

AJUSTE DE MODELO DE PREDICCIÓN DE PERFORMANCE EN UNIDADES DE DESTILACIÓN DE CRUDO

Natalia S. Gómez / Leonel A. Bonneso, AXION energy, NataliaS.Gomez@axionenergy.com / Leonel.A.Bonneso@axionenergy.com

Sinopsis

Debido a los reducidos tiempos para toma de decisiones y costos implicados, cada vez resulta más importante contar con un modelo confiable que prediga la performance de la corrida de crudos para sustentar decisiones tales como compra de nuevos crudos, determinar márgenes de ganancia, optimizar contra limitaciones de las unidades y predecir problemas operativos o de confiabilidad.

Por tales motivos, se desarrolló y ajustó un modelo base de predicción de rendimientos y propiedades de los cortes de la destilación atmosférica y al vacío del crudo.

El objetivo del presente trabajo es exponer las consideraciones, resultados y conclusiones de cada una de las etapas del Ajuste del Modelo a la operación de la Refinería Campana. Se utilizó el software SimSci SPIRAL CrudeSuite.

El modelo considera el efecto del fraccionamiento imperfecto que se da en estas unidades usando la Ecuación de Fenske, que permite representar el solapamiento de las colas en la destilación de cada corte calculando los parámetros ECP (effective cut point), RFI (índices de fraccionamiento por rectificación) y SFI (índices de fraccionamiento por despojamiento). Afectando el modelo base con los “swing cuts”, es posible predecir escenarios extremos.

Comparado con otros métodos de simulación, este es más robusto ya que no requiere datos de diseño de las columnas ni información del balance de energía, es simple en convergencia, permite modelar múltiples escenarios y entradas, y admite el ajuste manual a las condiciones reales de la operación.

Para la calibración del modelo, se definieron variables críticas a predecir y sus desviaciones aceptables y se realizó un Test Run en planta que incluyó mediciones de balance de masa (caudales, densidades y destilaciones) y propiedades críticas de cada corte, para un mínimo de 4 sets de muestras.

Siguiendo una metodología sistemática, se obtuvo un ajuste aceptable en la predicción de la mayoría de las variables críticas.

Introducción

En refinería es deseable contar con un modelo que permita chequear la operación actual de la unidad de destilación y predecir escenarios futuros para verificar factibilidad de correr nuevos crudos o tomar acción preventiva en caso de posibles problemas operativos / de confiabilidad.

El objetivo fundamental del modelo es predecir con el mínimo desvío posible los rendimientos de estas unidades y, en segundo lugar, las calidades (destilaciones). Por eso la sintonización se centra en el ajuste de los parámetros que definen estas variables.

La utilidad de esta actividad radica además en la posibilidad de predecir con el modelo los resultados de la corrida de cada uno de los crudos de interés y generar la tabla de crudos a ingresar en el software de optimización lineal técnico-económica.

Sin embargo, como todo modelo en mayor o menor medida, presenta ciertas limitaciones que es importante conocer para no gastar esfuerzos en lograr objetivos no viables. Asimismo es fundamental reconocer cuando es necesario resintonizar el modelo.

Para generar y calibrar el modelo, es necesario contar con datos confiables de sets de muestras de los cortes de planta y de los crudos corridos.

La refinería CAMPANA presenta una unidad de destilación atmosférica (APS) y una unidad de destilación al vacío (VPS). A continuación se muestra un esquema de los cortes producidos en cada unidad.

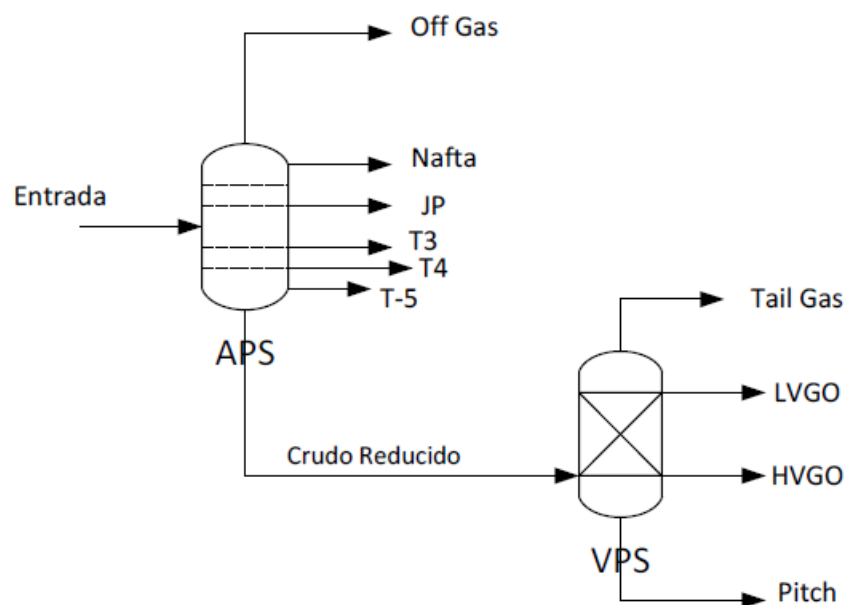


Figura 1 - Esquema de Unidades de Destilación de Refinería Campana

Donde:

JP: Jet fuel

LVGO: gas oil liviano de vacío

HVGO: gas oil pesado de vacío

Desarrollo

A continuación se expone la metodología seguida para calibrar el modelo APS / VPS, así como los principales resultados y lecciones aprendidas en cada etapa.

1. Definición de propiedades críticas y desviaciones aceptables

Los rendimientos volumétricos y destilaciones son los parámetros fundamentales que definen la performance de las unidades de destilación. Pero además existen propiedades críticas de las cuales se requiere también una predicción precisa.

Previo a la sintonización del modelo, se consensuó con el sector de Ing. de Procesos de cada una de las plantas que generan / reciben los cortes de destilación, cuáles son las propiedades que se consideran críticas desde el punto de vista del Proceso.

También es necesario tener en cuenta las propiedades que son restricciones para el cálculo de la corrida óptima de crudo en el software de optimización lineal.

Es importante limitar la selección a dos o tres propiedades críticas por corte, ya que no es viable tratar de ajustar muchas propiedades y contaminantes a la vez.

Posteriormente es necesario definir las desviaciones máximas aceptables entre el modelo y la realidad, así como los límites máximos y/o mínimos de dichas variables, para saber si es necesario mejorar la predicción de cierta variable por encontrarse cerca de un límite. Para esto último se consultó a los especialistas de Procesos, Integridad mecánica, Medio Ambiente y Seguridad de Procesos y se tuvieron en cuenta las especificaciones de los productos finales.

Corte	Propiedad crítica
Nafta	Densidad RON MON
JP	Densidad Freeze Point Flash Point
T3	Densidad Cetane Index Cloud Point
T4	Densidad Cetane Index Cloud Point
T5	Densidad Nitrógeno
LVGO	Densidad Azufre Nitrógeno
HVGO	Densidad Azufre Nitrógeno
Pitch	Densidad Azufre

Tabla 1 - Propiedades críticas de cortes

Asimismo se definieron propiedades críticas a evaluar en los crudos puros y en la mezcla de entrada a planta:

- Densidad
- % Azufre total
- Acidez
- Pour point
- Viscosidad
- Mercurio
- % Nitrógeno total

2. Test Run de planta

Para recabar los datos necesarios de entrada para sintonizar el modelo, se realizó un Test Run de planta.

Es aconsejable contar como mínimo con 4 sets de muestras medidos durante diferentes días para que el ajuste sea confiable y representativo de la operación actual de la planta.

Se debe verificar que al momento de tomar cada muestra la planta se encuentre a máxima carga o a la carga normal operativa, ya que el modelo es dependiente del caudal de entrada.

Los datos necesarios de cada set son las mediciones para realizar el balance de masa y de las propiedades críticas, a saber:

- Caudal de placas orificios con sus correspondientes factores de corrección de alimentación y cortes.
 - Dichos factores son importantes para eliminar cualquier error proveniente de diferencias en densidades entre la realidad y el valor con que la placa fue calibrado. Es deseable que se determinen por comparación contra variación de nivel en tanques.
- Destilaciones de los cortes de ambas torres
 - Aprovechando la frecuencia de control semanal de la operación, se realizaron destilaciones bajo norma ASTM D-86 de los cortes más livianos (nafta, JP y gas oils hasta T4).
 - De la misma manera, se realizaron destilaciones bajo norma ASTM D-1160 para los cortes más pesados (gas oils pesados desde T5 y pitch).
 - No se dispone de punto de muestreo para el crudo reducido, pero esto no representa un inconveniente ya que el software utilizado puede inferir estadísticamente las destilaciones de un corte a partir de la de los otros. Tampoco se tiene la posibilidad de muestrear la salida de incondensables.
- Densidades de alimentación y cortes.
- Propiedades críticas de cada corte, posibles de testear en nuestro laboratorio, según lo expuesto en el apartado anterior.
- Composición de la entrada a planta (“slate de crudo”), definida con el software de optimización lineal por el área de Suministros.

Si bien no se requiere para sintonizar el modelo, también se realizó destilación simulada y propiedades críticas de las muestras de entrada a planta de cada uno de los días del test para cross-chequeo.

3. Actualización de ensayos de crudos

Es crucial para que el modelo sea representativo de la operación contar con ensayos confiables de los crudos constituyentes de las remesas de entrada, que sean representativos de lo que está ingresando a la planta.

Un ensayo más actual no significa necesariamente un ensayo más representativo, ya que las propiedades de los crudos pueden ir cambiando a lo largo del tiempo o los ensayos pueden no ser tan precisos.

Se realizaron nuevos ensayos para actualizar los vigentes en base de datos. El software posee una herramienta que permite actualizar estadísticamente un ensayo a partir de nuevas mediciones.

Para caracterizar un crudo o actualizar un ensayo existente, se debe contar con al menos una nueva curva de destilación, preferentemente TBP 15/5, y medición de las principales propiedades y contaminantes tanto de los cortes como del crudo puro.

En este caso, por no encontrarse un proveedor local que desarrolle el ensayo TBP, se realizó un ensayo de destilación simulada bajo norma ASTM D-5307, que también se caracteriza por presentar resultados aceptables. Dicho ensayo se realizó sobre cada uno de los crudos constituyentes de la remesa típica (Escalante, Cañadon Seco, Medanito, María Inés y Hydra).

Asimismo se realizaron los ensayos de las propiedades críticas definidas en el punto 1 sobre los crudos puros.

Para una precisa predicción de contaminantes en cortes es crítico que los mismos sean analizados y actualizados en los crudos.

Con los ensayos de destilación y propiedades realizados recientemente se actualizaron los ensayos más representativos disponibles en nuestra base de datos.

4. Generación y Calibración del modelo

Una vez recopilados los datos de entrada y validados los ensayos de crudos a utilizar, la metodología seguida para generar y sintonizar el modelo APS/VPS es la siguiente:

1. Verificación de Balance de Masa
2. Verificación de Destilación y Creación de Modelos
3. Generación de Mezclas
4. Sintonización de Parámetros del Modelo
5. Sintonización de Propiedades
6. Validación Final del Modelo

1. Verificación de Balance de Masa

Esta es una tarea que debe ser realizada en línea con el test para saber si la muestra en cuestión va a ser útil en cuanto a la consistencia del balance de masa o no.

El caudal de Pitch debe ser verificado por diferencias, ya que no se dispone de medición confiable en dicha línea.

- En primer lugar, se calcula el caudal de pitch por diferencia entre el caudal de entrada y la suma de los caudales de los cortes del APS y VPS.
- Luego se verifica dicho caudal como la diferencia entre el caudal de crudo reducido y los cortes del VPS.

Para realizar estas verificaciones se deben considerar caudales másicos, teniendo en cuenta la densidad medida de cada una de las corrientes.

Las desviaciones alcanzadas entre los resultados de cada uno de estos métodos están en el orden de 4 - 6 %, a pesar de haber considerado los factores de corrección en cada placa. Estas diferencias pueden atribuirse a la falta de compensación automática por temperatura y densidad y a la falta de medición de corrientes de incondensables.

Es común en otras refinerías que el cierre del balance de masa se realice por diferencias. De todas formas, lo importante es que se realice un chequeo de alguna otra manera, tomando en consideración otras placas y llegar a errores menores al 3 % absoluto en caudales. Para eso, es importante considerar corrección por compensación por temperatura y densidad en las placas.

El hecho que la medición de pitch no sea confiable se atribuye a la tecnología utilizada (placa orificio). Sin embargo, no hay una tecnología que sea absolutamente buena para la medición de estas corrientes; todas presentan sus inconvenientes o desventajas.

2. Verificación de Destilación y Creación de Modelos Individuales

Para llevar a cabo esta verificación, SPIRAL posee una sección llamada “Flowsheet Manager” que permite generar la unidad de destilación a partir de instalar cada una de las torres con su correspondiente valor medido de presión de operación en el tope. Dentro de dicha sección, con la herramienta “Tower Fitting dialog”, ingresando los datos de destilación y rendimientos de todos los cortes, permite componer la alimentación a cada torre.

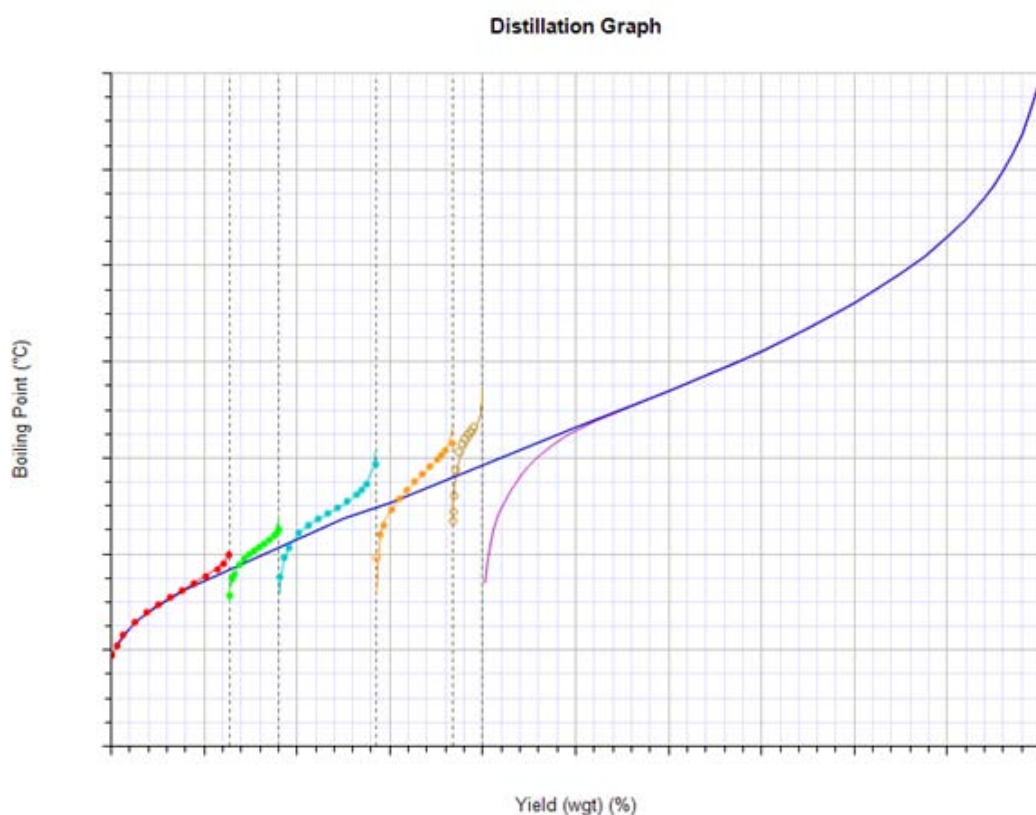


Figura 2 - Curva de alimentación APS compuesta a partir de destilaciones y rendimientos de cortes

Si hubiera valores que no fueran consistentes con la mayoría los mismos podrían desestimarse.

Así, para lograr un buen ajuste en varios casos fue necesario ignorar las destilaciones correspondientes al corte T5, entre otros puntos. Haciendo esto es esperable que el modelo no prediga bien las calidades para dicho corte. Por eso, sería aconsejable verificar dichas destilaciones con más datos.

También se observó que mejoraba el ajuste de la curva compuesta si se convertía previamente la destilación de Pitch de D-1160 a TBP.

Luego de calcular las curvas de entrada, se aplica la Ecuación de Fenske de fraccionamiento imperfecto y la operación en cada torre queda definida en términos de sólo tres parámetros para cada corte:

- **ECP: effective cut point (cut point efectivo)**

Representa la temperatura de ebullición de una molécula que se distribuye de igual forma entre el corte en cuestión y el corte de abajo en la torre.

Es importante mencionar que este es un concepto teórico y no representa el cut point real, es decir, el punto inicial o final de un corte sobre la curva del crudo de entrada.

- **FI: Índices de fraccionamiento**

Representa la eficiencia de separación hacia arriba y hacia abajo del corte en cuestión. Cuanto mayor es el valor, mejor es la separación.

- RFI: Rectifying fractionation index

Indica la cantidad de componente pesado que se arrastra a la zona de rectificación.

- SFI: Stripping fractionation index

Indica la cantidad de componente liviano que se arrastra a la zona de stripping.

Cada flowsheet queda definido entonces en términos de los parámetros anteriores y puede interpretarse como un modelo de la operación de cada día del Test Run. En la siguiente figura se ve un ejemplo.

Still Name:
Atmospheric
Pressure:
1.83
Atm

Input Still:
Crude Feed
Feed Stream:

Product Name	ECP °C	Stripping FI	Rectifying FI
LE	-26.0	0.00	0.00
NAFTA	35.0	0.00	0.00
JP	215.0	0.00	0.00
T3	305.0	0.00	0.00
T4	423.0	0.00	0.00
T5	477.0	0.78	0.00
Crudo reducido			

Still Name:
Tower
Pressure:
0.01
Atm

Input Still:
Atmospheric
Feed Stream:
Crudo reducido

Product Name	ECP °C	Stripping FI	Rectifying FI
Tail Gas	-100.0	0.00	0.00
LVGO	100.0	0.00	0.00
HVGO	350.0	0.00	0.00
Pitch			

Figura 3 – Ejemplo de Flowsheet

3. Generación de Mezclas

Considerando la composición de la remesa informada por el área de Suministros y los ensayos de los crudos individuales actualizados, se construyeron las mezclas de alimentación de entrada de cada uno de los días del ensayo.

Para realizar esto el software presenta una herramienta llamada “Blend Analysis”.

Vale la pena mencionar que la composición de las remesas consideradas es similar, excepto en que un 5 % v/v, en dos de los casos, corresponde al crudo María Inés y, en los otros dos, al crudo Hydra.

4. Ajuste de Parámetros

Se comparan los parámetros de cada flowsheet generado y se eligen los correspondientes al modelo intermedio.

A continuación se vincula el flowsheet seleccionado a cada una de las mezclas de entrada en la sección “Blend Analysis”. Además es necesario ingresar en dicha sección los valores de rendimientos y destilaciones asociados a cada set.

Al regenerar el “Blend Analysis” pueden verse las diferencias entre los valores medidos y los predichos por el modelo.

De esta manera, es posible recalcular los parámetros del flowsheet para cumplir con los rendimientos y destilaciones medidas para cada mezcla. Para esto se debe mantener el parámetro a modificar como “abierto” y tildadas las mediciones a considerar para su sintonización, como se muestra en la siguiente figura.

Still - 'Atmospheric' - Input Crude

Still Name: Atmospheric Pressure: 1.96 Atm

Input Still: Crude Feed Feed Stream:

Product Name	ECP °C	Stripping FI	Rectifying FI
LE			
NAFTA	63.24		
JP	69.0		
T3	74.2	1.5	1.34
T4	84.7	2.34	1.94
T5			
Crudo reducido			

Lock all parameters

Still - 'Tower' - Input Atmospheric:Crudo reducido

Still Name: Tower Pressure: 0.02 Atm

Input Still: Atmospheric Feed Stream: Crudo reducido

Product Name	ECP °C	Stripping FI	Rectifying FI
Tail Gas			
LVGO	838.0	1.41	0.72
HVGO	276.0	1.00	1.40
Pitch			

Lock all parameters

Figura 4 - Flowsheet en Blend Analysis con posibilidad de recalcular parámetros

Así se realiza una calibración por separado de cada set de datos. El método a seguir es el siguiente:

- 1) Sintonización de ECP's sólo considerando los rendimientos volumétricos (FI's fijos, ignorando destilaciones), para lograr buena predicción de rendimientos;
- 2) Comparación de parámetros y rendimientos recalculados. Selección de ECP's promedio.
- 3) Luego sintonización de FI's sólo considerando las colas de las destilaciones de productos 5, 10, 90, 95 % vol (ECP's cerrados, ignorando rendimientos);
- 4) Ídem paso 2 para los FI's.
- 5) Resintonización de los ECP's, ídem paso 1 y 2.

Vale la pena destacar que en el paso 2 puede ser necesario requerir ajuste manual considerando la variación deseada en rendimiento en función de la temperatura.

Los errores aceptables considerados son 2 % absoluto para rendimientos y 5°C absoluto para destilación.

En el caso de los cortes T3 y T4, no es tan relevante lograr una predicción tan ajustada ya que luego estos cortes van a un mismo pool; sí es importante verificar la sumatoria de sus rendimientos.

Una fuente adicional de dispersión es la diferencia en los crudos constituyentes de la remesa. En el caso de las remesas con Hydra se puede observar mayor dispersión, si bien no es significativa y los resultados cumplen con las desviaciones aceptables.

Para el ajuste de los parámetros FI's, puede ser útil, para lograr un mejor ajuste, contar con más datos de destilación.

Siguiendo la metodología anterior se alcanzó un modelo ajustado en términos de los parámetros ECP's y FI's, que predice rendimientos cumpliendo con la desviación máxima aceptada.

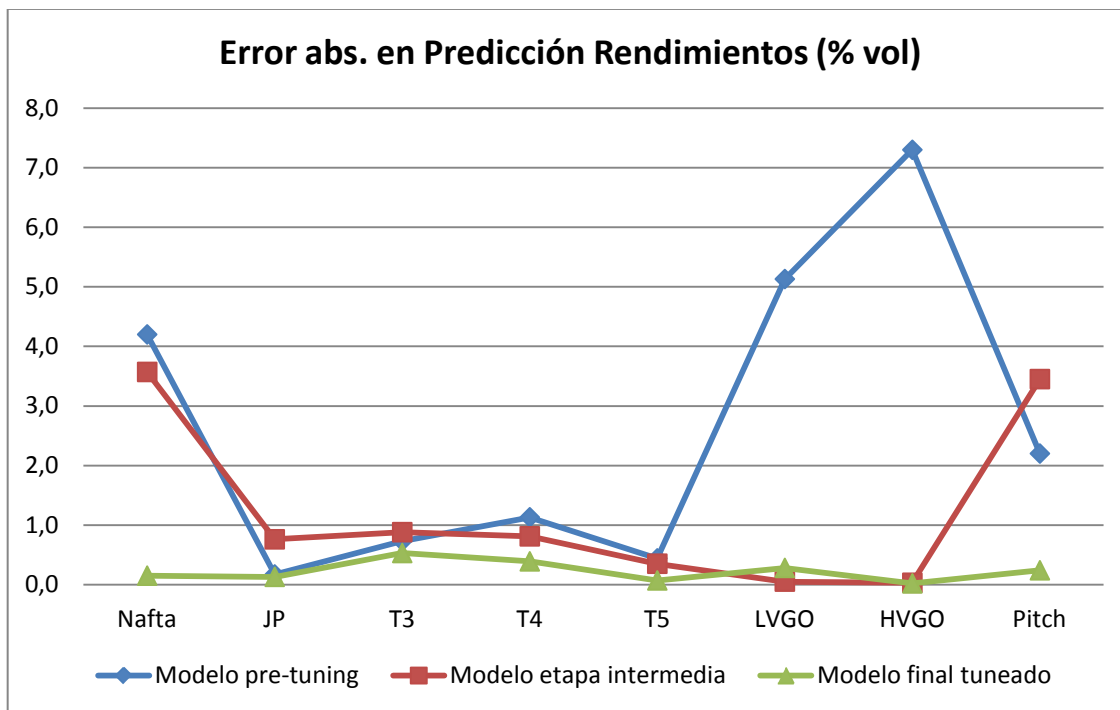


Figura 5 - Disminución en el error en la estimación de rendimientos

5. Ajuste de propiedades

El ajuste de las propiedades críticas que resulten desviadas debe realizarse a través de ecuaciones que consideren los BIAS entre la realidad y la predicción.

Es esperable que cuanto más representativos sean los ensayos utilizados para generar las mezclas de entrada, mejor será la predicción de propiedades y consecuentemente los parámetros ECP's se encontrarán más cerca de los cut points de los cortes en planta.

6. Validación Final del Modelo

Se debe validar el modelo sintonizado a fin de garantizar reproducibilidad de resultados a lo largo de un período más extenso de operación.

Para eso deben compararse los resultados del modelo contra los datos reales de rendimientos, destilaciones y propiedades críticas de al menos 2 (dos) corridas mensuales representativas (composición de remesa, caudal y otras condiciones operativas), durante un período mínimo de 6 meses.

Interconexión con Software de Optimización Lineal

Previo a la generación de la salida del modelo para el software de optimización lineal, es necesario definir los rangos de temperaturas de ebullición de cada swing cut, que se define como un volumen entre dos cortes que puede distribuirse tanto para el corte superior como para el inferior dependiendo de los parámetros operativos.

Para determinar dichos rangos, se deben tener en cuenta las desviaciones históricas en los ECP's, considerando 40 °C como máximo.

SPIRAL posee una herramienta llamada "Planning template" que permite generar la tabla de crudos para alimentar el software de optimización. En dicho template queda definido que el modelo a utilizar para cortar los crudos es el ajustado para la refinería.

La tabla de crudos generada fue ingresada a software de optimización, pero la misma en una primera instancia no produjo resultados aceptables en cuanto a la corrida óptima esperada.

Por eso, es importante tener en cuenta cuales son las propiedades restrictivas en el software de optimización y necesitan buena predicción por parte del modelo ajustado en SPIRAL. Ej.: freeze y flash points para JP.

Una vez ajustadas dichas propiedades es esperable que dichos inconvenientes se solucionen.

Conclusiones

El alcance del modelo sintonizado es una aceptable predicción de rendimientos volumétricos.

Las propiedades / contaminantes deben ajustarse a través de BIAS en el modelo (dos o tres por corte). No es factible ajustar muchas propiedades y contaminantes por corte.

Las propiedades restrictivas en el software de optimización lineal necesitan buena predicción en el modelo APS / VPS, para obtener resultados aceptables en la corrida óptima de crudo. Ej.: freeze y flash points JP.

Si se introduce un crudo nuevo en el slate, el mismo debe ser validado con el modelo. En caso que el ensayo en cuestión presente una precisión distinta a los de los utilizados en la sintonización del modelo, puede ser necesario resintonizar.

Los errores que se consideraron aceptables son:

- Caudales Balance de Masa: 3 % absoluto
- Rendimientos vol.: 1,5 – 2 % absoluto
- Destilaciones: 5 °C absoluto
- Densidades: 2 % relativo.

Si se logra una sintonización aceptable, el mismo debería repetirse cada 2 años aproximadamente.

Puede ser necesario tener un modelo de verano y de invierno para poder ajustar con un error razonable la performance de la unidad a lo largo de todo el año.

Sin embargo, para optimización lineal sí es factible tener un único modelo y cubrir dichas variaciones con los swing cuts (SC's). Si se observaran desviaciones respecto a los valores de ECP + SC considerados sería necesario una resintonización del modelo. Si se justificara se podrían mantener dos modelos para optimización, pero no es lo común.

Todas las áreas involucradas (Ing. Procesos, Suministros, Calidad) deben estar comprometidas en alertar desvíos observados entre las predicciones y la planta, pero una única área es la responsable de actualizar el modelo (Simulación y Diseño).

Bibliografía

- Soporte Técnico software SimSci SPIRAL CrudeSuite.
- Fuentes bibliográficas propietarias de la compañía AXION Energy Argentina S.A.

Vocabulario

Sintonización = calibración, ajuste.

CVs

Natalia Soledad Gómez

Título y lugar de estudio: Ingeniería Química – UTN Regional Buenos Aires

Diferentes empresas en las que hizo su carrera: CLOROX, FLUOR, TECNA.

Cargo actual en la empresa que está: Ingeniera de Simulación y Diseño – Ingeniería de Procesos – AXION energy

Leonel Alberto Bonneso

Título y lugar de estudio: Ingeniería Química – Universidad Nacional de Santa Fé

Cargo actual en la empresa que está: Ingeniero de Procesos Unidad de Destilación – AXION energy