

Estudio de la factibilidad técnica para inyectar nafta al Riser de la planta Cracking Orthoflow

Bladimir De Jesús Paez Ramírez y Oscar Mauricio Castellanos Gómez

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero en Ingeniero de Procesos de Refinación y

Petroquímicos

Dirigido por

Víctor Gabriel Baldovino Medrano

Ing. Química

Codirector:

Neyla Maritza Brochero Conde

Carlos Alberto Rivera Corredor

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Ingeniería de Procesos de Refinación y Petroquímicos

Bucaramanga

2022

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Descripción del problema.....	9
2. Estado del Arte.....	16
3. Objetivos.....	18
3.1 Objetivo General.....	18
3.2 Objetivos Específicos.....	18
4. Marco Teórico.....	19
4.1 Operación ruptura catalítica.....	19
4.2 Ciclones.....	23
4.3 Catalizador del proceso.....	24
4.3.1 Contaminantes que afectan el desempeño catalítico.....	26
5. Metodología.....	27
5.1 Determinar las condiciones normales de operación en el sistema de reacción-regeneración (R-520) de la Unidad de Ruptura Catalítica (URC) Orthoflow.....	28
5.2 Evaluar el balance térmico del Reactor Regenerador R-520 al inyectar Nafta en la carga mediante la simulación de la Unidad de Ruptura Catalítica (URC) Orthoflow realizada en el Software Aspen HYSYS.....	31
5.3 Evaluar el balance volumétrico de productos del Reactor Regenerador R-520 al inyectar Nafta en la carga mediante la simulación de la Unidad de Ruptura Catalítica (URC) Orthoflow realizada en el Software Aspen HYSYS.....	32

6. Resultados.....	32
6.1 Caracterización de la operación del sistema de reacción-regeneración (R-520) de la Unidad de Ruptura Catalítica (URC) Orthoflow. ....	32
6.2 Evaluación del balance térmico del Reactor Regenerador R-520 al inyectar Nafta en la carga y su efecto en la circulación de catalizador mediante la simulación de la Unidad de Ruptura Catalítica (URC) Orthoflow realizada en el Software Aspen HYSYS. ....	40
6.3 Evaluación del balance volumétrico de productos del Reactor Regenerador R-520 al inyectar Nafta en la carga mediante la simulación de la Unidad de Ruptura Catalítica (URC) Orthoflow realizada en el Software Aspen HYSYS. ....	44
7. Conclusiones.....	46
Referencias Bibliográficas.....	48

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Diagrama general de sección de refinación. ....	10
Figura 2. Unidad de ruptura catalítica (URC) Orthoflow. ....	11
Figura 3. Sección Catalítica (Reactor-Regenerador R-520).....	13
Figura 4. Unidad Típica de Ruptura Catalítica .....	21
Figura 5. Sección del sistema de distribución de gas.....	23
Figura 6. Vista esquemática de los ciclones. ....	24
Figura 7. Esquema Metodológico .....	27
Figura 8. Medidores de Temperatura. ....	30
Figura 9. Destilación de caracterización de cargas de la unidad Orthoflow. ....	33
Figura 10. Variables operativas del sistema de reacción-regeneración cracking Orthoflow .....	34
Figura 11. Distribución de partícula catalizador de la unidad de ruptura catalítica Orthoflow (ECAT).....	36
Figura 12. Simulación de sistema de reacción-regeneración cracking Orthoflow (R-520) .....	38
Figura 13. Esquemático sistema de reacción-regeneración cracking Orthoflow (R-520) .....	39
Figura 14. Esquemática simulación R-520 con línea de inyección de Nafta. ....	41
Figura 15. Curva Destilación de Nafta empleada como corriente de carga .....	41
Figura 16. Variación del balance térmico del R-520 al inyectar una corriente Nafta como carga de la unidad Orthoflow.....	43

Figura 17. Variación del balance volumétrico de productos del R-520 al inyectar una corriente

Nafta como carga de la unidad Orthoflow. ....44

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Condiciones estudiadas de la operación .....	28
Tabla 2. Caracterización de cargas de la unidad Orthoflow .....	33
Tabla 3. Caracterización catalizador de equilibrio (ECAT) y Condiciones de Operación. ....	36
Tabla 4. Datos de operación del R-520 vs los datos obtenidos a través de Aspen HYSYS. ....	40

## Resumen

**Título:** Estudio de la factibilidad técnica para inyectar nafta al Riser de la planta Cracking Orthoflow\*.

**Autores:** Bladimir De Jesús Paez Ramirez y Oscar Mauricio Castellanos Gómez\*\*

**Palabras Claves:** Cracking, ruptura catalítica, Riser, unidad FCC, catalizador, Reactor, Nafta, Gasóleo, coque.

### Resumen:

En este proyecto, se planteó la propuesta de inyectar Nafta al Reactor Riser R-520, puesto que nace de la necesidad de aumentar los rendimientos de producción ante la demanda de la gerencia de la refinería de Barrancabermeja, así como de aprovechar los recursos (carga) y se evaluó la propuesta a través del software Aspen HYSYS V10 el impacto sobre la temperatura, la recirculación del catalizador y los rendimientos en la generación de productos, se evalúa la posibilidad de aumentar la carga de Aceite Desmetalizado (DMO) para generar mayor productividad en la unidad de Crackeo Catalítico Orthoflow.

Fue necesario obtener todos los datos requeridos para la simulación rigurosa, datasheet de los equipos involucrados en el análisis y el estudio tales como Reactor Riser R-520, flujos, composiciones, Registro de Propiedades del Fabricante del catalizador (Ecat), ventanas operativas como factor restrictivo en la temperatura de operación y diseño. Se validaron los resultados obtenidos de la simulación con los históricos reales que se poseen sobre el proceso en planta y por último se procedió a evaluar la inyección de Nafta en la simulación obtenida, cuyos resultados fueron favorables sobre los rendimientos de producción de Nafta, disminución de la temperatura de operación y por último la disminución de la recirculación del catalizador.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director Víctor Gabriel Baldovino Medrano  
P.h. D Codirector: Neyla Maritza Brochero Conde Carlos Alberto Rivera Corredor

### Abstract

**Title:** Study of the technical feasibility to inject Nafta into the riser of the Cracking Orthoflow Plant\*

**Authors:** Bladimir De Jesús Paez Ramirez y Oscar Mauricio Castellanos Gómez\*\*

**Key Word:** Cracking, catalytic rupture, Riser, FCC unit, catalyst, Reactor, naphtha, gas oil, coke.

### Description

In this project, the proposal to inject naphtha into the R-520 Riser Reactor was proposed, since it arises from the need to increase production yields in response to the demand of the Barrancabermeja refinery management, as well as to take advantage of resources (charge ) and the proposal was evaluated through the Aspen HYSYS V10 software, the impact on the temperature, the recirculation of the catalyst and the yields in the generation of products, the possibility of increasing the load of Demetallized Oil (DMO) to generate greater productivity is evaluated. on the Orthoflow Catalytic Cracking unit.

It was necessary to obtain all the data required for the rigorous simulation, datasheet of the equipment involved in the analysis and study such as Reactor Riser R-520, flows, compositions, Catalyst Manufacturer Properties Registry (Ecat), operating windows as a factor restrictive in the operating and design temperature. The results obtained from the simulation were validated with the real histories that are possessed on the process in the plant and finally the injection of naphtha was evaluated in the simulation obtained, whose results were favorable on the yields of naphtha production, decrease in the operating temperature and finally the decrease in the recirculation of the catalyst.

---

\* Project of grade

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director Víctor Gabriel Baldovino Medrano  
P.h. D Codirector: Neyla Maritza Brochero Conde Carlos Alberto Rivera Corredor

### Descripción del problema

Las refinerías son el motor económico de muchos países, además que son los complejos industriales de donde se obtiene la mayoría de los productos y subproductos importantes para darle movilidad al mismo y de gran valor de exportación. En Colombia, una de las refinerías más importantes por tener la mayor capacidad instalada de procesamiento de crudo (250.000 BPD); es la que se encuentra ubicada en el departamento de Santander, sobre el Distrito Portuario, Turístico y Económico de Barrancabermeja. Aquí, se procesa y se obtienen; gasolina, diésel, queroseno, jet, gas combustible y productos petroquímicos como ciclohexano, benceno, polietileno baja densidad (LDPE), propileno grado refinería (PGR), entre otros.

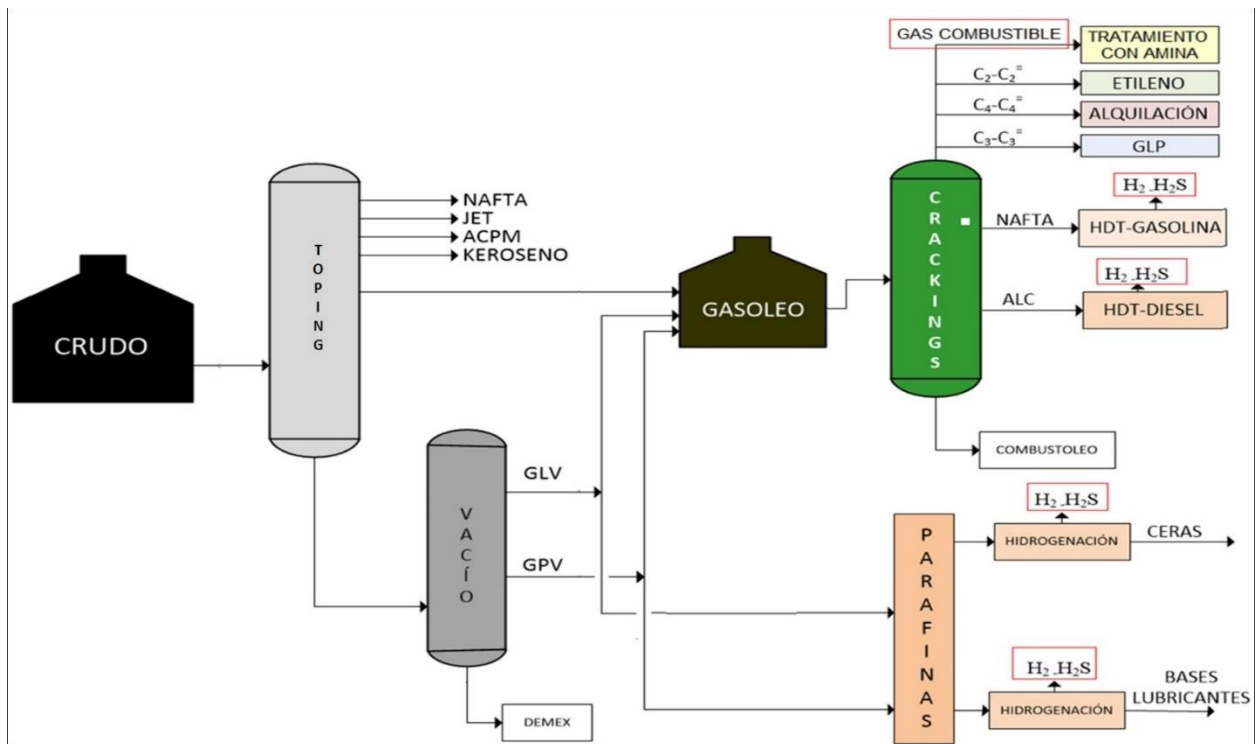
Ecopetrol S.A. tiene como objetivo primordial, implementar procesos más eficientes de descarbonización, aprovechando el procesamiento de la mayor cantidad de residuos con poco valor y darles valor agregado. Así está contemplado, en sus políticas empresariales, encontrar alternativas que viabilicen el aumento ganancial y explotar los potenciales de las unidades y diferentes plantas y como requerimiento se le demanda al personal operativo encontrar en sus labores oportunidades que permitan obtener resultados, basados en la observación rutinaria y la aplicación de los conceptos y estudios ingenieriles como lo es el presente proyecto.

Las unidades “Topping” y de Craqueo Catalítico son las plantas que más se destacan en los complejos industriales, ya que tienen como función procesar la mayor cantidad de crudo y obtener productos valiosos. Como se puede apreciar en la Figura 1, el crudo inicialmente es enviado a las unidades “Topping”, conformadas por una sección de fraccionamiento atmosférica donde se destilan y se obtienen por la cima productos terminados como Nafta, jet, keroseno y

ACPM, de la zona media, se extrae Gasóleo y del fondo se obtiene el hidrocarburo de mayor peso molecular, este último es enviado a la sección de fraccionamiento al vacío donde se extrae más Gasóleo. Una fracción de este Gasóleo es enviada a las unidades de Cracking Catalítico para convertirse en productos más livianos y por lo tanto de mayor valor como el gas combustible, mezclas Etano-Etileno, Gases Licuados del Petróleo (GLP), Nafta y Aceite Liviano de Ciclo (ALC). La fracción de Gasóleo restante y, por general, más pesada sirve de carga a unidades de parafinas donde se obtienen diferentes bases lubricantes y ceras.

**Figura 1.**

*Diagrama general de sección de refinación.*

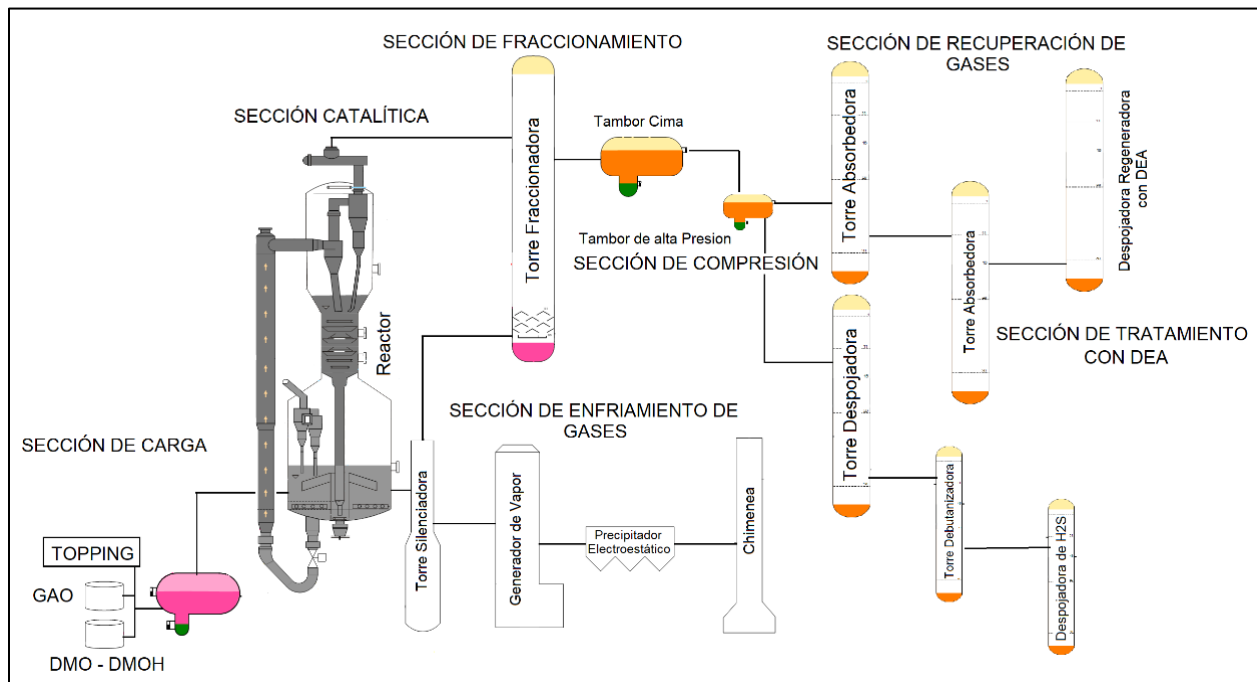


*Nota.* Tomado de: Manual de operación Unidad Orthoflow (GRB)

La refinería de Barrancabermeja cuenta con tres unidades de craqueo catalítico (Orthoflow, UOP I y UOP II). En la Figura 2 se aprecia de manera general el proceso de la unidad de ruptura catalítica (URC) Orthoflow.

**Figura 2.**

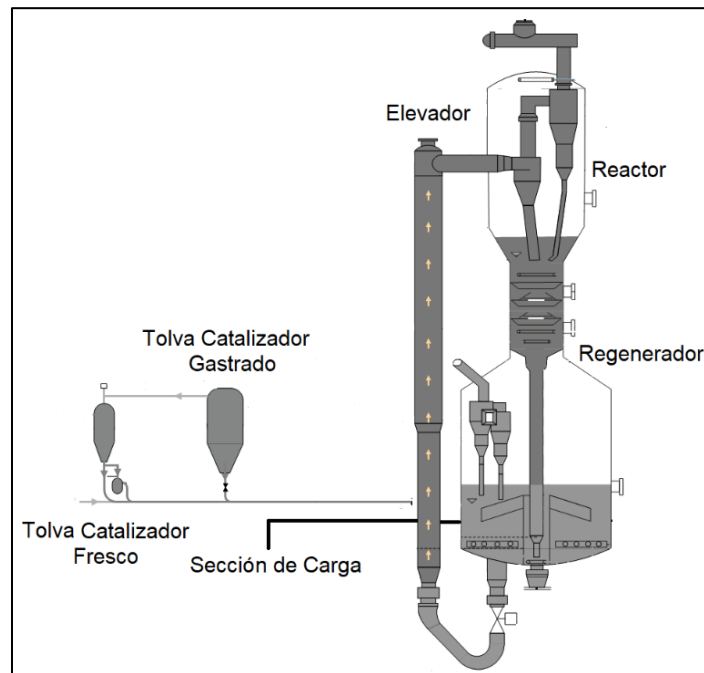
*Unidad de ruptura catalítica (URC) Orthoflow.*



El proceso en la Unidad de Ruptura Catalítica inicia con la carga de 26.000 barriles por día (BPD) de mezcla compuesta por 63% v/v de Gasóleo Atmosférico (GAO), Gasóleo de Vacío (VGO), Residuo Atmosférico (ATR) y 37% v/v de Aceite Desmetalizado (DMO); sin que dicha mezcla supere un valor de carbón residual mayor a 2,5% v/v. Bajo estas condiciones de carga y una temperatura de operación de 529°C/948°F se espera que la conversión sea de aproximadamente 80% v/v hacia los productos líquidos que generan mayor utilidad en las unidades de ruptura catalítica (Nafta  $\approx$  55 – 60 % v/v y Aceite Liviano de Ciclo ALC  $\approx$  20 – 25 % v/v). La

carga es homogenizada y precalentada gracias a tanques de mezclas e impulsada por medio de bombas a la sección de catálisis del Reactor R-520.

El Reactor R-520 tipo Riser conformado por un Elevador de Carga, Reactor o Separador, Despojador y Regenerador (ver Figura 3), es un Reactor catalítico de lecho fluidizado; la fluidización ocurre gracias al diferencial de presión que existe entre el Reactor R-520 y el Regenerador impulsado por el aire de regeneración, que permite la circulación constante del catalizador. El catalizador es un polvo fino y poroso, está compuesto por una relación sílice ( $\text{SiO}_2$ ) / alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), cuyo componente cristalino es la faujasita, con una tasa de recambio de dos a tres toneladas por día (retiro de catalizador gastado y adición de catalizador fresco), para mantener la actividad y conversión de la unidad.

**Figura 3.***Sección Catalítica (Reactor-Regenerador R-520)*

Equipo	Dimensiones
<b>Riser</b>	Diámetro: 0,9652 m / 38 inch Altura: 36,957 m / 121 ft, 3 inch
<b>R520B</b>	Diámetro: 5,7912 m / 19 ft Altura: 16,41475 m / 53 ft, 10-1/4 inch
<b>R520C</b>	Diámetro: 8,8392 m / 29 ft Altura: 17,5514 m / 57 ft, 7 inch

*Nota.* Tomado de: Manual de operación Unidad Orthoflow (GRB)

Al principio, la carga atomizada entra al elevador de carga del Reactor donde entra en contacto con el catalizador. Estas cargas contienen un residuo compuesto principalmente por resinas, asfáltenos y carbón Conradson (RCC) proveniente del crudo, cuyo punto de ebullición es superior a 550°C/1.022°F, los hidrocarburos con punto ebullición superior a 550°C/1.022°F no son volatilizados fácilmente por el catalizador caliente cuando entran en contacto y tienden a acumularse en la base del Reactor, aumentando considerablemente la temperatura de reacción y

desestabilizando el recobro del catalizador (inyección de catalizador Regenerador y retiro de catalizador gastado) y su balance térmico. El VGO tiene alrededor de 8% v/v de RCC de residuo, en cambio, el ATR tiene aproximadamente 35% v/v de residuo pesado tales como S, N, Ni, V y de RCC, y más del 10% v/v de estos consisten en hidrocarburos con puntos de ebullición mayores a 700°C/1.292°F. En este punto los residuos que se encuentran en la carga juegan un papel crucial debido al efecto descrito anteriormente, adicionalmente, se puede producir el fenómeno denominado craqueo térmico, cuyo resultado final es el aumento considerable en la generación del producto carbonáceo llamado coque. El coque es un inhibidor y es un potente combustible que incrementa la temperatura de reacción y llega a complicar la operación. El flujo de catalizador regenerado, activo y caliente llega al Reactor desde el Regenerador. Este es controlado por la válvula de corredera TV-50002, que responde a la temperatura de salida del elevador del Reactor. La carga entra la zona de “pick-up” del elevador la cual provee la velocidad necesaria y acelera el catalizador desde la región del cono de carga. El catalizador regenerado caliente vaporiza la carga mezclada, incrementa la temperatura de la carga y suministra el calor necesario para realizar el proceso de craqueo, las diferencias en diámetro del elevador de carga incrementan la velocidad del catalizador, hasta llegar a los ciclones del elevador y luego a los ciclones superiores. Luego que la reacción de craqueo se realiza, en el elevador de carga, los vapores de hidrocarburos craqueados y el catalizador gastado entran a los ciclones del elevador localizados dentro del Reactor, donde comienzan a separarse los vapores y el catalizador asistidos por vapor de despojo. Los vapores de salida de los ciclones de elevador de carga son enviados directamente a los ciclones superiores o secundarios para evitar craqueo térmico. En los ciclones superiores continúa la separación de los vapores de hidrocarburo y el catalizador gastado. Los vapores de hidrocarburo entonces pasan a la cámara plena externa del Reactor. En este punto se encuentran los transmisores de temperatura

TT-50002A y TT-50002B de donde toma la señal el TIC-50002 para controlar la temperatura de reacción permitiendo más o menos flujo de catalizador regenerado a través de la válvula de corredera de catalizador regenerado. Adicionalmente, los indicadores de temperatura TI-50035 y TI-50036 tienen permitido comenzar a abrir carga siempre y cuando las temperaturas de regeneración en fase densa y fase diluida estén por encima de  $399^{\circ}\text{C}/750^{\circ}\text{F}$  hasta  $694^{\circ}\text{C}/1.281^{\circ}\text{F}$  –  $755^{\circ}\text{C}/1.391^{\circ}\text{F}$ , para no comprometer la integridad física de los ciclones.

El catalizador separado en los ciclones que todavía contiene hidrocarburos fluye a través de sus piernas y pasa al despojador de dos etapas; la función del despojador es recuperar los vapores de hidrocarburos que han sido arrastrados por el catalizador gastado. El tiempo de residencia del catalizador en el despojador y la presión parcial del vapor permiten el despojo del hidrocarburo arrastrado en el catalizador gastado. La mayoría del hidrocarburo arrastrado por el catalizador es despojado o desplazado por el vapor inyectado por el distribuidor superior. Después de haberse removido el hidrocarburo arrastrado por el catalizador gastado, el catalizador libre de hidrocarburos pasa al bajante de catalizador.

Durante la reacción de craqueo, el coque producido es depositado sobre el catalizador circulante. Este catalizador toma el nombre de catalizador gastado. El catalizador se regenera por medio de una reacción de combustión con oxígeno. El aire suministrado por el Soplador Principal C-501, provee el oxígeno necesario para la reacción de combustión que toma lugar en el Regenerador. El catalizador entra por el distribuidor de catalizador gastado y llega hasta el fondo del pozo de rebose. El catalizador regenerado debido a la reacción con el oxígeno presente en el aire es mantenido en estado fluidizado por medio de una inyección de aire de planta. Finalmente, el producto obtenido pasa a las secciones de Fraccionamiento, Gases de Cima y Compresión,

Recuperación de Gases y Tratamiento con DEA para culminar la refinación y recuperación de productos valiosos.

El problema que detiene el rendimiento (relación producción/carga alimentada) de esta unidad son; la cantidad de la carga, la calidad de la carga (residuos) y la temperatura, puesto están íntimamente ligadas. La calidad de la carga está definida previamente y no se tomará como variable de operación. Por otra parte, la cantidad y la temperatura se estudiarán en el presente trabajo, el cual basa la posibilidad de procesar Nafta en el Riser del Reactor R-520 de la URC Orthoflow de forma continua con el objeto de lograr aumentar el procesamiento de cargas más pesadas en la unidad. Se procederá a evaluar la afinidad de la Nafta para disminuir la temperatura en la fase densa y diluida del Regenerador, aumentar la volatilidad de los residuos y poder incrementar la cantidad cargada de DMO, mejorar el recobro de productos valiosos y lograr un mayor control del balance térmico del convertidor y a la vez incrementar los rendimientos de la planta.

## **2. Estado del Arte**

Debido a la importancia que tienen las URC en la transformación de las cargas en productos valiosos, se han llevado a cabo varios trabajos en los que se evalúan la influencia de diferentes parámetros operacionales. Por ejemplo, la empresa Grace (Dariusz S., 2010) desarrolló modelos capaces de predecir los rendimientos como una función de la carga alimentada (VGO y ATR) a una unidad URC. Además, propuso varias correlaciones para la predicción de las propiedades fisicoquímicas de las cargas; información que fue usada para calcular la cantidad de cada

componente en la mezcla alimentada. También, analizaron el efecto de la composición de la carga, sus contaminantes y la producción de coque (producto carbonáceo altamente combustible e inhibidor) y en el balance de calor, el cual se considera el parámetro más importante para controlar el proceso. Con esta información, los ingenieros y operadores de la URC pueden aumentar las cargas en las mezclas de alimentación a la URC para maximizar los rendimientos de productos útiles tales como; Nafta y ALC, el rendimiento del catalizador y en última instancia obtener beneficios económicos.

Neri Gomez estudió el efecto de las variables de operación (proporción de la mezcla y la temperatura de reacción) al procesar crudo no convencional tipo shale oil y/o mezclas con Gasóleos de Vacío convencionales e hidrotratados en las unidades de desintegración catalítica FCC, empleando el software Aspen HYSYS CatCracker® V. 11, se hicieron dos casos de estudio en el primero; mostraron resultados con una mayor conversión a gasolina en cada unidad FCC siendo de 73.7% vol. para la unidad FCC-I y de 75.9% vol. para la unidad FCC-II, con respecto a la carga alimentada. En el segundo caso, se varió la temperatura de reacción en el intervalo de 490°C a 530°C. La máxima temperatura de operación es de 525°C para la unidad FCC-I, y 530°C para la unidad FCC-II, ya que a temperaturas mayores de 530°C se alcanza la sobre-desintegración provocando una disminución en el rendimiento de gasolina y un incremento en la producción de Gas LP (Neri G., 2022).

Por otro lado, Flores (Flores Q., 2016), basó su proyecto en la implementación del software comercial Aspen HYSYS V8.8, para simular el proceso de Ruptura Catalítica de una unidad FCC de la Refinería Gral. Lazaro Cardenas de Minatitlan, Veracruz enfatizando en la sección de reacción y en la separación de los productos deseados, todo para obtener las condiciones ideales de operación y control de los parámetros de operación.

Actualmente en la refinería de Barrancabermeja en la unidad de craqueo catalítico UOP II, se tiene como postulado la inyección de cierta cantidad de Nafta sobre la carga tratada como método empírico, bajo el hecho que esta tiene afinidad y la capacidad de interactuar con el catalizador, proporcionando mayores rendimientos de producción. Este postulado se lleva a la práctica, pero sus resultados no se han medido de forma eficiente. De aquí la necesidad de resolver el enigma bajo la virtualización del escenario y proponer evidencias sólidas de la alternativa.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General**

Evaluar mediante simulación realizada en Aspen HYSYS el sistema de reacción - regeneración del equipo R-520 de la Unidad Cracking Orthoflow, el efecto de incluir una corriente de Nafta en la carga de la unidad.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

Determinar las condiciones normales de operación de las principales variables que intervienen en el sistema de reacción-regeneración (R-520) de la Unidad de Ruptura Catalítica (URC) Orthoflow.

Evaluar el balance térmico del Reactor Regenerador R-520 al inyectar Nafta en la carga y su efecto en la circulación de catalizador mediante la simulación de la Unidad de Ruptura Catalítica (URC) Orthoflow realizada en el Software Aspen HYSYS.

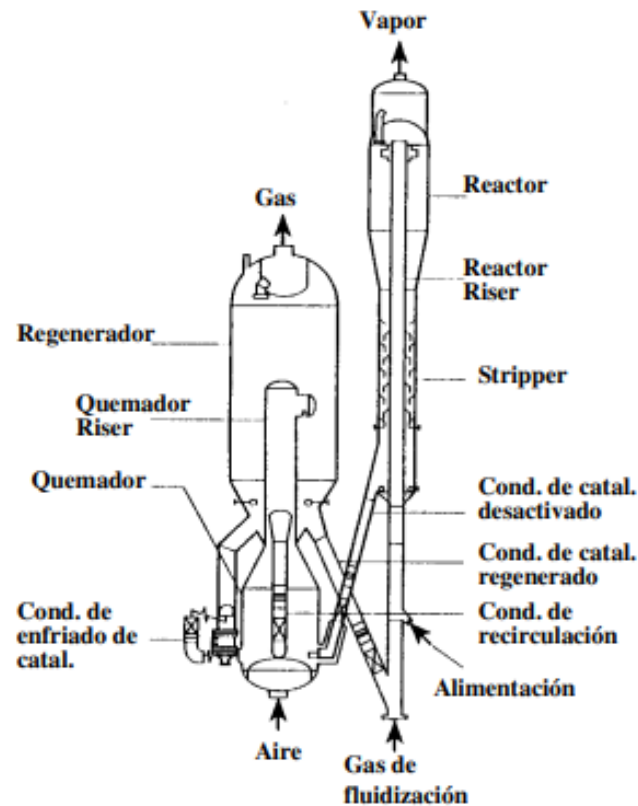
Evaluar el balance volumétrico de productos del Reactor Regenerador R-520 al inyectar Nafta en la carga mediante la simulación de la Unidad de Ruptura Catalítica (URC) Orthoflow realizada en el Software Aspen HYSYS.

## **4. Marco Teórico**

### **4.1 Operación ruptura catalítica**

Los procesos de ruptura catalítica, como se mencionó anteriormente, son muy versátiles y las unidades comerciales pueden ser operadas en diferentes modos, en función de las necesidades de la planta y las demandas actuales del mercado. Se puede operar el sistema de tres modos principales: para maximizar la producción de gasolina, la generación de olefinas livianas o la producción de destilados medios (Gates, Katzer, & Schuit, 1979). Actualmente, es notorio el incremento del procesamiento de residuos agregados a las alimentaciones convencionales o incluso puros (Vogt & Weckhuysen, 2015). En función de estos modos, los parámetros operativos propios de cada unidad tienen características bien definidas. El catalizador empleado es, sin duda uno de los puntos más importantes en la generación optimizada de productos, por lo cual debe ser diseñado específicamente en función del proceso y los objetivos particulares de la refinería. En la

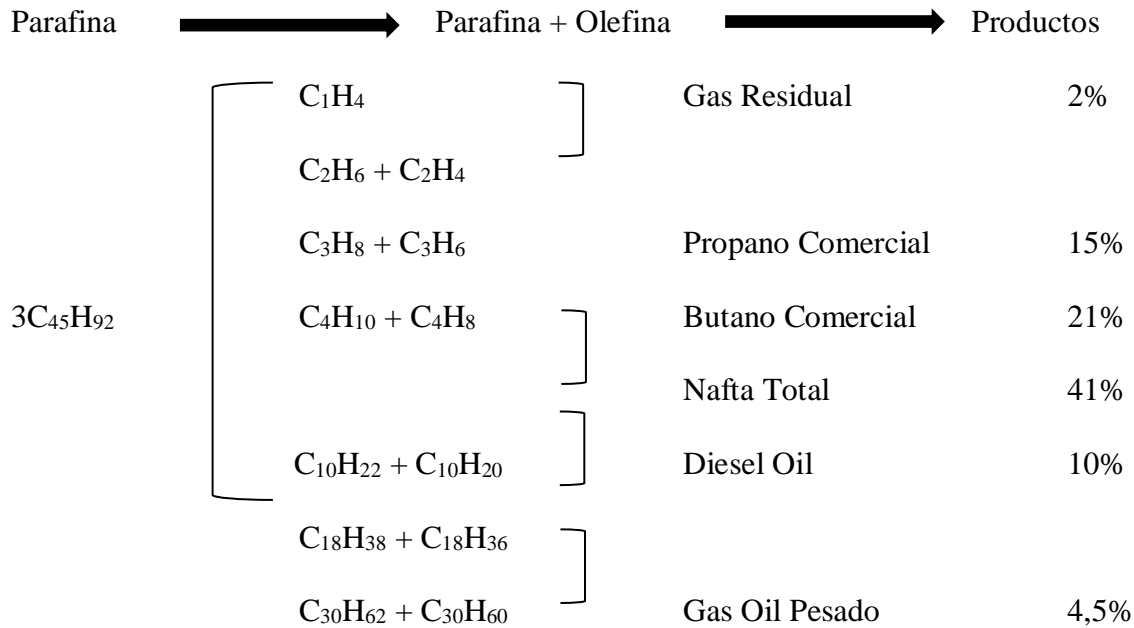
actualidad, los catalizadores empleados son hechos “a medida” y cualquier modificación que genere una pequeña mejora en la producción puede lograr grandes beneficios económicos debido a la magnitud de los volúmenes procesados. Como se mencionó, en general, el corte a craquear en el proceso FCC es Gasóleo de Vacío, VGO. Pero la creciente necesidad de procesar crudos más pesados, con pesos moleculares mayores y propiedades fluidodinámicas menos adecuadas, generan en los distintos elementos que componen el proceso (hardware, catalizador, operación, etc.) la necesidad de adaptarse a estos cambios o requerir nuevas tecnologías y/o recursos (VOORHIES, 1945). De hecho, existen tecnologías desarrolladas exclusivamente para procesar residuos (Yoo, Bhattacharyya, Radlowski, & Karsh, 1992), aunque se menciona incluso que podría llegar a ser necesaria una reconfiguración general de las refinerías. El proceso se caracteriza por ser continuo, donde el catalizador se pone en contacto con la alimentación en la base del Reactor Riser. El catalizador, cuyas partículas tienen un tamaño promedio de 70  $\mu\text{m}$ , circula entre el Reactor Riser y un Regenerador. El proceso, que se esquematiza en la Figura 4, podría resumirse en las siguientes etapas:

**Figura 4.***Unidad Típica de Ruptura Catalítica*

*Nota.* Tomado de: Manual de operación Unidad Orthoflow (GRB)

- El catalizador regenerado a alta temperatura (aproximadamente  $700^{\circ}\text{C}/1.292^{\circ}\text{F}$ ) ingresa por la parte inferior del Reactor Riser (lecho fluidizado de transporte, diluído), junto con la alimentación precalentada aproximadamente  $250^{\circ}\text{C}/482^{\circ}\text{F}$  (Venuto & Habib, 1979) .
- Debido al contacto con el catalizador caliente, se produce la vaporización, craqueo inicial de la alimentación y fuerte aumento en el caudal volumétrico, con el consiguiente arrastre ascendente del catalizador a lo largo del Reactor, cuya temperatura varía entre aproximadamente  $500^{\circ}\text{C}/932^{\circ}\text{F}$  y  $550^{\circ}\text{C}/1.022^{\circ}\text{F}$ .

• Durante dicho ascenso continúan las reacciones de craqueo las cuales son principalmente (Diawakar Z., 2011):



Generándose múltiples productos, incluyendo el coque que se deposita sobre el catalizador, desactivándolo. El tiempo de reacción es en general menor a 10s.

- En la parte superior del Reactor, el catalizador es separado del reactivo y los productos formados por medio de una batería de ciclones.
- Para recuperar la mayor cantidad de productos posibles, se produce una desorción de los hidrocarburos adsorbidos en el catalizador (stripping) para evitar su quema en el Regenerador. Lo anterior se logra inyectando vapor en contracorriente en un dispositivo (stripper, lecho fluidizado de fase densa) que asegura un cierto tiempo de residencia (generalmente entre uno y dos minutos) favoreciendo el arrastre de los hidrocarburos (Carrillo M., 1987).
- El catalizador desactivado ingresa al Regenerador, un lecho fluidizado denso, con tiempos de residencia del orden de 5 a 10 y condiciones severas para el catalizador: temperaturas superiores a  $700^{\circ}C/1.292^{\circ}F$  y presencia de vapor de agua. En estas condiciones, el coque

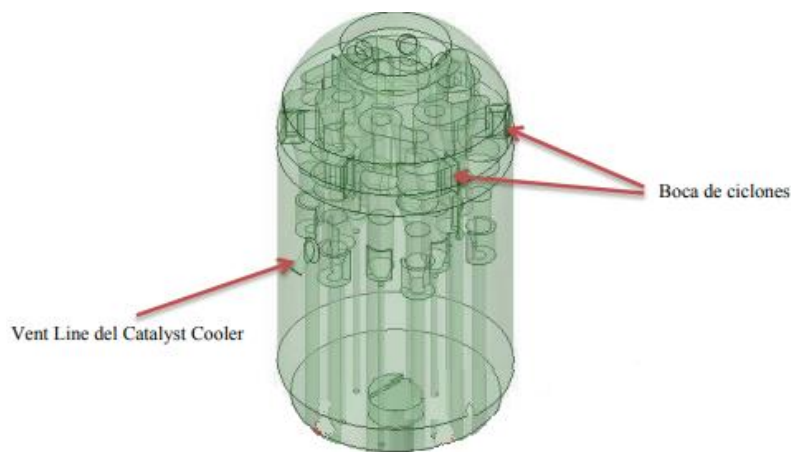
depositado sobre el catalizador se quema, quedando el catalizador en condiciones de ser usado nuevamente en el Reactor Riser y reanudar la operación cíclica (Carberry, 2000).

## 4.2 Ciclones

Es un sistema de distribución de gas (aire) necesario para la combustión catalítica, cuya función es separar el gas de combustión del catalizador, básicamente son seis tubos unidos por un anillo, Figura 5.

### Figura 5.

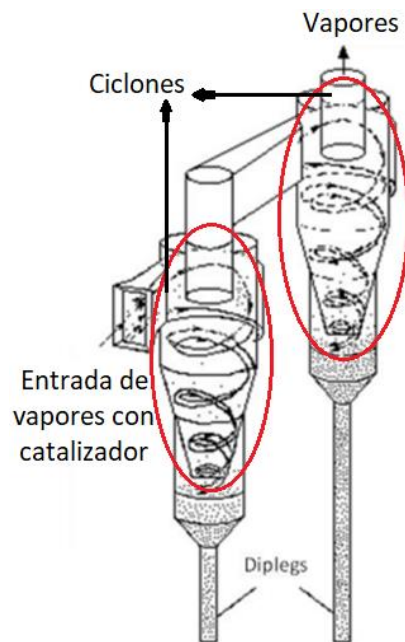
*Sección del sistema de distribución de gas.*



Dentro de estos tubos se encuentran otras secciones de ramal en forma de espiral, cuya función es captar la mayor cantidad de catalizador gastado por el movimiento concéntrico que ejerce el vapor sobre la superficie de los ciclones como se puede ver en la Figura 6, a continuación.

**Figura 6.**

*Vista esquemática de los ciclones.*



Los ciclones son una de las secciones delicadas en la operación de craqueo catalítico, debido a que tienen que soportar grandes temperaturas ( $700\text{ }^{\circ}\text{C}/1.292^{\circ}\text{F}$ ) y al estar sobre estos los lazos de control en medición de temperaturas de reacción y de regeneración. (Pereiras, Marcelas, & Ravicule, 2017)

### 4.3 Catalizador del proceso.

El catalizador de craqueo fluidizado es un polvo fino y poroso compuesto de óxidos de silicio y aluminio. Otros elementos pueden estar presentes en muy pequeñas cantidades, los catalizadores contienen sodio y generalmente tierras raras. Los catalizadores están formados por partículas esféricas en un rango de tamaño extremadamente pequeños y normalmente están

disponibles en grados tipo fino, mediano y grueso. Estos grados poseen un tamaño promedio de partícula de 58, 64 y 72 micrones, respectivamente. Los catalizadores de craqueo fluidizado comprenden un número de componentes, cada uno de los cuales está diseñado para mejorar el comportamiento total del catalizador. Algunos de los componentes influyen en la actividad y selectividad del catalizador. Otros, afectan la integridad de la partícula del catalizador y las propiedades de retención del mismo. (Grace, 1996).

Componentes de los catalizadores de craqueo fluidizado.

- Zeolita: Componente catalítico primario para el craqueo selectivo. Las modificaciones de la zeolita afectan su actividad, selectividad y tiene un efecto en la calidad del producto.
- Matriz – activa: Sirve principalmente para reducir los fondos (generación de gas oíl pesado) de los productos de las unidades de craqueo fluidizado, debido al aumento del LCO y productos livianos. Tiene una pobre selectividad al coque y gas, comparado con la zeolita. Una selección apropiada de matriz - activa, disminuye cualquier efecto adverso como la pérdida de actividad y selectividad. (Grace, 1996).
- Arcilla y aglutinante: la arcilla es un componente importante que completa los requerimientos restantes para el comportamiento de las partículas del catalizador (proporciona la fuerza mecánica y la densidad para lograr sus optimas propiedades de fluidización). La arcilla sirve como un receptor y medio de transferencia de calor. También sirve como un receptor para el sodio, mejorando la resistencia al envenenamiento por sodio del catalizador. Por otra parte, el aglutinante (polímeros de alúmina) es el pegamento que mantiene unido todos los componentes del catalizador (zeolita, arcilla y matriz activa) y mantiene la integridad física (Breck, 1974)

#### *4.3.1 Contaminantes que afectan el desempeño catalítico*

Coque: El coque es un material compuesto generalmente por carbono puro, es el combustible que permite atender todos los requerimientos de energía del proceso. Desafortunadamente, el coque disminuye la actividad del catalizador esencialmente porque bloquea ácidos (activos) del catalizador y taponan sus poros.

Vanadio: El vanadio es particularmente dañino para el comportamiento del catalizador, debido a que lo desactiva y causa el rendimiento de subproductos que lo deterioran. Se cree que se forma el ácido vanádico de los óxidos, el cual es un ácido fuerte que puede destruir la zeolita por la hidrólisis de la estructura (Grace, 1996).

Alcalinización y metales de tierras alcalinas: todos los metales de tierras alcalinas son perjudiciales para el catalizador de craqueo. El sodio es el más abundante de estos contaminantes en los crudos y el más nocivo. Afortunadamente, este es removido del crudo que procesan la mayoría de las refinerías, mediante operaciones eficientes de desalación.

Níquel: el níquel es un catalizador de deshidrogenación fuerte; cerca de cuatro veces más fuerte que el vanadio. No causa una disminución en la actividad del catalizador. Cualquier aumento de la cantidad de níquel en la carga es rápidamente vista por su efecto sobre el comportamiento de la Unidad de craqueo fluidizado. El elevado rendimiento hacia hidrógeno y el balance de calor de la unidad se ve afectado adversamente por el aumento del níquel.

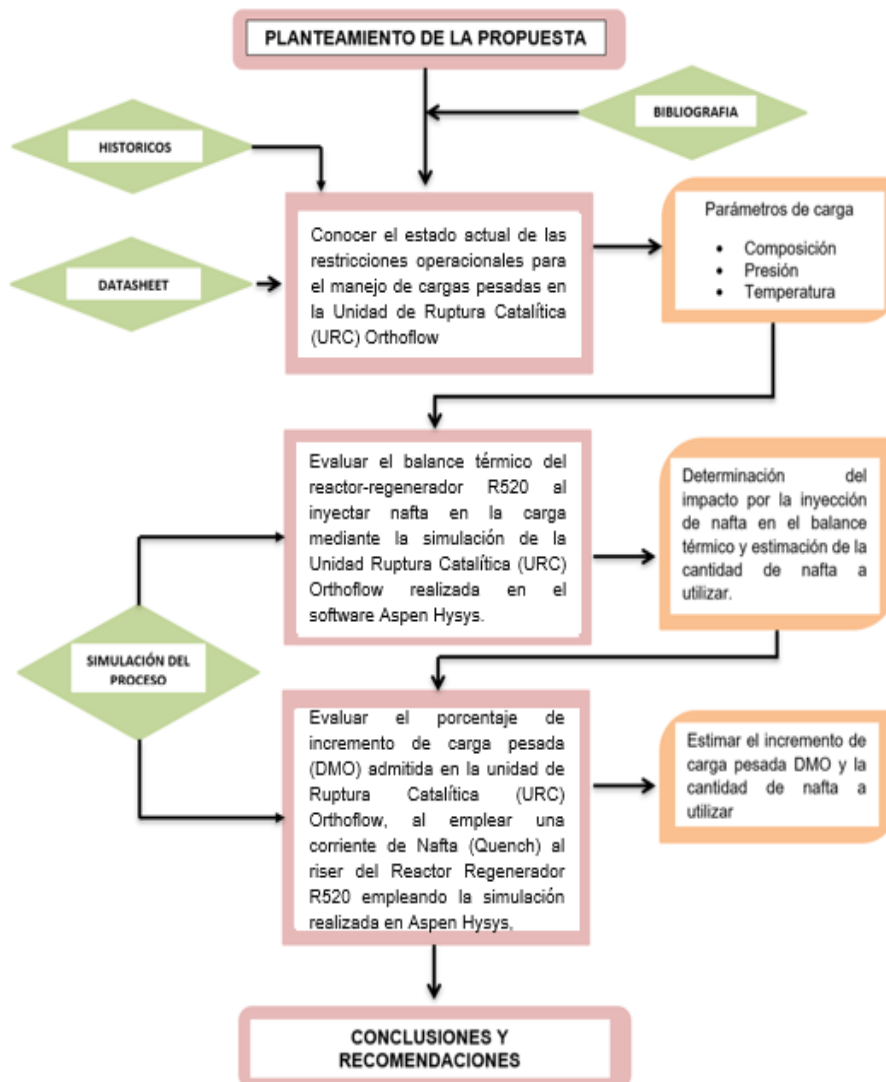
Azufre: el azufre no tiene efecto sobre el comportamiento del catalizador de craqueo fluidizado, puede causar corrosión de los equipos de procesamiento en la refinería y serios problemas atmosféricos (gas de chimenea como  $\text{SO}_x$ ), en el gas combustible de la refinería como  $\text{H}_2\text{S}$  y todos los productos de craqueo catalítico (Grace, 1996).

## 5. Metodología

El modelo metodológico para el desarrollo del proyecto se presenta en la Figura 7, a continuación:

**Figura 7.**

*Esquema Metodológico*



El esquema anterior abarcó los tres objetivos específicos los cuales se procederá a explicar los medios necesarios que conllevaron a su realización

Como objetivo general, se estudió la factibilidad técnica de inyectar Nafta al irse de la sección de catálisis de La Unidad de Ruptura Catalítica (URC) Orthoflow, se evaluó mediante el análisis computacional empleando el software Aspen HYSYS V 10, el impacto en el balance térmico de dicha inyección y el porcentaje del incremento de carga pesada con respecto a los rendimientos de los productos obtenidos en la unidad.

### **5.1 Determinar las condiciones normales de operación en el sistema de reacción-regeneración (R-520) de la Unidad de Ruptura Catalítica (URC) Orthoflow.**

Se determinaron los valores comunes de operación de las principales variables, calidad y caracterización de las dietas de la unidad, caracterización del catalizador de circulante, las restricciones (Ventanas operativas) sobre los límites de temperatura y presión que soporta el sistema en el proceso de reacción-regeneración llevado a cabo en el R-520 y que están asociados a los límites de diseños de construcción del Reactor R-520 (integridad mecánica de los ciclones internos)

**Tabla 1.**

*Condiciones estudiadas de la operación*

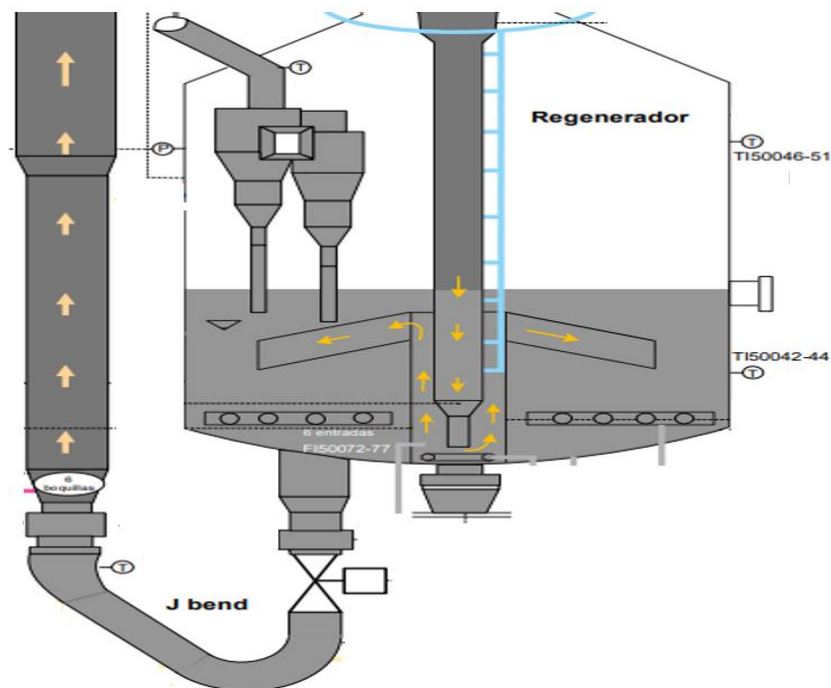
<b>Parámetros</b>	<b>Variables estudiadas</b>
Carga	Composición
	Contaminantes
Temperatura	Temperatura de reacción
	Temperatura fase densa

Parámetros	Variables estudiadas
	Temperatura fase líquida
Catalizador	Composición
	Estructura (ECAT)

Los valores normales de operación se establecieron a partir de los datos históricos operacionales del sistema durante el periodo de tiempo comprendido entre el 01/01/2021 al 19/10/2021, último periodo de operación continua de la unidad. De estos valores históricos, que reposan en la base de datos de la refinería (PI) y la base Refinery Information System (RIS), se establecieron los valores típicos de temperatura en la fase densa (alta concentración de catalizador) a través de la lectura de los indicadores de temperatura TI-50042 - TI-50044, y en la fase diluida (baja concentración de catalizador) por medio de los indicadores de temperatura TI-50046 - TI-50051, ver Figura 8, los cuales son los encargados de monitorear en tiempo real el balance térmico del Regenerador. De igual manera se obtuvieron datos promedio de operación de otras variables como cargas, flujo de aire de combustión, flujo vapor de despojo, presión de operación, entre otras variables de interés.

**Figura 8.**

*Medidores de Temperatura.*



*Nota.* Tomado de: Manual de operación Unidad Orthoflow (GRB)

Adicionalmente, se recolectaron datos de caracterización de las corrientes (Gasóleo, DMO, Nafta entre otras), mediante el sistema de información de laboratorio industrial privado de la refinería de Barrancabermeja (inspección de calidad Lab view). Para los datos de diseño del sistema de reacción-regeneración R-520 se consultaron manuales y hojas de datos de los equipos unidad (Datasheet ) que permitieron establecer el origen y valor de los límites de diseño para mantener la integridad física del equipo, siendo estos límites las restricciones que limitan la cantidad de carga suministrada a la unidad. Se investigaron en fuentes bibliográficas metodologías para el modelamiento en Aspen HYSYS V10 de unidades FCC, donde se empleó el módulo especializado de Reactor FCC (Cracking Catalítico fluidizado) para el modelamiento de nuestro sistema.

Toda la información recopilada se consolidó en una matriz de Excel, que se usó como base de datos para la realización, validación y análisis de sensibilidad de los casos de estudios realizados en la simulación del R-520 en Aspen HYSYS.

## **5.2 Evaluar el balance térmico del Reactor Regenerador R-520 al inyectar Nafta en la carga mediante la simulación de la Unidad de Ruptura Catalítica (URC) Orthoflow realizada en el Software Aspen HYSYS.**

Para la simulación del sistema de reacción - Regenerador del Reactor R-520 se empleó el paquete termodinámico Peng Robinson recomendado para sistemas que manejan hidrocarburos. Por otra parte, para la cinética de la reacción se selecciona la configuración de selectividad estándar incluida en el modulo Reactor FCC (Modelo Reactor Craqueo catalitico fluidizado), donde se definian por defecto parámetros asociados a la cinetica de la reacción de craqueo como: factor de desactivación catalitica; área superficial de catálisis; factor cinético de actividad a coque; entre otros. Los campos del Reactor referente a las propiedades fisicoquimicas del catalizador se llenaron a partir de los últimos valores de caracterización realizados en el laboratorio para el catalizador de equilibrio de la unidad (ECAT).

Finalmente se estableció como criterio de aceptación para la simulación que los resultados reportados con respecto a los valores operacionales actuales presentaran una desviación inferior a la desviación estándar de los históricos para el periodo de estudio seleccionado.

### **5.3 Evaluar el balance volumétrico de productos del Reactor Regenerador R-520 al inyectar Nafta en la carga mediante la simulación de la Unidad de Ruptura Catalítica (URC) Orthoflow realizada en el Software Aspen HYSYS.**

La estimación del balance volumétrico de productos del Reactor Regenerador R-520 al inyectar Nafta en la carga se realizó a partir de la simulación. Para esta evaluación se usaron las condiciones promedio de operación del periodo de estudio seleccionado y se evalúa el cambio en la producción y rendimientos volumétricos de los productos de la unidad para distintos flujos de Nafta a la carga de la unidad.

## **6. Resultados**

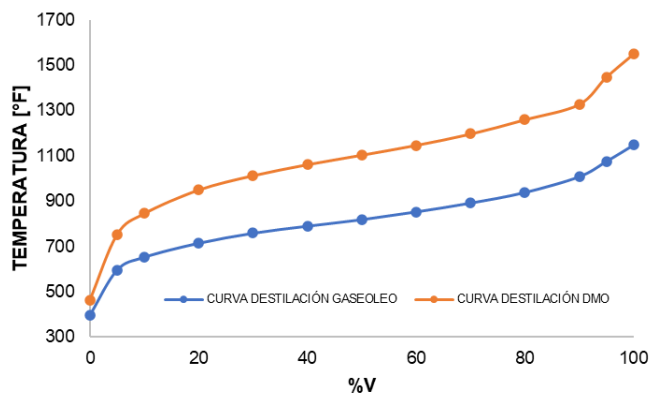
### **6.1 Caracterización de la operación del sistema de reacción-regeneración (R-520) de la Unidad de Ruptura Catalítica (URC) Orthoflow.**

En el sistema de reacción-regeneración de una unidad de craqueo catalítico existen muchas variables a controlar con el fin de mantener la adecuada operación de este sistema. Una de las principales variables de las cuales depende la estabilidad del sistema de reacción (conversión a productos valiosos, acumulación de carbón en el catalizador, balance térmico del sistema reacción-regeneración) es la calidad de la dieta (carga a la unidad). En la Figura 9 se pueden observar los valores promedio de la curva de destilación de caracterización y en la Tabla 2 el contenido de los

principales contaminantes de las dos corrientes que alimentan la unidad Cracking Orthoflow (Gasóleo y DMO) para el periodo de estudio seleccionado.

**Figura 9.**

*Destilación de caracterización de cargas de la unidad Orthoflow.*



**Tabla 2.**

*Caracterización de cargas de la unidad Orthoflow*

Propiedades carga unidad Cracking Orthoflow		
	GAO	DMO
Azufrados (% m/m)	1,09	1,27
Aromáticos (% m/m)	21	23
Nitrogenados (% m/m)	0,1909	0,2959
Vanadio (% m/m)	0,000249	0,001313
Carbon Conradson (% m/m)	0,6	5,7
Nitrógeno Básico (% m/m)	0,046	0,089
Niquel (% m/m)	0,000127	0,000856
Sodio (% m/m)	0,001386	0,000824
Hierro (% m/m)	0,0001293	0,0001268

De la curva de caracterización es de destacar que el DMO presentó puntos normales de ebullición considerablemente mayores a la corriente de Gasóleo durante el periodo de estudio, con

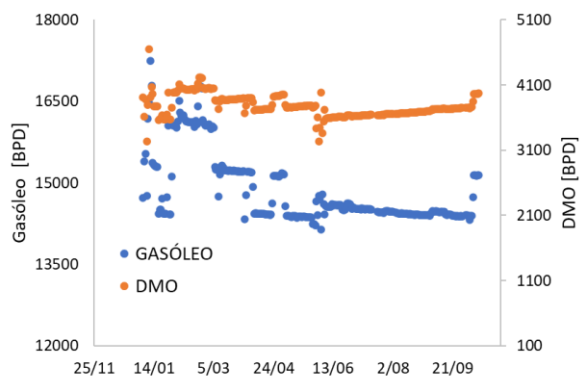
un punto inicial (IBP) y final de ebullición (FBP) de 460 y 1.550°F (237 y 843°C) respectivamente, valores que se encuentran alrededor de 65 y 403°F (18 y 206°C) por encima del IBP y FBP de la corriente de Gasóleo respectivamente. El alto punto final de ebullición se correlaciona directamente con la naturaleza pesada de esta corriente que se ve reflejado en un alto contenido de Carbón Conradson (5,7 %m/m) el cual es un claro indicativo de la afinidad de esta corriente para depositar y facilitar la formación de coque en la superficie del catalizador.

A continuación, en las Figuras 10 se presentan los datos históricos promedio día para las variables de flujo de carga de la unidad, temperatura de fase densa y diluida para el periodo de estudio definido.

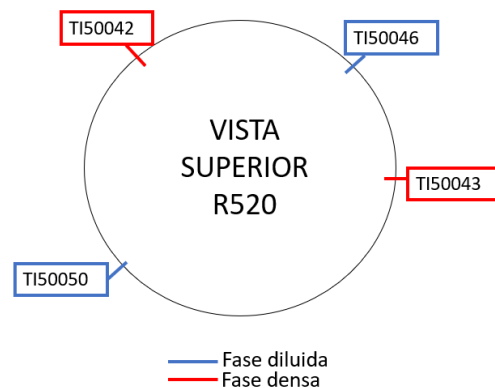
**Figura 10.**

*Variables operativas del sistema de reacción-regeneración cracking Orthoflow*

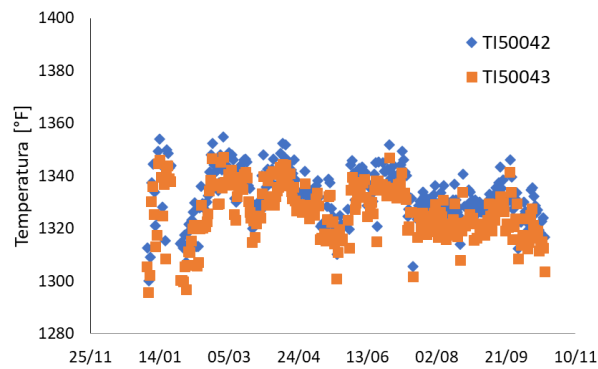
a) Carga a la unidad Orthoflow.



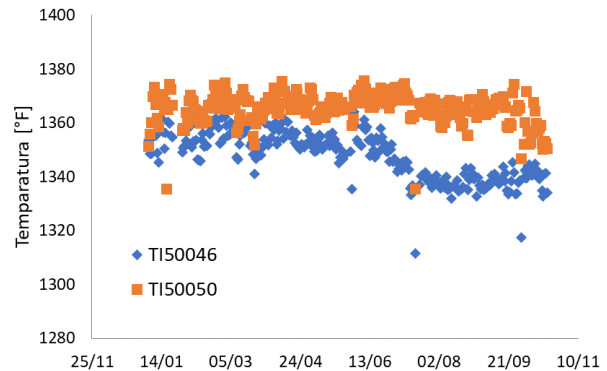
b) Ubicación indicadores temperatura R-520



c) Temperatura fase densa Regenerador.



d) Temperatura fase diluida Regenerador.



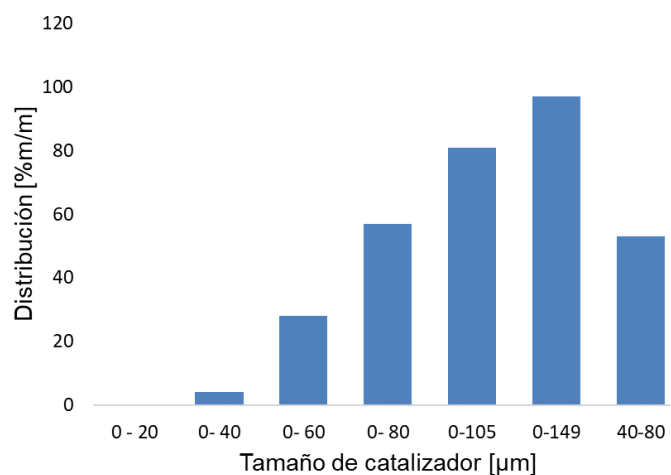
Como se presenta en la Figura 10 a, la unidad Orthoflow durante el periodo de estudio mantuvo en su dieta una corriente de alrededor de 3.697 barriles por día (BPD) de DMO, esto con el fin de mantener el balance térmico entre el Reactor y Regenerador.

La Figura 10 b nos indica la ubicación espacial en el Regenerador de los indicadores de temperatura de la fase densa y diluida referenciados en las Figuras 10 c y d, donde los indicadores de temperatura de la fase diluida registraron valores de temperaturas muy aproximadas entre si a pesar de encontrarse equiespaciados a  $180^\circ$ , demostrando la uniformidad de la distribución del catalizador en lecho fluidizado del Regenerador. Por otra parte, se puede observar en las Figura 10 c y d que la unidad Orthoflow mantuvo dentro de los límites operativos la temperatura que se puede alcanzar en la etapa de regeneración de catalizador (temperatura fase densa y fase diluida) en el periodo de tiempo de estudio. La ventana operativa superior está asociada a mantener la integridad mecánica de las partes internas del Regenerador (Ciclones), por lo cual corresponde a su temperatura de diseño  $1.365^\circ\text{F}/740^\circ\text{C}$  (ECOPETROL S.A., s.f.). Por otra parte, la ventana operativa inferior está asociada con el requerimiento energético del sistema de regeneración para llevar a cabo la combustión completa del coque depositado en el catalizador  $1.280^\circ\text{F}/693^\circ\text{C}$  (ECOPETROL S.A., s.f.). En las Figuras 10 c y d también se muestran las tendencias de

temperatura de la fase densa (cama fluidizada de catalizador) y fase diluida (Entrada a los ciclones) del Regenerador con un valor promedio 1.319 y 1.332°F (715 y 722°C) respectivamente para el periodo de tiempo de estudio, encontrándose en muchos casos que el sistema presentó valores de temperatura cercanos a la ventana operativa superior, siendo este parámetro de temperatura la mayor limitante para el aumento de carga pesada y de menor valor económico (DMO) a la unidad.

**Figura 11.**

*Distribución de partícula catalizador de la unidad de ruptura catalítica Orthoflow (ECAT).*



**Tabla 3.**

*Caracterización catalizador de equilibrio (ECAT) y Condiciones de Operación.*

ECAT		OPERACIONALES	
MAT [% m/m]	65	<b>PRESIÓN [Psig]</b>	
Total SA [m <sup>2</sup> /g]	110	Reactor	12,41
Ni + V [ppm]	175	Regenerador	16,11
Na [%m/m]	0,29	Temperatura Riser [°F]	970
RE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%m/m]	3,68	<b>VAPOR DESPOJO</b>	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%m/m]	52,3	Flujo [Lb/h]	8346
Cu [ppm]	29	Temperatura [°F]	450
Fe [% m/m]	0,53		

ECAT		OPERACIONALES	
Carbón[% m/m]	0,07	Presión [Psig]	50
Pore vol [cc/g]	0,35	Aire [MMSCFD]	87,33

Otro de los parámetros importantes para la adecuada operación de sistema reacción-regeneración es la calidad del catalizador circulante (catalizador de equilibrio ECAT), actualmente para el seguimiento de la calidad del catalizador en equilibrio se realizan análisis ECAT con una frecuencia aproximada de 1 vez cada 2 meses. En la Tabla 3 se muestran los principales parámetros obtenidos de la última caracterización (13/junio/2022) del catalizador en circulación de la unidad.

En la Figura 11 se presenta la distribución de tamaño de partícula actual obtenida a partir del último análisis ECAT, encontramos que en el lecho fluidizado del Regenerador se encuentran alrededor de un 5 % m/m (masa) de catalizador con un tamaño entre 0-40  $\mu\text{m}$  lo que indica el adecuado perfil de velocidad y correcta retención de catalizador fino por parte de los ciclones, otro factor a resaltar es el bajo contenido de carbón (0,07 %m/m) indicativo de la regeneración de catalizador, los demás parámetros asociados al catalizador se encuentran en valores normales de operación (Tabla 2) lo cual infiere la ausencia de daños de tipo mecánico (Caída ciclones, daños distribuidores de aire, fallas en boquillas de carga entre otros) que pudiesen haber causado desviaciones en la temperatura de fase densa y diluida del lecho catalítico durante el periodo de tiempo de estudio seleccionado. Por otra parte, la Tabla 1 también muestra valores promedios de algunas variables operacionales que impactan en menor magnitud que la condición de la carga y catalizador la operación del sistema reacción-regeneración (Vapor de despojo, presión, temperatura de reacción, aire de combustión).

Finalmente, se usaron los valores operacionales promedios obtenidos para el tiempo de estudio, junto a los valores del último ECAT realizado al catalizador de la unidad, como valores

de entrada para la realización de la simulación en Aspen HYSYS V10 del sistema de reacción-regeneración. La simulación presentada es del sistema de reacción R-520 empleando el módulo de Reactor FCC (Craqueo catalítico fluidizado), para los parámetros asociados a la cinética de la reacción de craqueo se selecciona la configuración de selectividad estándar incluida en el módulo Reactor FCC (Figura 12).

**Figura 12.**

*Simulación de sistema de reacción-regeneración cracking Orthoflow (R-520)*

The screenshot displays the Aspen HYSYS software interface for the Reactor Section configuration. The interface includes tabs for Design, Feed Data, Reactor Section, Fractionator, Worksheet, and Results. The Reactor Section is active, showing catalyst blend and composition, equilibrium catalyst, and calibration factor set (Standard).

**Reactor Section**

Feeds  
Catalyst Activity  
Riser/Reactor  
Regenerator  
Pressure Control  
Solver Options  
Solver Console  
Advanced  
EO Variables  
Presolve Commands  
Postsolve Commands

Base Catalyst Blend and Composition

Catalyst - 1	
Weight Fraction	1,0000
Zeolite	25,00
Alumina	52,30
Rare Earth	3,680

Catalyst Library...

Equilibrium Catalyst

Vanadium [ppmwt]	100,0
Nickel [ppmwt]	75,00
Sodium [ppmwt]	2900
Iron [ppmwt]	5300
Copper [ppmwt]	29,00
Equilibrium MAT [%]	65,00

Calibration Factor Set: Selectivity **Standard**

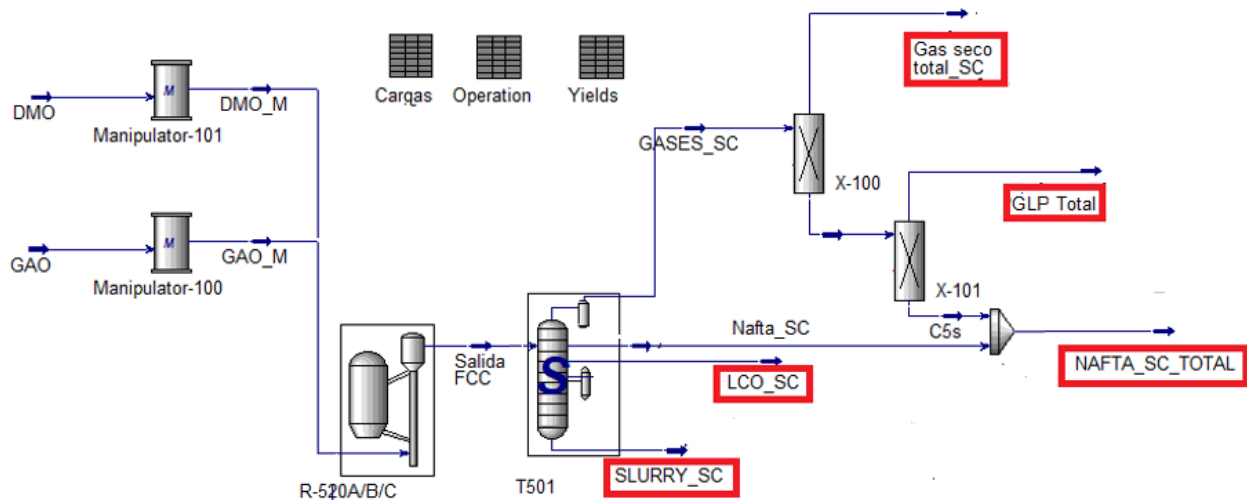
Reactor Section

Activity on Pathways to C Lump	1,552
Activity on Pathways to G Lump	0,9668
Activity on Pathways to L Lump	1,998
Metals Coke Activity	3,566e-004
Catalyst Deactivation Factor	2,169
Catalyst Surface Area Parameter	-20,97
Effluent per Mass of Catalyst into Stripper	132,3
Stripper Parameter	2,938
H to C Ratio for Coke	0,9224
Coke Burn Activity	15,22
CO Heterogeneous Burn Activity	-1,640
CO Homogeneous Burn Activity	11,81
Heat of Cracking Parameter	3,478e-002
Kinetic Coke Activity Factor	6,111e-002

En la Figura 13 se muestra la simulación del sistema de reacción-regeneración en el ambiente gráfico de Aspen HYSYS, donde se empleó el módulo splitter (X-100, X-101, T501) para separar de la corriente de salida del Reactor los productos de la unidad (gas seco, GLP, Nafta, ALC/LCO, slurry) según sus compuestos y respectivos cortes de puntos normales de ebullición (IBP y FBP).

**Figura 13.**

*Esquemático sistema de reacción-regeneración cracking Orthoflow (R-520)*



En la Tabla 2 se muestran los resultados de la validación la simulación comparando los resultados de las variables dependientes del sistema obtenidas por la simulación con los datos promedios de estas variables durante el tiempo de estudio, para las mismas variables independientes de entrada.

En la Tabla 4 se presentan los datos promedios registrados de la operación con su respectiva desviación estándar para el periodo de tiempo de estudio y los obtenidos a través de la simulación del sistema de reacción-regeneración. En esta tabla se observa que estos datos no presentan diferencias significativas, estableciendo como criterio de aceptación para la simulación que los resultados reportados con respecto a los operacionales actuales presentaran una desviación inferior a la desviación estándar de los históricos para el periodo de estudio seleccionado, donde todas las variables obtenidas a partir de la simulación se encontraron dentro de la desviación estándar

registrada para las variables durante el periodo de estudio, indicando la representatividad de la simulación para la evaluación de escenarios.

**Tabla 4.**

*Datos de operación del R-520 vs los datos obtenidos a través de Aspen HYSYS.*

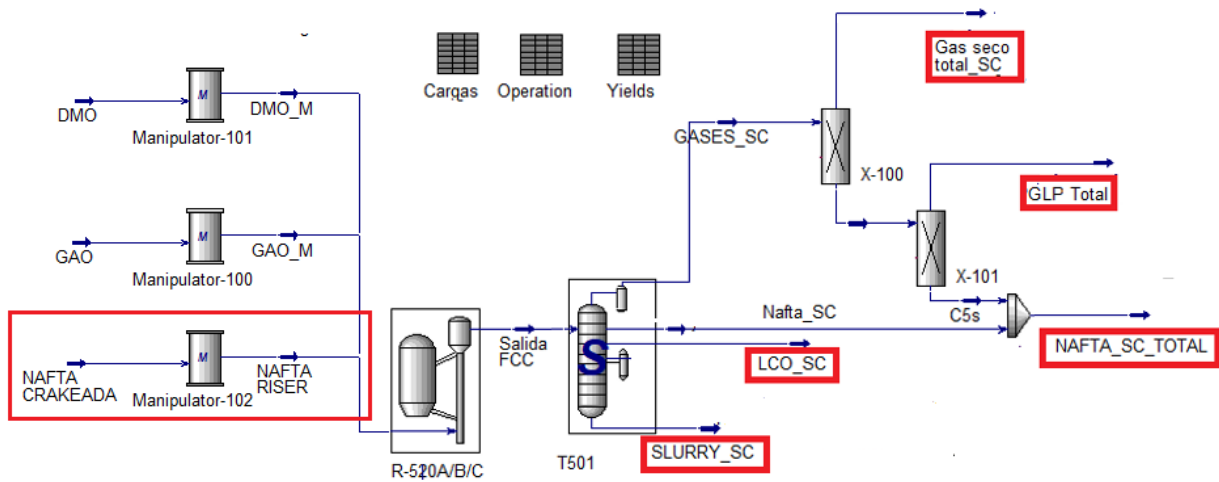
Parámetro	Carga combinada bpd	Rendimientos (%)				Temperatura (°f)	
		Slurry	Alc	Nafta	Glp	Fase densa	Fase diluida
	18640±787,20	8,38±	21,33±	57,19±	14,01±	1319,57±	1332,18±
		1,61	2,21	2,78	2,09	73,94	86,50
Datos simulación	18640	9,11	19,74	56,7	14,17	1337	1361
Desviación	0	8,01	8,06	0,87	1,12	1,30	2,11

## 6.2 Evaluación del balance térmico del Reactor Regenerador R-520 al inyectar Nafta en la carga y su efecto en la circulación de catalizador mediante la simulación de la Unidad de Ruptura Catalítica (URC) Orthoflow realizada en el Software Aspen HYSYS.

Para la evaluación del efecto térmico en el R-520 al inyectarle una corriente de Nafta al Risier, se le adiciona a la simulación del sistema una corriente de carga de Nafta (Figura 14).

**Figura 14.**

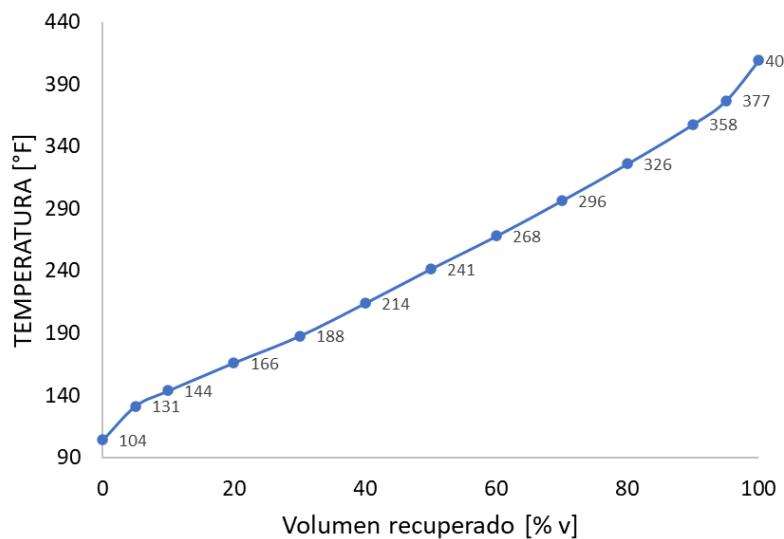
*Esquemática simulación R-520 con línea de inyección de Nafta.*



En la figura 15 se presenta la caracterización promedio de la corriente de Nafta producto de La unidad Orthoflow (Destilación), de la cual se realizaría una derivación para la inyección de Nafta propuesta al Riser del R-520.

**Figura 15.**

*Curva Destilación de Nafta empleada como corriente de carga*

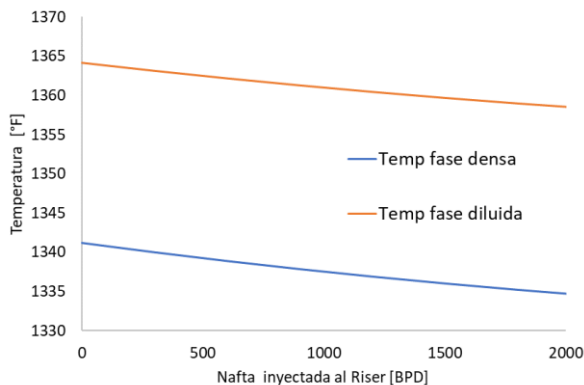
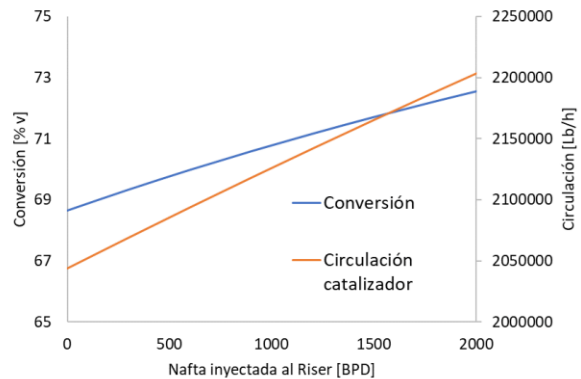
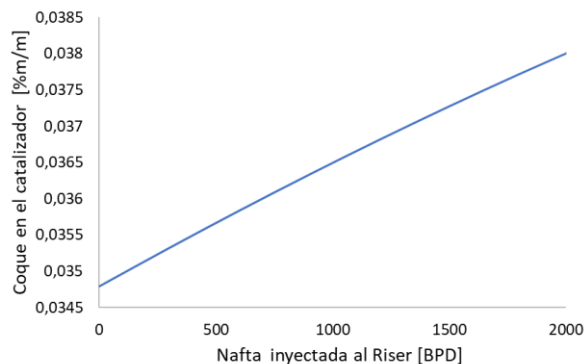
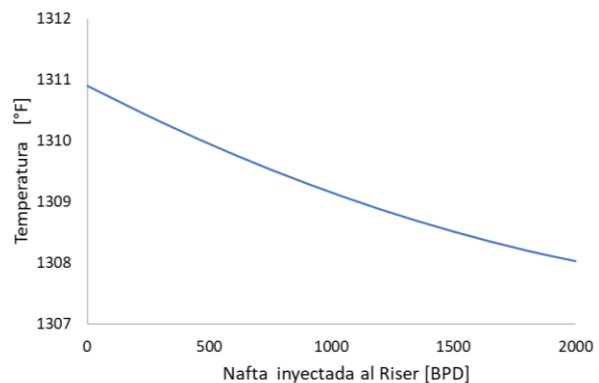


En la Figura 16 a se evidencia que la variación de la temperatura fase densa y diluida del Regenerador a medida que se aumenta el flujo de inyección de Nafta al Riser es inversamente proporcional, disminuyendo el perfil de temperatura del lecho fluidizado del Regenerador a medida que aumenta el flujo de Nafta al Riser, llegando a disminuir la temperatura de fase densa y diluida hasta 10°F para una inyección de Nafta de 2.000 BPD, lo que confirma la capacidad de la Nafta en la carga para disminuir la temperatura del Regenerador permitiendo aumentar la flexibilidad para el recibo de más carga pesada.

Por otra parte, otro efecto de bajar el perfil térmico del lecho catalítico del Regenerador (Cambio de balance térmico) es la necesidad del sistema de aumentar la circulación de catalizador hacia el Reactor para mantener la temperatura de reacción, este aumento de circulación de catalizador favorece el aumento de la conversión de la carga a productos valiosos Nafta y Aceite Liviano de Ciclo ALC (Figura 16 b). Sin embargo, el aumento de conversión también es consecuencia del mejoramiento de carga (producto valioso Nafta).

**Figura 16.**

*Variación del balance térmico del R-520 al inyectar una corriente Nafta como carga de la unidad Orthoflow.*

**a) Temperatura Regenerador R-520****b) Circulación de catalizador y conversión****c) Coque en catalizador del Regenerador****d) Temperatura gases combustión**

En la Figura 16 c se evidencia un aumento en la cantidad de coque remanente en el catalizador después de la etapa de regeneración que genera una leve disminución en la temperatura de los gases de combustión a la salida del Regenerador Figura 16 d. Este desmejoramiento en la etapa de regeneración es producto del aumento de circulación del catalizador el cual conlleva a reducir el tiempo de residencia en la etapa de combustión de coque del catalizador en el Regenerador. Sin embargo, el aumento de carbón en el Regenerador es despreciable por lo cual

no amerita ningún ajuste a variables operacionales como flujo de aire de combustión o vapor de despojo.

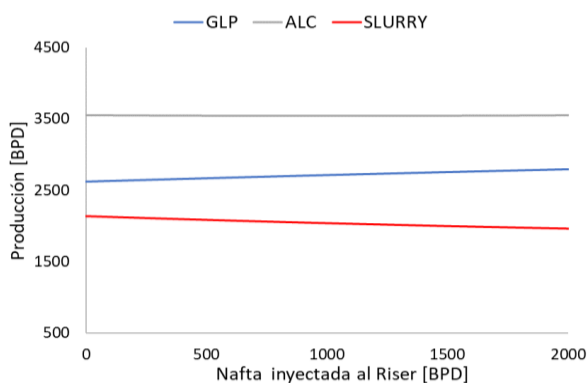
### 6.3 Evaluación del balance volumétrico de productos del Reactor Regenerador R-520 al inyectar Nafta en la carga mediante la simulación de la Unidad de Ruptura Catalítica (URC) Orthoflow realizada en el Software Aspen HYSYS.

En la Figura 17 se presenta la variación de las corrientes producto de la unidad Cracking Orthoflow al inyectar una corriente de Nafta al Riser.

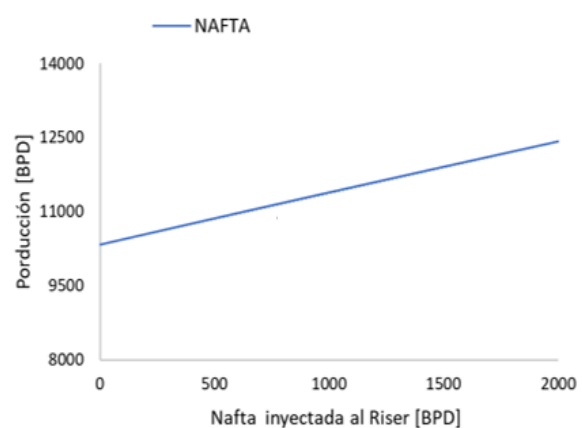
**Figura 17.**

*Variación del balance volumétrico de productos del R-520 al inyectar una corriente Nafta como carga de la unidad Orthoflow.*

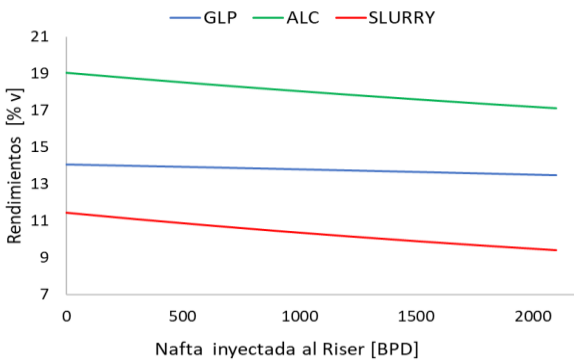
**a) Producción GLP, ALC, Slurry**



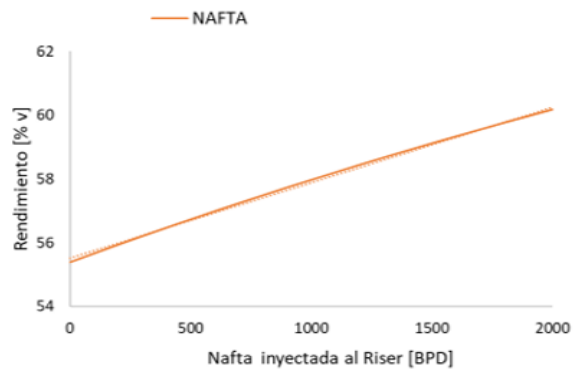
**b) Producción Nafta.**



c) Rendimiento GLP, ALC, Slurry



d) Rendimiento Nafta.



En la Figura 17 a) se observa como la producción de las corrientes de los productos de mayor peso molecular (ALC, Slurry) decrecen a medida que aumenta la corriente de Nafta a la carga. No obstante, se evidencia un aumento en la producción de productos de menor peso molecular (GLP, Nafta) destacando un incremento considerable en la generación de Nafta con un factor de aumento aproximado de 1,0456 BPD de Nafta producto por 1,0 BPD de Nafta en la carga (Figura 17 b). Por otra parte, la figura 17 c y d evidencia que el sistema de reacción R-520 aumenta la selectividad hacia la generación de Nafta cuando se adiciona una corriente de Nafta en la carga con un aumento en el rendimiento de esta a razón de 0,0024 %v por BPD de Nafta en la carga, al tiempo que se aprecia disminución en el rendimiento de los otros productos de la unidad (GLP, ALC, slurry).

Los resultados presentados a partir del análisis de sensibilidad realizado a la simulación del R-520 nos permite evidenciar que es posible disminuir la temperatura del perfil térmico del Regenerador a partir de la recirculación de Nafta producto de la unidad a la carga. La construcción de las facilidades de recirculación de Nafta nos permite mantener en control la temperatura del lecho catalítico cuando las corrientes de carga (Gasóleo o DMO) se encuentren con alto contenido de carbón conradson aumentando en gran medida la flexibilidad de la refinería de Barrancabermeja

para manejar el inventario de Gasóleo fuera de especificación sin afectar el rendimiento económico de las unidades de craqueo catalítico. Por otra parte, permite aumentar el flujo de DMO a la unidad sin comprometer la integridad mecánica del Regenerador aumentando el rendimiento y aportando al camino de descarbonización que emprendió la refinería al disminuir el inventario de productos residuales y con alto contenido de contaminantes (DMO) transformándolo en moléculas de mayor valor agregado.

## 7. Conclusiones

Es posible emplear una corriente de recirculación de Nafta producto de la unidad hacia el sistema de carga del R-520 manteniendo el flujo de esta corriente como variable a manipular para mantener dentro de ventanas operativas 1.280 – 1.365°F (693 – 740°C) la temperatura de fase densa y diluida, aumentando la flexibilidad de la unidad de ruptura catalítica Orthoflow para el recibo de un mayor volumen de carga pesada y de bajo costo (DMO) para convertirlo en productos de mayor valor agregado (GLP, Nafta, ALC, slurry) aumentando así el margen económico de la unidad de procesamiento y la capacidad de la refinería de Barrancabermeja de convertir corrientes pesadas (Fondos) en productos de valiosos. El análisis de sensibilidad realizado al sistema reacción-regeneración R-520 a través de la simulación en Aspen HYSYS mostraron que la corriente de Nafta inyectada al Riser incrementó el rendimiento de Nafta de la unidad, haciendo factible recircular una corriente producto valiosa (Nafta) al sistema de carga de la unidad, sin que esto

implique la degradación de esta corriente a productos de menor valor, manteniendo o mejorando así el balance económico de la unidad.

### Referencias Bibliográficas

- Breck, D. (1974). *Zeolite Molecular Sieves, Structural Chemistry and Use*. New York, U.S.A.: Jhon Wiley.
- Carberry, J. J. (2000). *Chemical and Catalytic Reaction Engineering*. USA: Dover Publication Inc.
- Carmona, J. H. (2008). *Optimización de un Convertidor de Desintegración Catalítica Gasóleos en Función de su Alimentación*. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco.
- Carrillo M., B. E. (1987). *Evaluación del catalizador de craqueo catalítico fluidizado*. Quito: Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero Químico, Universidad Central.
- Dariusz S., O. (2010). *Advances in Fluid Catalytic Cracking Testing, Characterization, and Enviromental Regulations*. Atlanta, Georgia, USA: Mario L. Occelli.
- Diawakar Z., K. L. (2011). *Stacked Configuration of Fluidized Catalytic Cracking Unit: A Review*. New York: IUP.
- ECOPETROL S.A. (s.f.). *Manual de descripción de procesos de la unidad FCCU Orthoflow* (Vol. 3). Barrancabermeja.
- Flores Q., R. (2016). *Simulación y Análisis de la Unidad Catalítica FCC N° 2 (U 13000) de la Refinería Gral. Lázaro Cárdenas del Rio, Minatitlán Veracruz*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gates, B. C., Katzer, J. R., & Schuit, G. (1979). *Chemistry of Catalytic Processes*. New York: Journal of Chemical Education.
- Grace, D. (Septiembre de 1996). *Guia Para Craqueo Catalizado Fluidizado*. *Grace Davison*, 98.

- Neri G., A. A. (2022). *Efecto de las variables de operación al procesar crudo no convencional tipo Shale Oil y/o mezclas con gasóleos de vacío convencionales e hidrotratados en la unidades de Desitengración Catalitica FCC*. México D.C., México : Insitituto Politécnico Nacional.
- Passamonti, F. J. (2008). *Nueva Metodologia para la Evaluacion de Catalizadores de Craqueo Catalitico*. Santa Fe: Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica.
- Pereiras, R. F., Marcelas, M. G., & Ravicule. (2017). *Modelo Fluidodinámico de un Regenerador de una Unidad Comercial FCC* (Vol. 35). (A. E. Martin I. Idiart, Ed.) Buenos Aires, Argentina: Asociación Argentina de Mecanica Computacional.
- Venuto, P., & Habib, E. J. (1979). *Fluid Catalytic Cracking with Zeolite Catalysts*. New York: Marcel Dekker.
- Vogt, E. T., & Weckhuysen, B. M. (2015). *Fluid catalytic cracking: recent developments on the grand old lady of zeolite catalysis*. Amsterdam: Inorganic Chemistry and Catalysis Group, Debye Institute for Nanomaterials Science, Faculty of Science, Utrecht University.
- Voorhies, A. J. (1945). *Industrial Engineering Chemistry* . New York .
- Yoo, J. S., Bhattacharyya, A., Radlowski, C., & Karsh, J. (1992). *Applied Catalysis B: Enviromental*. Amsterdam: Elsevier Science Publisher B.V.