminuir considerablemente ya que reduce el número de octano Research lo cual afecta la calidad del producto.

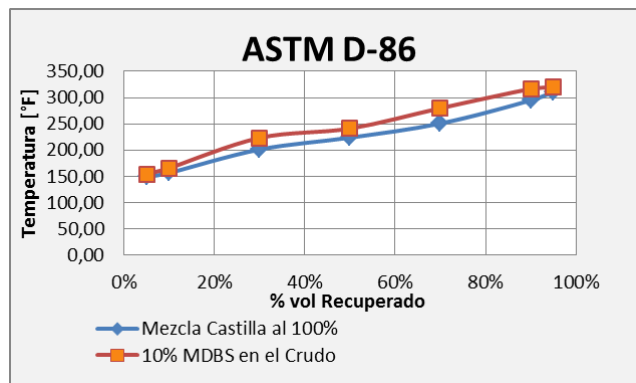
En este estudio a pesar que el RVP tuvo un decremento, esta disminución no afecto en gran mediada la propiedad dado que en la mezcla Castilla inicial el RVP es de 4,0 psia mientras que en la mezcla de 10% de MDBS en el crudo reporto un RVP de 3,55 psia. Ecopetrol bajo el método de ensayo ASTM D-5191 reporta para este producto que la propiedad debe presentar un máximo de 8,0 psia para considerarlo dentro de especificación, por lo cual se puede decir que el producto simulado cumple con esta característica.

Figura 5. Presión de vapor de nafta Vs. Porcentaje de MDBS en el crudo.



- Curvas de destilación D-86:** Como puede observarse en la Figura 6, la curva de destilación de la nafta se modificó como resultado de la adición del MDBS. Dicha modificación se observa fundamentalmente en el intervalo de porcentajes de destilado comprendido entre el 30 y el 90% en volumen. En este intervalo, las temperaturas de ebullición son más altas para la mezcla de crudo con MDBS que para la nafta obtenida con mezcla Castilla al 100%. Esto se debe a que hay mayor presencia de hidrocarburos en la mezcla, lo cual provoca un decremento en su volatilidad.

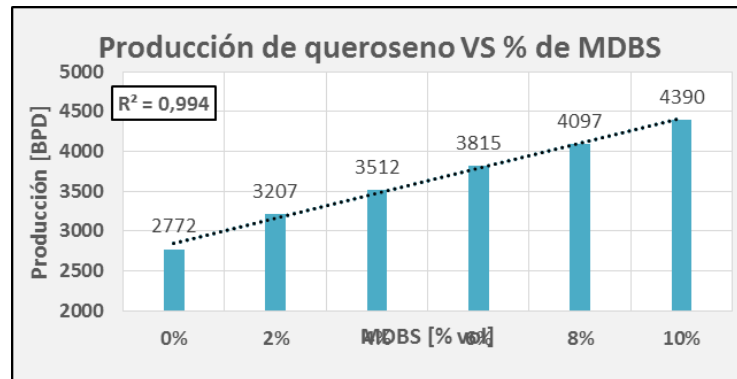
Figura 6. Comparación curvas de destilación



2.2 EVALUACIÓN DEL QUEROSENO

2.2.1. Producción del queroseno: En la figura 7 se puede observar el aumento de la producción de queroseno, debido a que el rendimiento en la mezcla al 10% de MDBS presenta un incremento del 7,98% vol en la producción, respecto al crudo procesado, el cual representa un aumento de 1.618 barriles de queroseno respecto al crudo original. Esto se debe a la adición de compuestos ligeros en la mezcla.

Figura 7. Producción de queroseno Vs. Porcentaje de MDBS en el crudo



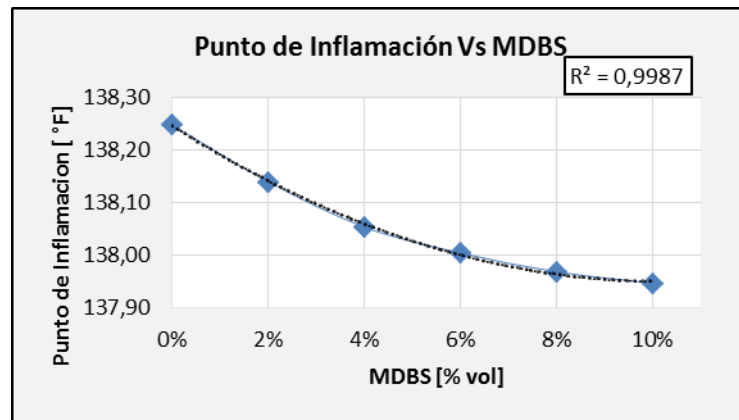
2.2.2. Propiedades evaluadas en el queroseno

- **Punto de Inflamación:** El punto de inflamación es aquella temperatura mínima a la cual el combustible emite suficientes vapores que en presencia de aire u otro comburente y en contacto con una fuente de ignición se inflama.

En la figura 8, se observa un leve decremento en el punto de inflamación a medida que aumenta el porcentaje de MDBS en la mezcla Castilla, lo cual nos indica que la cantidad de hidrocarburos ligeros en el corte de queroseno aumenta, debido a que el flujo de vapor en el crudo mezclado no es el suficiente para despojar los componentes ligeros llevándolos hacia la cima de la torre.

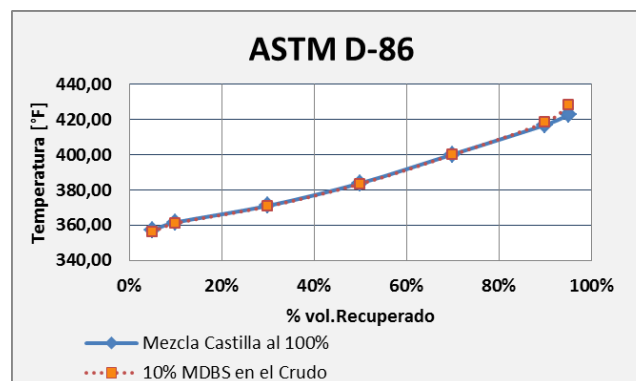
A pesar de presentarse un decremento en esta propiedad, la calidad del queroseno no se vio afectada en gran medida, ya que el producto simulado logra alcanzar un punto de inflamación de 137,95°F (58,8°C) en la mezcla del 10% de MDBS en el crudo, manteniéndose en los parámetros establecidos por Ecopetrol según el método de ensayo ASTM D-56, el cual indica que el punto de inflamación mínimo del queroseno debe ser de 100,4°F (37,77°C). Por tanto el producto obtenido por medio de simulación logra cumplir con la especificación requerida.

Figura 8. Punto de inflamación del queroseno Vs. Porcentaje de MDBS en el crudo.



- Curvas de destilación D-86:** En la Figura 9 se puede observar que las curvas de destilación del queroseno se superponen a lo largo de la destilación, presentando un pequeño desfase a partir del 90% en volumen recuperado en mezcla, lo cual nos indica que las propiedades de la mezcla Castilla al 100% como la mezcla al 10% con MDBS se mantienen constantes, a pesar de presentar una pequeña variación en su peso molecular debido a la adición de componentes ligeros que se encuentran presentes en el MDBS lo cual hace que se eleve su punto final de ebullición.

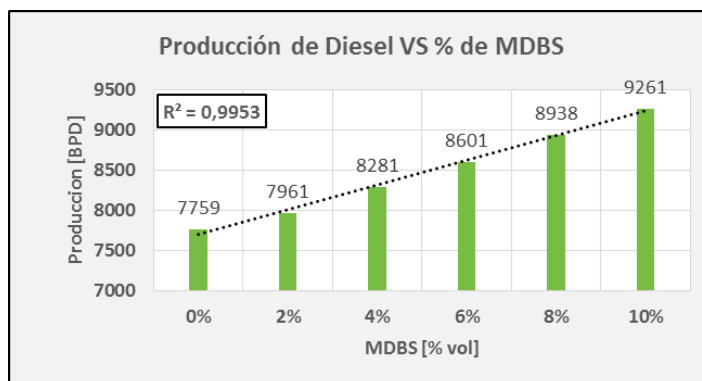
Figura 9. Comparación curvas de destilación



2.3 EVALUACIÓN DEL DIESEL

2.3.1. Producción del Diesel: Se puede observar en la Figura 10, el aumento en la producción de Diésel, el cual presento un rendimiento de 14,1% vol, con el crudo base, mientras que el rendimiento del Diésel obtenido de la mezcla con el 10% de MDDBS fue de 16,8%. De allí que la diferencia en los rendimientos sea de 2,7% vol, representados en un aumento de 1.502 barriles de Diésel respecto a la mezcla Castilla original. El aumento de la producción del Diésel se debe a las razones dadas en los productos anteriores.

Figura 10. Producción de Diesel Vs. Porcentaje de MDDBS en el crudo



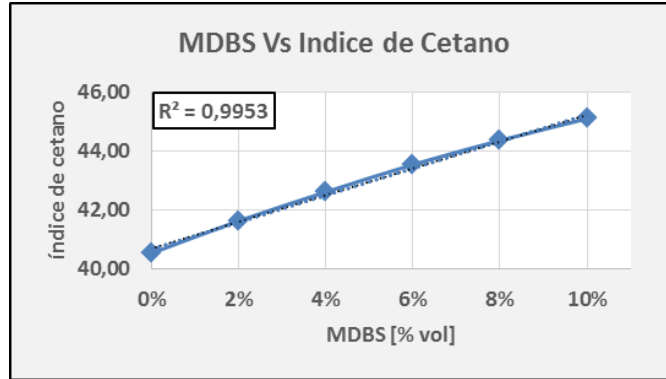
2.3.2. Propiedades evaluadas en el Diesel

- **Índice de cetano:** El índice de cetano en el diesel define la calidad del mismo, esta medida es equivalente a la homogeneidad de la combustión (cuanto más homogéneo es el quemado, más completo y de mayor calidad).

En la Figura 11, se observa un aumento en el índice de cetano del diesel, ya que su valor reportado es de 41,39 para la mezcla Castilla al 100% mientras que en la mezcla del 10% de MDDBS en el crudo esta propiedad tiene un valor de 45, lo cual hace que cumpla con el valor mínimo que Ecopetrol establece

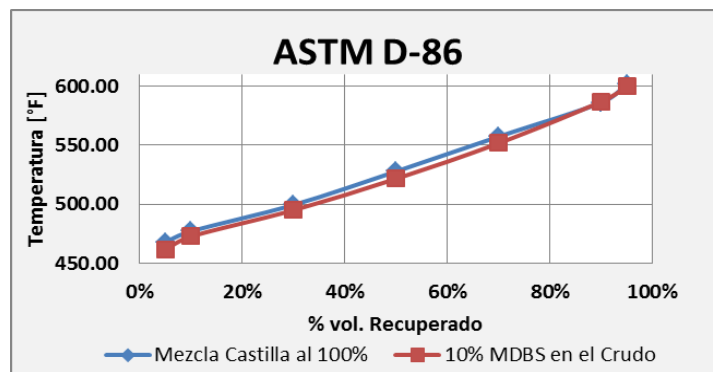
para que el diesel se encuentre dentro de especificación según el método de ensayo ASTM D-4737.

Figura 11. Índice de Cetano Vs. Porcentaje de MDBS en el crudo



- **Curva de destilación D-86:** Como puede observarse en la Figura 12, la curva de destilación del diesel presenta un leve cambio como resultado de la adición del MDBS a la mezcla Castilla. Este cambio se logra evidenciar en el intervalo de porcentajes de destilado comprendido entre el 30 y el 70% en volumen. En este intervalo, las temperaturas de ebullición son más altas en la mezcla Castilla al 100% que para el diesel obtenido de la mezcla de crudo con MDBS. Es por esto que la mezcla de crudo con MDBS al presentar temperaturas de ebullición más bajas provoca un incremento en la volatilidad de esta.

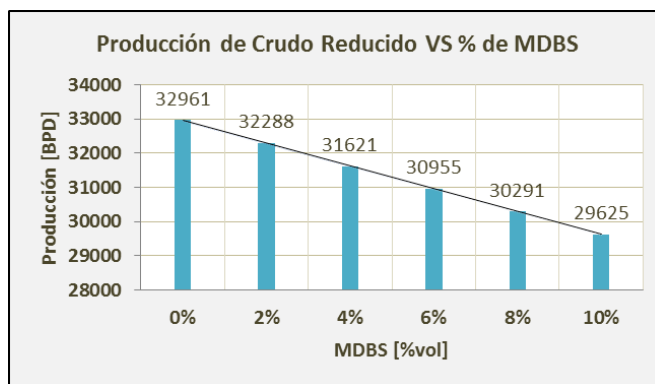
Figura 12. Comparación curvas de destilación



Finalmente la producción y las propiedades evaluadas a los productos obtenidos con la adición del 10% de MDBS en la mezcla Castilla cumple con los objetivos de aumentar la producción de destilados medios y a su vez las propiedades de estos cumple con las especificaciones establecidas por los métodos de ensayo ASTM, que evalúan la calidad de un productos.

A pesar que la producción de crudo reducido no hace parte de los análisis realizados a este proyecto es importante mencionar que la adición del 10% de MDBS en la mezcla Castilla, logra una disminución en la producción de crudo reducido lo cual es beneficioso para el proceso de destilación atmosférica, porque garantiza el incremento de los destilados medios. En la Figura 13, se observa el decremento en la producción de crudo reducido.

Figura 13. Producción de Crudo Reducido Vs. Porcentaje de MDBS en el crudo



3. CONCLUSIONES

- Se pudo establecer que la mezcla Castilla por ser un crudo pesado limita la producción de destilados medios, debido a la presencia de residuos pesados que están compuestos de asfáltenos, parafinas y/o resinas los cuales reducen la calidad del crudo.
- La adición de MDBS en la mezcla Castilla incrementa la calidad de la carga de 19,25 a 21,80 °API, pasando de ser un crudo pesado a crudo intermedio con lo cual se logra la obtención de un crudo cuya calidad se encuentra acorde a las condiciones de diseño y operación de un crudo convencional.
- Al realizar un análisis en la producción de los destilados medios obtenidos mediante la adición de MDBS a la mezcla Castilla, se verifica el aumento de nafta, queroseno y diesel, estos productos presentan un aumento en barriles de 687, 1.618 y 1.502 respectivamente respecto a la mezcla Castilla, además se observó la reducción de crudo reducido en los productos de destilación, lo cual es muy importante ya que se evidencia el retiro de compuestos pesados en el crudo de carga. Es importante recordar que las condiciones de operación del proceso fueron las mismas.
- El porcentaje del 10% de MDBS en la mezcla Castilla fue el adecuado para este estudio, ya que permitió el mejoramiento de las calidades de los destilados medios, logrando alcanzar especificaciones según las normas de ensayo ASTM en algunas propiedades importantes de cada producto.
- A partir del tratamiento de crudos pesados con MDBS se puede evidenciar una alternativa en el aprovechamiento de los crudos no convencionales, los cuales permitirán un aumento en los productos comerciales de mayor valor agregado de los hidrocarburos cubriendo con la demanda interna del país.

4. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios de factibilidad económica al proceso de producción de destilados medios con MDBS, porque estos permitirán establecer si el proceso es económicamente factible y/o rentable.
- Realizar variaciones en las condiciones de operación de la torre de destilación con los distintos porcentajes de MDBS en el crudo, para establecer cuáles son las condiciones adecuadas para lograr alcanzar un aumento en los destilados medios.
- Evaluar el comportamiento que presenta el adicionamiento de MDBS en otros crudos pesados o extrapesados para observar la evolución de algunas de las propiedades más importantes.
- Es recomendable hacer un análisis del porcentaje de azufre en los productos destilados mediante el mejoramiento en la versión del simulador el cual actualmente presenta esta falla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SILVA CALDERÓN, Álvaro. Trayectoria de la nacionalización petrolera En: Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales, enero-abril 2006 vol. 12, núm. 1, pp. 109-123 [en línea] disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17712108>
2. GALVÁN RICO, Luis E. REYES GIL, Rosa E. GUÉDEZ MOZUR, Carolina DE ARMAS, Desirée . Los macroprocesos de la industria petrolera y sus consecuencias ambientales. En: Universidad, Ciencia y Tecnología junio 2007. Volumen 11, N° 43, pp 91-97. [en línea] disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Rosa_Reyes_Gil/publication/242562464_LOS_MACROPROCESOS_DE_LA_INDUSTRIA_PETROLERA_Y_SUS_CONSECUENCIAS_AMBIENTALES/links/53fef2420cf283c3583c0a24.pdf
3. PINTO S. José Joaquín Proyecto de modernización refinería de Barrancabermeja [en línea] disponible en: <http://www.infraestructura.org.co/memoriaseventos/inversionesecopetrol2011/ecopetrol.pdf>
4. CAMPETROL Crudos pesados el reto para Colombia [en línea] disponible en: <http://campetrol.org/crudos-pesados-el-reto-para-colombia/>
5. GARCÍA César Augusto, CÁCERES RODRÍGUEZ Omar, CASALLAS Pedro Alfonso, CRUZ Guillermo, Fabio HERNÁNDEZ Enrique, AFANADOR Luz Edelmira, RODRÍGUEZ Lilia. Optimización del transporte por oleoducto de crudo pesado castilla. En Revista Fuentes, 2010, vol. 8, no 1. [en línea]

disponible

en:

<http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/viewArticle/1148>

6. CURTIS Carl, KOPPER Robert, DECOSTER Eric, GUZMAN GARCIA, Angel; HUGGINS Cynthia; KNAUER Larry; MINNER Mike; KUPSCH Nathan; LINARES Luz Marina; ROUGH Howard WAITE, Mike Yacimientos de petróleo pesado. En: Oilfield Review, II, 2003, vol. 23. [en línea] disponible en: http://69.18.148.100/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish02/win02/p32_55.pdf

7. DÍAZ ÁLVAREZ Juan Carlos; MARTÍNEZ REY Ramiro; PATIÑO REYES Edgar Javier; BARRERO ACOSTA Rigoberto. Estudio experimental sobre la eficiencia de un tratamiento de ultrasonido en un sistema de flujo continuo para la reducción de viscosidad de crudo pesado. En: Revista ION, 2013, vol. 26, no 2, p. 47-63. [en línea] disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v26n2/v26n2a06.pdf>

8. GARRIDO MUÑOZ María Francisca Simulación estacionaria de plantas FCCU (Fluid Cracking Catalitic Unid) e Integración energética ENAP refinerías Aconcagua Trabajo de grado. Ingeniero Civil Químico. Universidad de Magallanes Facultad de Ingeniería Departamento de Química 2010 [en línea] disponible en: http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/garrido_munoz_2010.pdf.

9. CAMPOS GONZÁLEZ Kendel Enrique. Actualización de la filosofía del control de corrosión de las unidades de destilación atmosférica (CDU) y vacío (VDU), coquificación retardada (DCU) y recuperación de gases (GRU), de Petrocedeño. Trabajo de grado. Ingeniero Químico. Barcelona: Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas Departamento de Química. 2009 [en línea] disponible en: <http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2656/1/35-TEISIS.IQ009C24.pdf>

10. FEIJOO RUIZ, Carlos David Enrique. Procesamiento de la mezcla crudo y médium distillate for blending stock (MDBS) para aumentar la producción de destilados medios. Tesis. Ingeniero Petroquímico. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica 2012. [en línea] disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1527/1/feijoo_rc.pdf
11. CISNEROS HUERTA, Carlos Eduardo. Simulación de fraccionamiento del “Médium distillate for blending stock”(MDBS) en la columna D-305 de refinería Conchán. Tesis. Ingeniero Petroquímico. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica 2011 [en línea] disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/971/1/cisneros_hc.pdf
12. ECOPETROL S.A. Manual de Descripción de Proceso: Unidad de Crudo U-200. Barrancabermeja: Ecopetrol S.A. 2007.
13. CABRERA, Liliana. GARCÍA, Octavio. GONZÁLEZ, Roberto. RANGEL, Jesús. RINCÓN, Dayanis. E-BC501183 C. I. Mérida, Marzo de 2012. [en línea] disponible en: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/marquezronald/wp-content/uploads/FINAL-INDUSTRIAL-revisado.pdf>
14. SÁNCHEZ, José Acedo. Control de una columna de destilación atmosférica. En: Ingeniería química, 1989, no 245, p. 81-89. [en línea] disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4982789>
15. LÓPEZ CÁRDENAS Diana Carolina, MAHECHA BOHÓRQUEZ Cesar Augusto, ACEVEDO DUARTE Leonardo. Análisis jerárquico de variables de operación de una torre de destilación de crudo usando datos de planta, modelos de simulación y diseño de experimentos. En: Revista ION, 2008, vol.

21, No 1. [en línea] disponible en:
<http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/viewArticle/7>

16. PLACKETT, Robin L.; BURMAN, J. Peter. The design of optimum multifactorial experiments. En: Biometrika, 1946, vol. 33, no 4, p. 305-325. [en línea] disponible en:
http://www.jstor.org/stable/2332195?seq=1#page_scan_tab_contents

17. PIÑA GRANADOS, Juan Manuel. Estudio de las consideraciones de diseño y operación en la torre de destilación vacío operando a corte profundo con un residuo atmosférico maya. Tesis. Ingeniero Químico Petrolero. Mexico D. F.: Instituto Politecnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas 2016. [en línea] disponible en:
<http://tesis.bnct.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/16926/25-1-16592.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

18. ASPENTECH. HYSYS 2004.2: Simulation Basis. Aspen Technology, Inc. Cambridge, 2005.

19. SERRANO GUTIÉRREZ, Evelyn. Evaluación de la máxima capacidad operacional de las columnas E-01 y D-0322 de la unidad fraccionadora de nafta de la Refinería Puerto de la Cruz PVDSA Trabajo de grado. Ingeniero Químico Puerto de la Cruz: Universidad del Oriente. Nucleo en Anzoátegui. Escuela de Ingeniería y Ciencias aplicadas. Departamento de Ingeniería Química. 2010 [en línea] disponible en:
<http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2788/1/104-TESIS.IQ.pdf>

20. ASPENTECH. HYSYS 2004.2: Operation Guide. Aspen Technology, Inc. Cambridge, 2005.

BIBLIOGRAFÍA

ASPENTECH. HYSYS 2004.2: Operation Guide. Aspen Technology, Inc. Cambridge, 2005.

BAGAJEWICZ, Miguel; JI, SHUNCHENG. Rigorous procedure for the design of conventional atmospheric crude fractionation units. Part I: Targeting. En. Industrial & engineering chemistry research, 2001, vol. 40, no 2, p. 617-626. [en línea] disponible en: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie000302+>

BASAK, Kaushik, et al. On-line optimization of a crude distillation unit with constraints on product properties. En: Industrial & engineering chemistry research, 2002, vol. 41, no 6, p. 1557-1568. [en línea] disponible en: https://scholar.google.es/scholar?q=BASAK%2C+Kaushik%2C+et+al.+On-line+optimization+of+a+crude+distillation+unit+with+constraints+on+product+properties.+Industrial+%26+engineering+chemistry+research%2C+2002%2C+vol.+41%2C+no+6%2C+p.+1557-1568.&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5

CABRERA, Liliana. GARCÍA, Octavio. GONZÁLEZ, Roberto. RANGEL, Jesús. RINCÓN, Dayanis. E-BC501183 C. I. Mérida, Marzo de 2012. [en línea] disponible en: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/marquezronald/wp-content/uploads/FINAL-INDUSTRIAL-revisado.pdf>

CAMPETROL Crudos pesados el reto para Colombia [en línea] disponible en: <http://campetrol.org/crudos-pesados-el-reto-para-colombia/>

CAMPOS GONZÁLEZ Kendel Enrique. Actualización de la filosofía del control de corrosión de las unidades de destilación atmosférica (CDU) y vacío (VDU),

coquificación retardada (DCU) y recuperación de gases (GRU), de Petrocedefo. Trabajo de grado. Ingeniero Químico. Barcelona: Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas Departamento de Química. 2009 [en línea] disponible en: <http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2656/1/35-TESES.IQ009C24.pdf>

CERUTTI Alberto Angel. La refinación del petróleo tomo I, tomo II, tomo III Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria 2001 [en línea] disponible en: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/la-refinacion-del-petroleo-tomo-i>

CISNEROS HUERTA, Carlos Eduardo. Simulación de fraccionamiento del “Médium distillate for blending stock”(MDBS) en la columna D-305 de refinería Conchán. Tesis. Ingeniero Petroquímico. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica 2011 [en línea] disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/971/1/cisneros_hc.pdf

COULSON, J. M. & RICHARDSON, J. F., Chemical Engineering. II, V. Unit Operations”.3ª ed. Pergamon Press. Oxford (1977-1978). Traducción al castellano. Barcelona: Reverté. (1979-1981). [en línea] disponible en: <http://store.elsevier.com/Chemical-Engineering-Design/R-K-Sinnott/isbn-9780080492551/>

CURTIS Carl, KOPPER Robert, DECOSTER Eric, GUZMAN GARCIA, Angel; HUGGINS Cynthia; KNAUER Larry; MINNER Mike; KUPSCH Nathan; LINARES Luz Marina; ROUGH Howard WAITE, Mike Yacimientos de petróleo pesado. En: Oilfield Review, II, 2003, vol. 23. [en línea] disponible en: http://69.18.148.100/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish02/win02/p32_55.pdf

DÍAZ ÁLVAREZ Juan Carlos; MARTÍNEZ REY Ramiro; PATIÑO REYES Edgar Javier; BARRERO ACOSTA Rigoberto. Estudio experimental sobre la eficiencia de un tratamiento de ultrasonido en un sistema de flujo continuo para la reducción de viscosidad de crudo pesado. En: Revista ION, 2013, vol. 26, no 2, p. 47-63. [en línea] disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v26n2/v26n2a06.pdf>

ECOPETROL S.A. Manual de Descripción de Proceso: Unidad de Crudo U-200. Barrancabermeja: Ecopetrol S.A. 2007.

FEIJOO RUIZ, Carlos David Enrique. Procesamiento de la mezcla crudo y médium distillate for blending stock (MDBS) para aumentar la producción de destilados medios. Tesis. Ingeniero Petroquímico. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica 2012. [en línea] disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1527/1/fejoo_rc.pdf

GALVÁN RICO, Luis E. REYES GIL, Rosa E. GUÉDEZ MOZUR, Carolina DE ARMAS, Desirée . Los macroprocesos de la industria petrolera y sus consecuencias ambientales. En: Universidad, Ciencia y Tecnología junio 2007. Volumen 11, N° 43, pp 91-97. [en línea] disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Rosa_Reyes_Gil/publication/242562464_LOS_MACROPROCESOS_DE_LA_INDUSTRIA_PETROLERA_Y_SUS_CONSECUENCIAS_AMBIENTALES/links/53fef2420cf283c3583c0a24.pdf

GARCÍA César Augusto, CÁCERES RODRÍGUEZ Omar, CASALLAS Pedro Alfonso, CRUZ Guillermo, Fabio HERNÁNDEZ Enrique, AFANADOR Luz Edelmira, RODRÍGUEZ Lilia. Optimización del transporte por oleoducto de crudo pesado castilla. En Revista Fuentes, 2010, vol. 8, no 1. [en línea] disponible en: <http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/viewArticle/1148>

GARCÍA GALLEGO Miguel Ángel Hysys. Destilación Atmosférica de crudo Petrolífero. [en línea] disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20285/fichero/Archivo+Cap%C3%ADtulo+5.Aspen+Hysys.+Dest.Atmos.+de+crudo+petr%C3%B3lifero.pdf>

GARRIDO MUÑOZ María Francisca Simulación estacionaria de plantas FCCU (Fluid Cracking Catalitic Unid) e Integración energética ENAP refineras Aconcagua Trabajo de grado. Ingeniero Civil Químico. Universidad de Magallanes Facultad de Ingeniería Departamento de Química 2010 [en línea] disponible en: http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/garrido_munoz_2010.pdf.

JUDSON KING, C.. Procesos de separación. Barcelona: Reverté, 2003. [en línea] disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=gUE6uxbSk-cC&oi=fnd&pg=PR7&dq=KING,+C.+Judson.+Procesos+de+separaci%C3%B3n.+Revert%C3%A9,+2003.&ots=RvQCy3Nlur&sig=d4XnlnIA6UfLWDMYrLbg4dqhjFM#v=onepage&q=KING%2C%20C.%20Judson.%20Procesos%20de%20separaci%C3%B3n.%20Revert%C3%A9%2C%202003.&f=false>

LÓPEZ CÁRDENAS Diana Carolina, MAHECHA BOHÓRQUEZ Cesar Augusto, ACEVEDO DUARTE Leonardo. Análisis jerárquico de variables de operación de una torre de destilación de crudo usando datos de planta, modelos de simulación y diseño de experimentos. En: Revista ION, 2008, vol. 21, No 1. [en línea] disponible en: <http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/viewArticle/7>

McCABE, Warren L. SMITH, Julian C. HARRIOTT Peter Operaciones unitarias en ingeniería química. Madrid: McGrawHill 2002. [en línea] disponible en: <https://ingenieriapetroquimicaunefazulia.files.wordpress.com/2011/05/operaciones-unitarias-a.pdf>

McCARTHY E., FRAGA E., PONTON J. An automated procedure for multicomponent product separation synthesis. En: Computers and Chemical Engineering. 1998 Vol. 22. pp. S77-S84. [en línea] disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098135498002166>

OLUJÍĆ, Ž., et al. Equipment improvement trends in distillation. En: Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 2009, vol. 48, no 6, p. 1089-1104. [en línea] disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0255270109000361>

PERRY, Robert H. GREEN, et al. Manual del ingeniero químico. McGraw-Hill, 2001. [en línea] disponible en: <http://es.slideshare.net/amandamariamorenoaraniva/manual-del-ingeniero-quimico-perry-tomos-16>

PILAVACHI, P.A., SCHENK M., BEK-PEDERSEN E., GANI R. Design and analysis of separation by distillation: Role of Property Models. En: Chemical and Engineering Research and Design. 2000 Vol. 78. pp. 217–230. [en línea] disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263876200718855>

PINTO S. José Joaquín Proyecto de modernización refinería de Barrancabermeja [en línea] disponible en: <http://www.infraestructura.org.co/memoriaseventos/inversionesecopetrol2011/ecopetrol.pdf>

PINTO, J. M.; JOLY, M.; MORO, L. F. L. Planning and scheduling models for refinery operations. En: Computers & Chemical Engineering, 2000, vol. 24, no 9, p. 2259-2276. [en línea] disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098135400005718>

PIÑA GRANADOS, Juan Manuel. Estudio de las consideraciones de diseño y operación en la torre de destilación vacío operando a corte profundo con un residuo atmosférico maya. Tesis. Ingeniero Químico Petrolero. Mexico D. F.: Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas 2016. [en línea] disponible en: <http://tesis.bnct.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/16926/25-1-16592.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PLACKETT, Robin L.; BURMAN, J. Peter. The design of optimum multifactorial experiments. En: Biometrika, 1946, vol. 33, no 4, p. 305-325. [en línea] disponible en: http://www.jstor.org/stable/2332195?seq=1#page_scan_tab_contents

SÁNCHEZ, José Acedo. Control de una columna de destilación atmosférica. En: Ingeniería química, 1989, no 245, p. 81-89. [en línea] disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4982789>

SEIDER Warren D., SEADER J. D., LEWIN Daniel R., WIDAGDO Soemantri Product and Process design principles: synthesis, analysis and evaluation. Tercera Edición. John Wiley & Sons. 2009. [en línea] disponible en: <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-EHEP000024.html>

SERRANO GUTIÉRREZ, Evelyn. Evaluación de la máxima capacidad operacional de las columnas E-01 y D-0322 de la unidad fraccionadora de nafta de la Refinería Puerto de la Cruz PVDSA Trabajo de grado. Ingeniero Químico Puerto de la Cruz: Universidad del Oriente. Nucleo en Anzoátegui. Escuela de Ingeniería y Ciencias aplicadas. Departamento de Ingeniería Química. 2010 [en línea] disponible en: <http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2788/1/104-TESIS.IQ.pdf>

SILVA CALDERÓN, Álvaro. Trayectoria de la nacionalización petrolera En: Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales, enero-abril 2006 vol. 12, núm. 1,

pp. 109-123 [en línea] disponible en:
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17712108>

SUCLLA PODESTA, Franklin Santiago Alberto; FERNÁNDEZ ROSALES, Diego Jeancarlo. Optimización en la producción de destilados medios y producción en línea de solvente 3, en la unidad de destilación primaria–Refinería Talara. Tesis Ingeniero Petroquímico Lima: Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica 2012. [en línea] disponible en:
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1544/1/suclla_pf.pdf

TORRES ROBLES, Rafael; CASTRO-ARELLANO, J. Javier. Análisis y Simulación de Procesos de Refinación del Petróleo. Curso de Desarrollo Profesional, IMP, 1984. [en línea] disponible en:
<http://dspace.ucbscz.edu.bo/dspace/bitstream/123456789/14394/1/10119.pdf>

UNIÓN DE ASEGURADORAS DE RIESGOS DEL TRABAJO. Cuadernillos de Higiene Laboral Subcomisión de Agentes de Riesgos. [en línea] disponible en:
<http://www.uart.org.ar/~uart/ch-derivados-del-petroleo/>

WANKAT, Phillip C.; Y POZO, GONZÁLEZ Virgilio. Ingeniería de procesos de separación. México: Pearson Education, 2008. [en línea] disponible en:
<https://es.scribd.com/doc/208737550/Ingenieria-de-Procesos-de-Separacion-P-Wankat>

WAUQUIER, J. P. El refino del petróleo: petróleo crudo, productos petrolíferos, esquemas de fabricación. Madrid: Ediciones Díaz de Santos. 2004 [en línea] disponible en:
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=dwkg8u2MmIC&oi=fnd&pg=PR13&dq=Wauquier,+J.+P.+\(2004\).+El+refino+del+petr%C3%B3leo:+petr%C3%B3leo+crudo,+productos+petrol%C3%ADferos,+esquemas+de+fabricaci%C3%B3n.+Edicio](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=dwkg8u2MmIC&oi=fnd&pg=PR13&dq=Wauquier,+J.+P.+(2004).+El+refino+del+petr%C3%B3leo:+petr%C3%B3leo+crudo,+productos+petrol%C3%ADferos,+esquemas+de+fabricaci%C3%B3n.+Edicio)

nes+D%C3%ADaz+de+Santos.&ots=eBnZRDJfw3&sig=1JYSvQQuaVeSLG9kf8c
3_Kr-
5ls#v=onepage&q=Wauquier%2C%20J.%20P.%20(2004).%20EI%20refino%20del
%20petr%C3%B3leo%3A%20petr%C3%B3leo%20crudo%2C%20productos%20p
etrol%C3%ADferos%2C%20esquemas%20de%20fabricaci%C3%B3n.%20Edicion
es%20D%C3%ADaz%20de%20Santos.&f=false

ANEXOS

Anexo A. Especificación de corrientes del proceso

Nombre	Crudo Precalenta do	Vapor Fondo	Vapor Queroseno	Vapor Diesel	vapor GOA
Vapor	0.215	1	1	1	1
Temperatura [°F]	470.0	395	320	320	320
Presión[Psia]	57.7	64.7	64.7	64.7	64.7
Caudal Másico [lb/h]	753200	43720	1540	1540	5830
Caudal Volumétrico [barril/día]	55000	3000	106	106	400
Caudal Calórico [BTU/h]	-5.40E+08	-2.46E+08	-8.73E+06	-8.73E+06	-3.30E+07

Nombre	PreFlash Vapor	Preflash liquido	Crudo Calentado	Alimentación Torre	Agua
Vapor	1	0	0.3878	0.547	0
Temperatura [°F]	470	470	694.7	675	183.2
Presión[Psia]	57.7	57.7	47.7	47.7	24.7
Caudal Másico [lb/h]	59710	693500	693500	753200	52280
Caudal Volumétrico [barril/día]	5277	49720	49720	55000	3587
Caudal Calórico [BTU/h]	-3.64E+07	-5.04E+08	-3.89E+08	-4.26E+08	-3.51E+08

Nombre	Nafta	Queroseno	Diesel	GOA	Crudo Reducido
Vapor	0	0	0	0	0
Temperatura [°F]	183.2	323.4	460.1	478.6	572.4
Presión[Psia]	24.7	32.01	32.23	32.45	32.7
Caudal Másico [lb/h]	98290	33500	99110	37150	485500
Caudal Volumétrico [barril/día]	8749	2772	7759	2783	32960
Caudal Calórico [BTU/h]	- 8.82E+07	-2.74E+07	-7.23E+07	-2.66E+07	-3.24E+08

Especificación de corrientes del proceso con mezcla Castilla

Fuente: Autores

Nombre	MDBS	Mezcla de Crudo	Vapor Fondo	Vapor Queroseno
Vapor	0	0.199	1	1
Temperatura [°F]	470	468.8	395	320
Presión[Psia]	57.7	57.7	64.7	64.7
Caudal másico [lb/h]	62789	740655	43725	1540
Caudal Volumétrico [barril/día]	5500	55000	3000	105.7
Caudal calórico [BTU/h]	-43758774	-5.30E+08	-2.46E+08	-8.73E+06

Nombre	Vapor Diesel	vapor GOA	PreFlash Vapor	Preflash liquido
Vapor	1	1	1	0
Temperatura [°F]	320	320	468.8	468.8
Presión[Psia]	64.7	64.7	57.7	57.7
Caudal másico [lb/h]	1540	5830	60278	680377
Caudal Volumétrico [barril/día]	105.67	400	5342	49658
Caudal calórico [BTU/h]	-8.73E+06	-3.30E+07	-3.67E+07	-4.93E+08

Nombre	Mezcla Crudo Calentado	Alimentación Torre	Agua	Nafta
Vapor	0.485	0.606	0	0
Temperatura [°F]	694.3	675.0	187.7	187.7
Presión[Psia]	47.7	47.7	24.7	24.7
Caudal másico [lb/h]	680377	740655	52249	105681
Caudal Volumétrico [barril/día]	49658	55000	3585	9436
Caudal calórico [BTU/h]	-3.75E+08	-4.12E+08	-3.51E+08	-9.43E+07

Nombre	Queroseno	Diesel	GOA	Crudo Reducido
Vapor	0	0	0	0
Temperatura [°F]	336.6	461.0	467.4	564.1
Presión[Psia]	32.0	32.2	32.5	32.7
Caudal másico [lb/h]	51641	116450	30858	436395
Caudal Volumétrico [barril/día]	4390	9261	2313	29626
Caudal calórico [BTU/h]	-4.15E+07	-8.43E+07	-2.23E+07	-2.94E+08

Especificación de corrientes del proceso con mezcla Castilla y MDBS 10% vol.

Fuente: Autores

Anexo B. Rangos de operación de la torre de destilación.

Variable	Unidad	TDA	
		Mín.	Máx.
Flujo de Alimentación	BPD	35000	55000
Temperatura de Cima	°F	270	320
Flujo de Reflujo Cima	BPD	10500	17600
Flujo de Reflujo Medio	BPD	14000	28000
Flujo de Reflujo Inferior	BPD	15000	44500
Flujo de Vapor Queroseno	BPD	105.7	226.4
Flujo de Vapor Diesel	BPD	105.7	226.4
Flujo de Vapor GOA	BPD	400	1000
Presión de Cima	Psia	24.7	34.7

Fuente: Manual de descripción de procesos de la unidad crudo U-200.
Ecopetrol S.A

Anexo C. Propiedades y Especificaciones de la Mezcla Castilla.

Propiedades y Especificaciones de la Mezcla Castilla		
Análisis	Unidad	Crudo
API 15.5°C (60°F)	°API	19,1
Densidad a 60°/60°F	g/cc	0,9390
Azufre	%W	1,811
Carbono Residual	%W	11,91
Presión de Vapor Reid	psi	3,32
Punto de Fluidez	°C	-24
Factor K (UOP)	N/A	11,62
Temperatura 1	°C	40
Viscosidad Cinemática @ t1	cSt	175,1
Temperatura 2	°C	50
Viscosidad Cinemática @ t2	cSt	66,8
Punto de Inflamación	°C	-15
Destilación		
P.I.E*		25
5%		88,7
10%		118,7
20%		216,5
30%		299,4
40%	°C	360,1
50%		421,3
60%		483,2
70%		560,8
90%		-
95%		-
DFrT*		560,8
Analysis S.A.R.A		
Saturados	%W	25,1
Aromáticos	%W	33,9
Resinas	%W	12,8
Asfáltenos	%W	10,1

* Temperatura Inicial de Ebullición

* Temperatura Final de Ebullición registrada

Blending : Castilla TK-12020 (76%v) + Vasconia Pesado (12%v) + Isla 6 (12%v)

Fuente: Instituto Colombiano del Petróleo

Anexo D. Propiedades y Especificaciones del MDBS (Medium Destillate For Blending Stocks).

Propiedades y Especificaciones del MDBS (Medium Distillate For Blending Stocks)		
Análisis	Unidad	
API 15.5°C	°API	48,7
Densidad a 15,5°/15,5°C	g/cc	0,7852
Azufre	ppm	41,3
Factor K (UOP)	Adimensional	12,16
Temperatura 1	°C	40
Viscosidad Cinemática @ t1	cSt	1,347
Temperatura 2	°C	50
Viscosidad Cinemática @ t2	cSt	-
Punto de Inflamación	°C	52,38
Destilación D-86		
P.I.E*	°C	166,11
5%		173,22
10%		174,89
20%		179,4
50%		198,22
90%		264,89
95%		289,5
P.F.E*		311,5

* Temperatura Inicial de Ebullición

* Temperatura Final de Ebullición

Fuente: Petróleos del Perú - Refinería Conchán

Anexo E. propiedades y Especificaciones de los productos en mezcla al 10%.

propiedades y Especificaciones de los productos en mezcla al 10%					
Análisis	Unidad	Nafta	Queroseno	Diesel	AGO
API 15.5°C (60°F)	°API	52,83	43,99	32,69	23,22
Densidad a 15,5°/15,5°C	g/cc	0,7677	0,8063	0,8618	0,9146
Punto de Inflamación	°C	-	58,86	-	
Factor K (UOP)	Adimensional	11,50	11,74	11,55	11,40
Índice de Cetano	Adimensional	-	-	45,10	-
Peso Molecular		99,44	150,48	208,68	279,19
Capacidad Calorífica	kJ/kgmole-°C	217,99	378,06	559,01	722,50
Presión de Vapor Reíd	kpa	24,44	-	-	-
Destilación D-86					
5%	°C	67,99	180,01	238,67	324,81
10%		74,40	182,83	244,87	331,01
30%		106,34	188,13	257,27	341,00
50%		116,19	195,26	272,08	347,85
70%		137,71	204,46	288,79	356,40
90%		158,08	214,67	308,41	371,37
95%		159,56	220,08	315,47	376,08

Fuente: Autores

Anexo F. Especificaciones Técnicas de la nafta

Especificaciones Técnicas del Nafta				
propiedades / Características	Unidades	Método	Especificación	
			Mín.	Máx.
Gravedad API	°API	ASTM D-1292	58	65
Azufre	g/100g	ASTM D-4294		0,05
Color Saybolt	N/A	ASTM D-156	25	
Presión de Vapor RVP	kpa	ASTM D-5191		50
Parafinas	mL/100mL	ASTM D-6839		65
Olefinas	mL/100mL	ASTM D-6839		2
Naftalenos	mL/100mL	ASTM D-6839	31	
Aromáticos	mL/100mL	ASTM D-6840	4	
Destilación		ASTM D-86		
10% Vol. Recobrado	°C			70
50% Vol. Recobrado			77	121
90% Vol. Recobrado				190
Punto Final de Ebullición				200
Corrosión lámina de cobre, 2 h a 202°F	Clasificación			1
RON	N/A	ASTM D-2699	48	

Fuente: Ecopetrol S.A

Anexo G. Especificaciones Técnicas Queroseno

Especificaciones Técnicas Queroseno				
propiedades / Características	Unidades	Método	Especificación	
			Mín.	Máx.
Azufre	g/100g	ASTM D-4294		0,3
Gravedad API	°API	ASTM D-4052		Reportar
Color saybolt	N/A		16	
Corrosión lámina de cobre, 2 h a 100°C	Clasificación	ASTM D-130		1
Destilación		ASTMD-86		
10% Vol. Recobrado	°C			205
Punto Final de Ebullición				300
Punto de Inflamación		ASTM D-56		
Azufre mercaptano	g/100g	ASTM D-3227	38	
Punto de Congelación	°C	ASTM D-2386		-30

Fuente: Ecopetrol S.A

Anexo H. Especificaciones Técnicas Diesel

Especificaciones Técnicas del Diesel				
propiedades / Características	Unidades	Método	Especificación	
			Mín.	Máx.
Agua y sedimento	mL/100mL	ASTM D-1796		0,05
Azufre	mg/kg	ASTM D-4294		50
Contenido de Aromáticos	mL/100mL	ASTM D-1319		35
Cenizas	g/100 g	ASTM D-482		0,01
Contenido de biocombustible	mL/100mL	EN 14078	1,8	2,2
Color ASTM	Clasificación	ASTM D-1500		3
Corrosión lámina de cobre, 2 h a 202°F	Clasificación	ASTM D-130		2
Destilación		ASTM D-86		
Punto Inicial de Ebullición	°C		Reportar	
50% Vol. Recobrado			Reportar	
95% Vol. Recobrado				360
Punto Final de Ebullición				390
Gravedad API	°API	ASTM D-4052	reportar	
Índice de Cetano	N/A	ASTM D-4737	45	
Numero de Cetano	N/A	ASTM 613	43	
Punto de Fluidez	°C	ASTM D-97		3
Punto de Nube	°C	ASTM D-2500	Reportar	
Punto de Inflamación	°C	ASTM D-93	52	
Temperatura de Obturación Filtro Frío	°C	ASTM D-6371	Reportar	
Residuo de carbón micro (10% fondos)	g/100 g	ASTM D-4530		0,2
Viscosidad Cinemática a -28.9°F	cSt	ASTM D-445	1,9	5
Estabilidad Térmica	% reflectancia	ASTM D-6468	70% a 90 min	
Estabilidad a la Oxidación	g/100 mL	ASTM D-2274		25
Lubricidad a 15.55°F	Micrómetros	ASTM D-6079		450

Fuente: Ecopetrol S.A