



Desarrollo de herramientas de simulación para la optimización de tren de crudo. Refinería de Campana

Por *Dino Giovanni Carrattini* y *Joaquín Nicolás Dri* (AxionEnergy)

En este trabajo se presenta el desarrollo realizado en 2017 por el grupo de Ingeniería de Procesos en la Refinería Campana a partir de una herramienta que permite evaluar la situación actual de ensuciamiento del tren de precalentamiento de crudo con una reconciliación de datos tomados *online* de planta. Los resultados son satisfactorios y han generado ahorro energético a un costo nulo, ya que se utilizaron recursos disponibles.

El ensuciamiento en los intercambiadores de calor es una de las preocupaciones en la industria de refinación de petróleo y una de las principales causas de pérdida de energía. En particular, el ensuciamiento en el tren de precalentamiento de crudo es uno de los principales responsables de la pérdida de eficiencia energética y los problemas operativos. Además, el calentamiento del crudo es uno de los mayores consumidores de energía de la refinería y la falta de eficiencia en el tren de precalentamiento impacta fuertemente en un aumento en los costos de operación.¹ Por esta razón es importante mantener un eficiente funcionamiento en el tren de precalentamiento de crudo, lo que implica un constante seguimiento de la temperatura de entrada a los hornos de crudo y mantenerla lo más alta posible a través de un programa de limpieza de los intercambiadores que lo componen.

El plan de limpieza de intercambiadores del tren de precalentamiento históricamente se diagramó por medio de necesidades y oportunidades particulares, junto con el seguimiento de la tendencia de ensuciamiento de cada equipo. Este tipo de planeamiento no permitía realizar un cronograma de limpieza que optimizara la CIT, tampoco permitía determinar exactamente cuál era el equipo que provocaba el mayor impacto en el sistema global luego de su limpieza. De aquí surge la necesidad de desarrollar esta herramienta.

Desarrollo

La Refinería Campana cuenta con un tren de precalentamiento de crudo que consta de dos ramas paralelas que alimentan a los dos hornos de la torre de destilación atmosférica, el F-1 y el F-51. A su vez, la rama del F-1 posee dos ramas paralelas. Todas estas ramas poseen intercambiadores de calor que precalientan al crudo utilizando tanto las recirculaciones de la torre atmosférica como la de vacío. El seguimiento de la performance de los trenes se realiza con la temperatura de ingreso a los hornos y con una combinación de ambas, llamada "CIT combinada".

El beneficio económico obtenido de la limpieza no es el mismo para todos los intercambiadores de calor, por lo tanto, el desafío de las refinerías es determinar el adecuado cronograma de limpieza. El ensuciamiento no es algo que las refinerías pueden medir fácilmente durante la operación, por eso comúnmente se basan en valores históricos.

En estos casos, la composición del crudo y las condiciones de procesos, que son los factores críticos que afectan los niveles de ensuciamiento, son tenidos en cuenta en forma limitada.² Esto no conduce a una estrategia óptima de limpieza preventiva.

La herramienta consiste en una planilla de cálculo que se conecta con un simulador de procesos donde se encuentra el tren de precalentamiento con cada equipo que lo conforma simulado de forma rigurosa. El ingreso de datos se realiza desde la planilla, la cual los lleva al simulador que realiza los cálculos, devolviendo los resultados nuevamente a la planilla. Esto minimiza la posibilidad de introducir errores de información en la simulación. La aplicación posee tres modelos de cálculo que permiten, además de realizar un seguimiento periódico de la operación, generar el programa de limpieza preventivo:

Modelo 1. Reconciliación con datos de planta

Se analiza las variables de la planta buscando encontrar un período donde se considere a la operación estable y representativa de una situación real y normal. Los datos por analizar son:

- Caudales de crudo circulantes por cada rama.
- Temperatura de entrada y salida de las corrientes calientes y frías.

A través de nuestro registrador de datos de planta, se descargan los parámetros para el período seleccionado a la planilla y se corre la simulación. El simulador de procesos ajusta, mediante iteración, los factores de ensuciamiento de cada equipo para que las temperaturas de salida tanto del crudo como de las corrientes calientes se ajusten lo más posible a las reales. Para el diseño del plan 2017 se obtuvieron muy buenos resultados de reconciliación como se puede observar en la tabla 1.

Una vez ajustados los factores de ensuciamiento tenemos lo que denominamos "Caso base", que es el caso a partir del cual proyectaremos el ensuciamiento de cada equipo.

	Real	Simulada	Error
CIT F-1	196,5	195,2	0,7%
CIT F-51	219	218,6	0,2%
CIT Combinada	203,7	202,9	0,4%

Tabla 1. Comparación entre valores reales y los obtenidos por la simulación.



Modelo 2. Determinación orden prioridad de limpieza según impacto en CIT combinada

El modelo 2 tiene por objetivo determinar un ranking de intercambiadores por limpiar, teniendo en cuenta cuántos grados aumenta la CIT combinada. Para ello, el programa genera distintos escenarios donde cada intercambiador se va limpiando. Por lo tanto, la cantidad de escenarios simulados es igual a la cantidad de intercambiadores en el tren.

En cada escenario el programa toma un caso base (caso con los equipos sucios) y remplace el factor de ensuciamiento de un intercambiador por el correspondiente al del equipo limpio para luego calcular mediante la simulación la CIT combinada. Este proceso se realiza con cada intercambiador del tren y se ordenan los equipos en base al aumento global de CIT que genera en el tren, el primer lugar del ranking será para el intercambiador de calor cuya limpieza logre una mayor temperatura de entrada a los hornos (Tabla 2).

El factor de ensuciamiento limpio de cada equipo es el calculado por el modelo 1 para un período poslimpieza, es decir, si reconciliamos los datos de planta con el modelo 1 unos días después de la puesta en marcha del intercambiador E-4A que fue retirado para limpieza, el factor de ensuciamiento determinado será el factor limpio para el E-4A.

#Prioridad	Aumento en CIT Combinada [°C]	HX	#Prioridad	Aumento en CIT Combinada [°C]	HX
1	4,9	E-105D	14	1,2	E-7A
2	4,1	E-105F	15	1,2	E-15A
3	3,9	E-105B	16	1,1	E-10
4	3,1	E-4B	17	1,1	E-3F
5	2,8	E-8B	18	1,1	E-106B
6	2,7	E-108	19	0,9	E-109B
7	2,6	E-9	20	0,9	E-109A
8	2,4	E-15B	21	0,7	E-6
9	2,3	E-105C	22	0,6	E-107
10	1,9	E-15D	23	0,6	E-15C
11	1,9	E-8A	24	0,5	E-12 ^a
12	1,8	E-4A	25	0,4	E-12B
13	1,2	E-106C	26	0	E-106A

Tabla 2. Orden de prioridad.

Modelo 3. Proyecciones y armado de plan de limpieza

El objetivo del modelo 3 es proyectar el ensuciamiento en cada intercambiador a través del tiempo. Para ello, se determinan los factores de ensuciamiento proyectados mediante un estudio del comportamiento histórico de los datos obtenidos del modelo 1, calculados una vez al mes.

Esto genera distintos escenarios nuevos donde todos los equipos se ensucian según los ensuciamientos proyectados. Para cada escenario el simulador calcula la CIT combinada. A medida que avanza el tiempo, los equipos se ensucian y la CIT combinada disminuye, entonces el usuario debe decidir cuándo considera que es necesario limpiar uno o más intercambiadores. Una vez decidido el momento, se utiliza el modelo 2 para elegir qué equipos es conveniente limpiar, teniendo en cuenta los que maximizan la temperatura de entrada a los hornos. Con esta información junto con las oportunidades o limitaciones operativas, se seleccionan los equipos por limpiar.

Finalmente, se repite el proceso (Figura 1) hasta completar el plan de limpieza anual.

- 1) Se proyecta el ensuciamiento mensual de los intercambiadores y se utiliza el modelo 3 para calcular la CIT combinada en cada momento.
- 2) Se selecciona el mes donde la CIT combinada alcanza un valor mínimo tolerable.
- 3) Se corre el modelo 2 para determinar el orden de prioridad de limpieza de los equipos.
- 4) Teniendo en cuenta esto más limitaciones operativas y estacionales, se selecciona criteriosamente el/los equipos por limpiar.
- 5) Se confecciona el plan buscando maximizar la CIT combinada durante todo el año.

Figura 1. Diagrama de flujo para armado de plan de limpieza.

En la figura 2 se puede ver el efecto de la limpieza en la CIT para dos alternativas de plan de limpieza. En ambas alternativas se realiza la limpieza de los mismos intercambiadores, pero con cronogramas distintos, se puede observar la influencia que tiene el ordenamiento en el resultado final. La alternativa 2 no solo permite llegar a octubre con

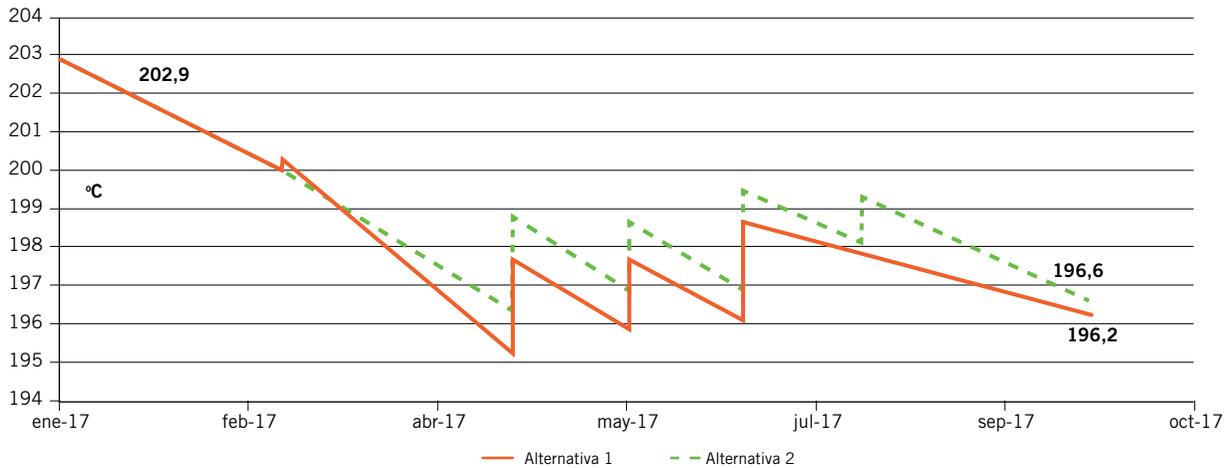


Figura 2. Evolución CIT combinada dos alternativas de limpieza.

0,4 °C más que con la alternativa 1, sino que adicionalmente permite mantener el valor de CIT por encima durante casi todo el año, lo que produce un ahorro energético en los hornos durante este período. En esta figura se puede observar el gran valor de la herramienta, que permite seleccionar el plan que mayor beneficio le da a nuestra operación. Esto muestra que la optimización del plan no solo tiene que ver con qué intercambiadores deben ser seleccionados, sino que el orden que deben ser limpiados tiene una influencia muy importante en el resultado final.

A lo largo del año, el plan fue modificado respecto del original, debido a que hubo que sacar algunos equipos de servicio por eventos ocurridos durante la operación. La versatilidad de la herramienta permitió ajustar la simulación al nuevo escenario y determinar un nuevo programa rápidamente. Esto es una gran ventaja frente a otros softwares que requieren un conocimiento propietario o un asesoramiento para realizar cambios, procesos que pueden llevar tiempo. Además, nos permite ver otros factores, como la influencia de los distintos crudos en la velocidad de ensuciamiento, los costos económicos de tener los distintos equipos fuera de servicio para la limpieza y su influencia en el ensuciamiento del resto del tren durante la limpieza, o la distribución de caudales entre las distintas ramas del tren, entre otros, que ayudan a optimizar aún más el plan y tomar decisiones en el día a día de la operación.

A continuación se muestra una comparación de la mejora de la CIT combinada predicha por la herramienta y la que ocurrió realmente.

Mejora % CIT combinada luego de la limpieza	Simulación	Real
E-106C	0,2%	0,2%
E-4B	1,1%	1,0%
E-105B/E-106B/E-15D	3,7%	2,9%
E-4A	1,2%	1,9%
E-108/E-109A/E-109B/E-105F	1,1%	2,6%

Figura 3. Tabla comparativa mejora de CIT Real versus Simulación.

La mayor diferencia se observa en la última fila, pero fue explicada por una limpieza adicional, debido a la puesta en marcha de la unidad realizada con producto liviano. Esta limpieza adicional no se tuvo en cuenta originalmente en los factores de ensuciamiento de la simulación, que solo contempla los cuatro equipos limpiados mecánicamente.

Conclusiones

El cronograma de limpieza generado e implementado en 2017 en Refinería Campana a partir de esta herramienta permitió realizar el mantenimiento preventivo del tren de precalentamiento de crudo de manera óptima, llevando y sosteniendo los valores de CIT por encima del objetivo de la refinería y alcanzando valores históricos a fin de año. La herramienta de simulación fue un desarrollo de tres meses de trabajo y puede ser implementado para el diseño del plan anual de limpieza por un ingeniero de procesos en dos días.

Además de brindar información cuantitativa de las variaciones de CIT con la limpieza de cada intercambiador de calor, permite realizar estudios de influencia de distintas variables que afecten a la CIT, lo que conduce a tener información más precisa a la hora de tomar decisiones en la operación. La herramienta posee una flexibilidad que permite responder rápidamente a cambios que se den en la planta, como son cambios de configuración en el tren o equipos fuera de servicios por operaciones no programadas, y evaluar la nueva situación o predecir escenarios futuros frente a estos cambios. Esto en un lapso de pocas horas durante el trabajo diario del ingeniero de procesos.

La energía ahorrada por la implementación de un cronograma óptimo de limpieza implica un ahorro energético total de enero a octubre entre unos 5000 MBTU y unos 7000 MBTU, equivalente a unos 30-40 kUSD, limpiando los mismos intercambiadores de calor en distinto orden y en distintos tiempos. Esto significa el ahorro de la limpieza mecánica de un equipo o la limpieza química de tres. ■

Bibliografía

- (1) *Preheat train crude distillation fouling propensity evaluation by the Ebert and Panchal model*. M. Bories and T. Patureaux, Total CERT, Refining Research Centre, PO box 27, 76700 Harfleur, France.
- (2) *Heat exchanger fouling model and preventive maintenance scheduling tool*. V. R. Radhakrishnan, M. Ramasamy, H. Zabiri, V. Dothan, N. M. Tahir, H. Mukhtar, M. R. Hamdi, N. Ramli, *Applied Thermal Engineering*, volumen 27, issues 17-18, December 2007, pages. 2791-2802.