

# Aplicación de la simulación de procesos durante la práctica laboral de estudiantes de Ingeniería Química

**Mario J. Muñoz Batista**

Correo electrónico:jmunoz385x@gmail.com

**Artículo Original**

**Alain Pérez González**

Correo electrónico:alains@quimica.cujae.edu.cu

**Osvaldo Gozá León**

Correo electrónico:ogoz@quimica.cujae.edu.cu

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

**Nelson Llovet de Armas**

Correo electrónico:llovet@ceinpet.cupet.cu

Refinería Níco López, Regla, La Habana, Cuba

## Resumen

El éxito de los graduados de Ingeniería Química depende en gran medida de cuáles habilidades y aptitudes han incorporado durante su formación. Los empleadores de estos graduados no solo requieren que los mismos tengan un conocimiento acumulado de los principios básicos de la ingeniería, sino que además los puedan aplicar de manera creativa en la solución de problemas que se presentan en la práctica. Este trabajo trata acerca de una de las formas que contribuye a que los estudiantes adquieran habilidades importantes para su posterior desempeño dentro de las industrias de procesos. En la práctica laboral de los estudiantes de ingeniería de tercer año se introduce el uso del simulador HYSYS para realizar la evaluación energética. Se muestra el esquema de simulación obtenido del banco de precalentamiento de una unidad de craqueo catalítico fluidizado. El modelo es construido de manera tal que se utilizan los módulos predefinidos en HYSYS, sin embargo, para la evaluación energética del horno se emplea la hoja de cálculo del programa donde se programan las expresiones que se utilizan para la evaluación energética de este tipo de equipamiento. Esto último da la posibilidad desde el punto de vista metodológico de señalar acerca de la necesidad que a veces se tiene de utilizar modelos propios para la simulación de equipos específicos. Finalmente, el modelo de simulación es empleado para estudiar el comportamiento energético del sistema ante cambios en algunas de las variables de operación con mayores perturbaciones. Se demuestra entonces que la combinación de la simulación dentro de este tipo de asignaturas ayuda a mejorar el alcance de estas posibilitando que los estudiantes se relacionen desde su formación con una de las técnicas más avanzadas para el análisis de procesos en la actualidad.

Palabras clave: simulación de procesos, evaluación energética, banco de intercambio de calor.

Recibido: 6 de julio de 2011      Aprobado: 28 de agosto de 2011

## INTRODUCCIÓN

La educación universitaria cubana se encuentra en un período de modificaciones importantes para lograr la adecuada preparación de sus profesionales. Los jóvenes graduados son los encargados de conducir la vida económica, social y política del país, y hacerlo con la profesionalidad necesaria. La entrada en vigor del nuevo plan de estudio, así

como nuevas estrategias de preparación de los jóvenes profesores adiestrados confirman los esfuerzos a realizar para alcanzar mejores condiciones en la formación.

En el área tecnológica, las carreras de ingeniería constituyen un pilar fundamental en el desarrollo industrial. Ante las crisis mundiales en varios de los sectores que afectan el desarrollo económico del país, los ingenieros son los encargados de utilizar los principios básicos de las

ciencias naturales como herramientas para incrementar la calidad de vida de la sociedad y preservar el entorno natural, bajo un esquema de desarrollo sostenible. [1] La situación mundial actual en varias esferas donde actúan directamente los perfiles ingenieriles, hace necesaria la formación de ingenieros que posean tres características fundamentales: excelencia en los campos académico y profesional, elevada formación personal, elevada formación social y humanista. [1]

La Ingeniería Química es una de las especialidades que mayor cantidad de sectores industriales abarca, por lo que en dependencia de las necesidades de los territorios en los cuales las universidades ubican sus egresados, es necesario que se adapte su currículo e introduzcan cursos orientados a fortalecer la formación profesional que la región y el país demande. [2] Para esto es imprescindible lograr que funcione correctamente el ciclo de asignaturas básicas que incluya tópicos como: Matemáticas, Química, Física, Computación Aplicada, entre otras, lo que permitirá al estudiante obtener una base teórico-práctica que le permita adquirir una visión amplia de los fenómenos físicos que ocurren a su alrededor. Con esta formación el estudiante estará en condiciones de asimilar correctamente cursos clásicos de la carrera de Ingeniería Química, tales como: Balances de Masa y Energía, Termodinámica, Operaciones Unitarias, Ingeniería de las Reacciones Químicas, y otras.

Paralelo a estas asignaturas, el vínculo laboral-investigativo (práctica laboral) juega un papel primordial en el desarrollo de los ingenieros, porque tiene la característica de integrar un grupo importante de los conocimientos dados hasta ese momento de la carrera y aplicarlos a casos reales en procesos industriales de relevancia en el entorno del estudiante, acordes con el medio socio-industrial en que se desenvuelve. Se trata de estrechar mejor el vínculo entre lo que ha sido un dilema en la enseñanza de la Ingeniería Química, o sea, mantener el contacto entre las necesidades de la industria o incorporar nuevos conceptos científicos en el currículo de la carrera. [3] Entre las esferas en pleno desarrollo industrial del país y de una importancia estratégica se encuentra la industria del petróleo. Proyectos de remodelación de plantas existentes; de análisis del comportamiento energético de procesos y/o subprocesos; [4] así como de construcción de nuevas refinerías justifican la necesidad que los egresados de la carrera de Ingeniería Química terminen la especialidad con mayores conocimientos. En este sentido, el rol de la universidad es impartir a los futuros ingenieros químicos el bagaje conceptual necesario para la operación, control y optimización de los procesos de refinación del petróleo, sin incurrir en el error que significaría incluir un número desmesurado de asignaturas o pretender suministrar al estudiante un volumen exagerado de conocimientos de diversa índole. [5]

En este trabajo se muestran los resultados de la aplicación de la simulación de procesos a la sección de precalentamiento del inyector de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado en que se desarrolló el vínculo laboral-investigativo de estudiantes de tercer año de la carrera de Ingeniería Química. Estos resultados demuestran las

potencialidades que se pueden alcanzar en la formación de nuevos ingenieros sobre la base del aprendizaje in situ y muy estrechamente relacionado con la simulación de procesos en una de las industrias primordiales para esta región del país.

## **SIMULACIÓN DE PROCESOS EN INGENIERÍA QUÍMICA**

La industria de refinación de petróleo es una de las más complejas, pues involucra una gran diversidad de procesos tanto físicos como químicos. La mayoría de los autores que abordan el tema afirman que para el estudio de la ingeniería química, esta industria es una muy buena oportunidad de vinculación entre los conceptos básicos de la especialidad y la práctica, lo que se debe en gran medida a que en esta se encuentran presentes las más importantes operaciones y procesos unitarios que son objetos de estudio durante la etapa lectiva.

Una de las unidades más importantes en los esquemas de refinación de petróleo de las refinerías modernas es la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado. Adicionalmente la combinación de equipos donde pueden realizarse balances de masa y energía concatenados en la misma planta industrial, constituyen un excelente ejemplo didáctico de la elaboración de un producto a gran escala. [1] Es por esto que se afirma que el análisis energético del banco de precalentamiento del inyector a esta unidad constituye una excelente herramienta didáctica para la aplicación de los conceptos impartidos en clases con aplicaciones eminentemente prácticas.

Apoyado en lo anterior, se han desarrollado para la asignatura Balance de Masa y Energía, en la Facultad de Ingeniería Química del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, ejercicios docentes en la sección de precalentamiento de inyector a la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado de una refinería cubana. [6] Estos ejercicios garantizan que los estudiantes de tercer año de manera creativa analicen y sugieran soluciones a problemas prácticos. Para ello, durante el desarrollo del proyecto utilizan la programación en Excel a partir de lo cual realizan un profundo análisis del proceso en cuestión. No obstante, por limitaciones de tiempo y de concepción de la asignatura, el análisis no utiliza las potencialidades de los simuladores de procesos profesionales, por lo que la práctica laboral es una excelente oportunidad para profundizar más en el sistema estudiado y desarrollar habilidades en el uso de estos programas, lo cual es de gran importancia en la formación de los ingenieros en el contexto de la ingeniería química actual.

Los egresados de Ingeniería Química deben estar preparados para utilizar la simulación de procesos siempre que sea posible en el ámbito del ejercicio de la profesión. La garantía de un alto nivel de competencia en el uso de la simulación se alcanza cuando esta simulación es empleada

con juicio de manera paralela con las asignaturas de la especialidad. [7] El potencial de la simulación como herramienta de desarrollo ha sido probado muchas veces en la industria química, [8][9] en la actualidad es muy poco probable que se acepte o proponga algún cambio tecnológico sin haberlo simulado previamente.

La ingeniería química actual cuenta con potentes herramientas de simulación las cuales incluso van más allá del diseño, se utilizan para la evaluación, el diagnóstico y la optimización de procesos. Todas estas ventajas han propiciado que la simulación de procesos sea una de las técnicas de análisis de procesos más difundida, bien establecida desde la mitad de los años sesenta y ampliamente reportada en la literatura.

El desarrollo de simuladores de procesos a nivel mundial se ha desenvuelto a pasos agigantados. Muchos son los simuladores de procesos profesionales que se encuentran disponibles en el mercado, entre los que destaca el HYSYS y el Aspen Plus ambos propiedad de la compañía AspenTech norteamericana. Por su interfaz amigable e interactiva, [10] excelentes resultados y cultura de uso a partir de las antiguas relaciones entre la empresa petrolera cubana y el antiguo dueño de este simulador (Hyprotech), es que HYSYS es utilizado con mayor frecuencia en las industrias del sector petrolero cubano, lo que brinda la posibilidad de realizar estudios de simulación conjuntamente entre la universidad y la industria.

El éxito de esta herramienta como complemento en el desarrollo profesional de los estudiantes de ingeniería química se encuentra en la conjugación de los dos enfoques de la simulación: simulación modular y orientada a ecuaciones. Es importante entonces hacer coincidir la aplicación de cada uno de los enfoques, demostrar al estudiante las ventajas y desventajas de estos y lograr que sean capaces de realizar análisis de procesos con un alto rigor científico.

## **CASO DE ESTUDIO: BANCO DE PRECALENTAMIENTO DE INYECTO**

En el caso de estudio se utiliza el simulador de procesos HYSYS para obtener un modelo de simulación del banco de precalentamiento del inyector a una Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado. Este permite comparar los resultados obtenidos en el proyecto de curso de la asignatura Balance de Masa y Energía y los obtenidos durante la estancia en la industria. Permite también profundizar el análisis del sistema a partir de tener en cuenta otros equipos que pertenecen a la sección como son los enfriadores de tubo y coraza y los enfriadores del tipo caja de agua.

Como puede verse en la figura 1, la sección estudiada comienza en los tanques 216 y 217 donde se almacena el inyector o plato colector. Este es succionado por las bombas P-501 A y B para entrar a los intercambiadores de calor E-503 A y B donde el producto que cede calor es la recirculación de tope (TPA) de la torre fraccionadora T-501.

Luego intercambia calor en el E-504 donde el portador calórico es el gas oil ligero (LCO). El inyector sigue su precalentamiento en los intercambiadores E-505 A y B con la recirculación media de la torre fraccionadora (MPA). Al salir el inyector de los E-505 A y B entra al E-506, pero aquí a diferencia de los otros intercambiadores el inyector va por la coraza y el producto que cede calor, que es el Slurry (SPA), va por los tubos debido a que este, en su composición, tiene restos de catalizador que erosiona los metales destruyéndolos con facilidad. El SPA es el fluido más caliente del banco de intercambio, por eso es el cuarto en ceder calor. En este equipo también existe la posibilidad de desviar el inyector con el objetivo de controlar el intercambio de calor en este.

En el horno F-501 el inyector completa su precalentamiento para su posterior reacción. Este equipo está constituido por dos zonas, la de convección que es la de menor temperatura y la de radiación o de mayor temperatura. El inyector entra a la zona de convección por cuatro pases ya que por ser la zona menos caliente se distribuye la masa para tratar de absorber la mayor cantidad de calor posible, posteriormente en la zona de radiación se unifican en dos pases por los laterales del horno para finalmente unificarse en una línea común a la salida. La energía que se produce en el horno está dada por nueve quemadores múltiples que pueden alimentarse con fuel oil y gas combustible de forma independiente o simultánea. Los gases producto de la combustión son expulsados por la chimenea que se encuentra en la parte superior. Este equipo tiene un sistema de sobrecalentamiento de vapor en la zona de convección el cual es utilizado en la planta.

Para este estudio fue empleada la versión 2 del simulador de procesos HYSYS legalmente adquirido por la empresa petrolera cubana. El objetivo de obtener el modelo de simulación es evaluar energéticamente los equipos de intercambio de calor utilizando los modelos recomendados por HYSYS y el horno de la sección utilizando la hoja de cálculo de HYSYS, donde se deberá introducir los modelos matemáticos para la solución de los balances de masa y energía necesarios para la evaluación de este equipo. Los intercambiadores de calor pertenecientes a la sección fueron simulados utilizando el módulo: Intercambiador de Calor, modelo: Diseño de Intercambiador Weighted. Para completar el modelo de simulación fueron utilizados también los módulos: Enfriador; para todos los enfriadores de la sección y los módulos de División y Mezclado de corrientes (figura 2).

Una vez obtenido el modelo de simulación, este fue validado con datos reales de la planta, donde se demostró que el mismo reproduce con un porcentaje de error aceptable el comportamiento real del sistema.

Con la información obtenida del modelo fue realizada la evaluación de los intercambiadores de calor (tabla 1). Estos y los demás resultados que se exponen, fueron determinados considerando como base de cálculo una hora.

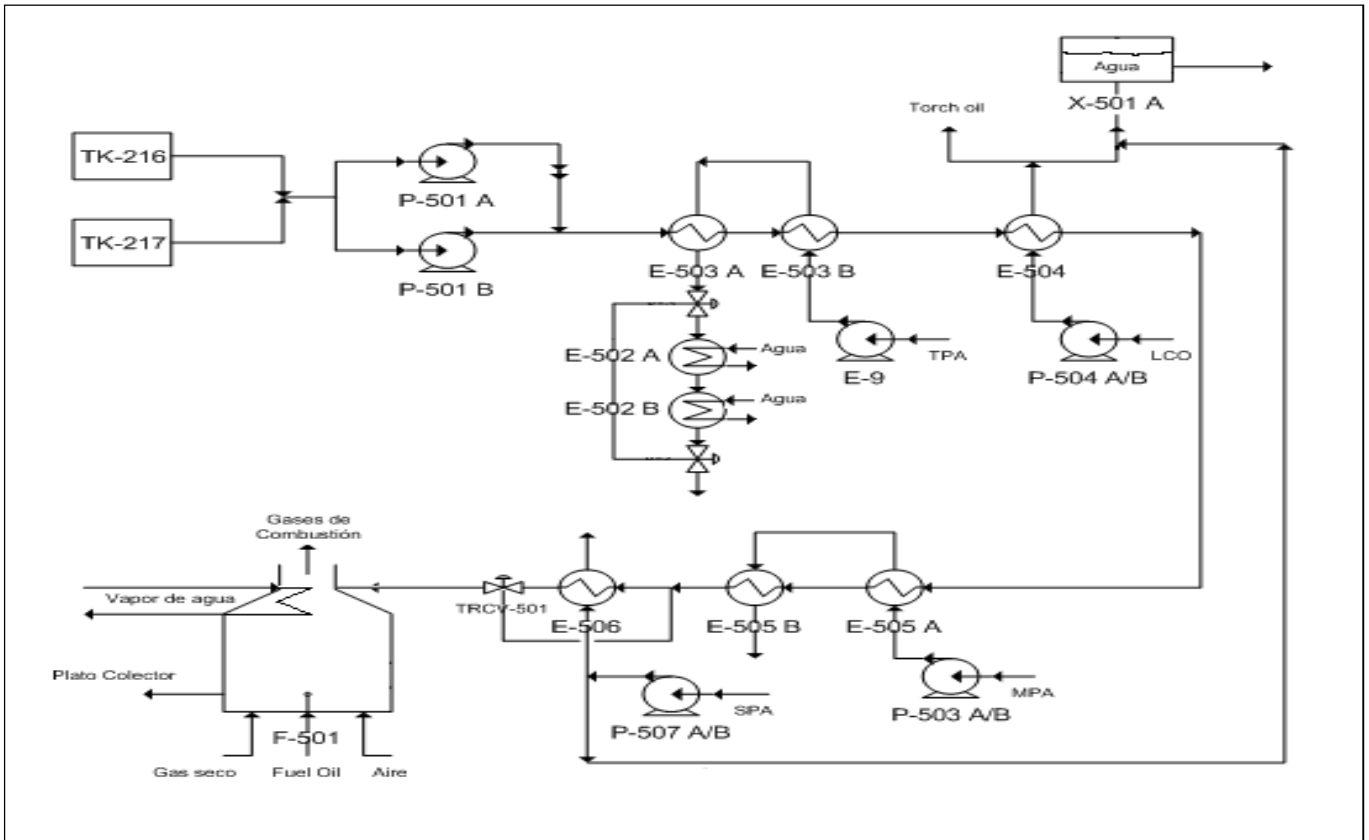


Fig. 1. Diagrama de flujo de proceso de la sección de precalentamiento.

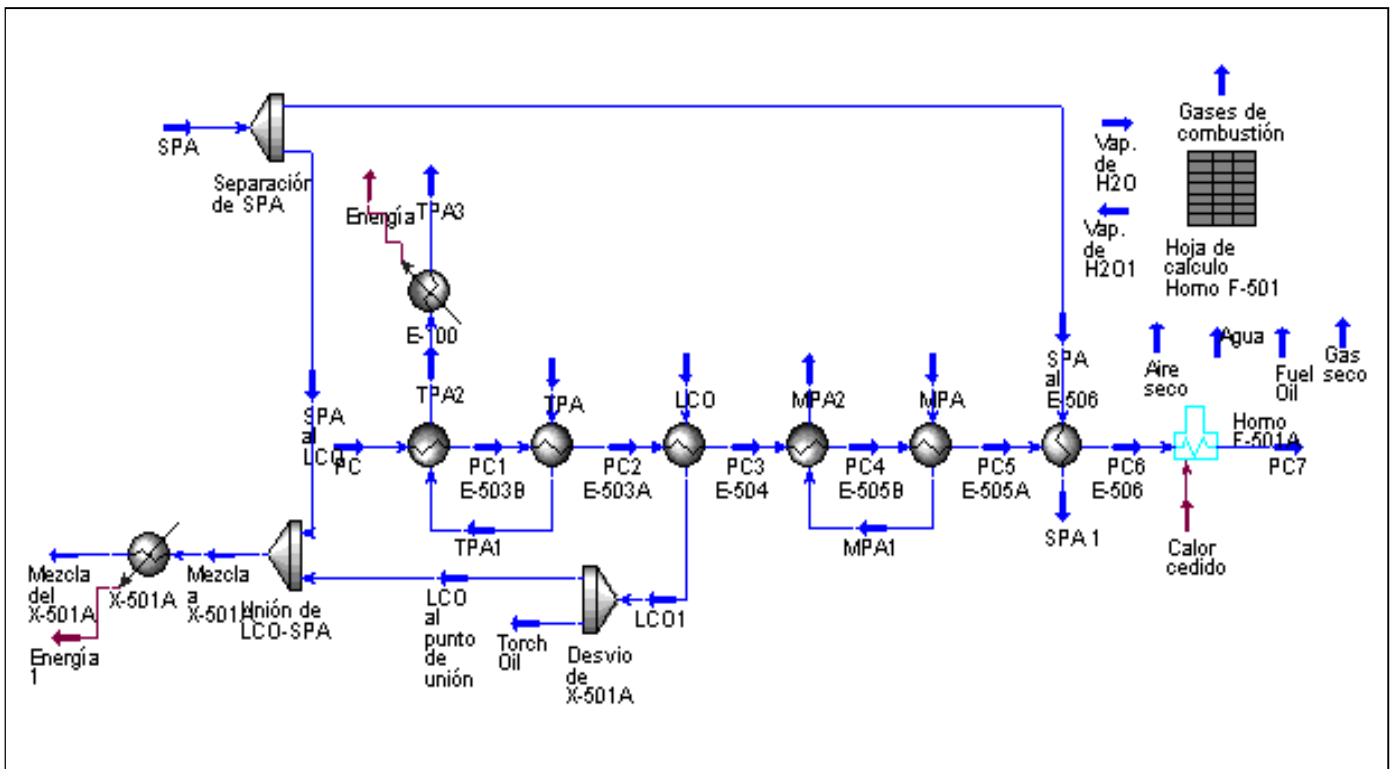


Fig. 2. Modelo de simulación obtenido para el banco de precalentamiento utilizando el simulador HYSYS.

Tabla 1  
Resultados de la evaluación energética del banco de intercambio

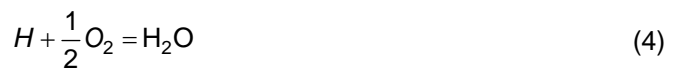
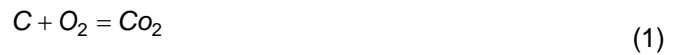
Código del Intercambiador	Corrientes	Calor intercambiado (10 <sup>6</sup> kJ)	Calor perdido (10 <sup>5</sup> kJ)	Pérdidas de calor (%)
E-503 B	Inyector	2,93	-7,27	19,85
	TPA	-3,66		
E-503 A	Inyector	2,98	-7,53	20,15
	TPA	-3,74		
E-504	Inyector	5,01	-13,10	20,75
	LCO	-6,33		
E-505 B	Inyector	2,24	-4,02	15,21
	MPA	-2,64		
E-505 A	Inyector	2,25	-4,27	15,97
	MPA	-2,67		
E-506	Inyector	11,40	-61,50	35,02
	SPA	-17,60		

La principal ventaja de este análisis respecto al realizado por los estudiantes durante el proyecto de curso es que a través del modelo de simulación pueden ser evaluados independientemente cada uno de los intercambiadores presentes en la unidad, a diferencia del análisis anterior en el cual se estudiaron los intercambiadores E-503 A y E-503 B, E-505 A y E-505 B, como una sola unidad de intercambio (E-503 A/B y E-505 A/B).

Lo anterior permitió a los estudiantes sugerir soluciones específicas sobre la necesidad de mantenimiento de un equipo determinado.

La interacción directa del vínculo laboral-investigativo a diferencia del proyecto de curso permite al estudiante una mejor comprensión de los resultados, tal es el caso de los altos porcentajes en las pérdidas de calor, superiores en todos los casos a 15 %. Comprender la importancia económica de estos resultados y valorar junto a los técnicos y el tecnólogo de la unidad medidas para disminuir estas pérdidas son experiencias de formación invaluable para los futuros profesionales.

El horno tipo cabina fue evaluado utilizando la hoja de cálculo de HYSYS. Para la solución de los balances de masa y energía se considera en el proceso de combustión las siguientes reacciones elementales:



En la tabla 2 se muestran los resultados del balance de masa en el horno.

Los resultados del balance de energía del horno se muestran en la tabla 3.

Tabla 2  
Resultados del balance de masa en el horno

Componente	Entra (kmol)	Reacciona/- Genera 1 (kmol)	Reacciona/- Genera 2 (kmol)	Reacciona/- Genera 3 (kmol)	Reacciona/- Genera 4 (kmol)	Reacciona/ Genera (kmol)	Sale (kmol)
O <sub>2</sub>	2 692,99	1 643,38	17,86	16,54	735,64	2 413,42	279,58
C	1 679,10	1 643,39	35,73	-	-	1 679,10	0
S	1 6,54	-	-	16,54	-	1 6,54	0
H <sub>2</sub>	1 471,27	-	-	-	1 471,27	1 471,27	0
CO <sub>2</sub>	-	1 643,38	-	-	-	1 643,39	1 643,37
CO	-	-	35,73	-	-	35,73	35,73
SO <sub>2</sub>	-	-	-	16,54	-	16,54	16,54
H <sub>2</sub> O	465,57	-	-	-	1 471,27	1 471,27	1 936,84
N <sub>2</sub>	1 0110,30	-	-	-	-	-	10 110,35
						Flujo total de gases de combustión	14 022,42

Término	kJ
$\sum n\Delta H_{ENY\bar{T}}$	-72,86 · 10 <sup>5</sup>
$\sum N\Delta H^{\circ}_R$	-10,11 · 10 <sup>8</sup>
$\sum n\Delta H_{SAL}$	13,19 · 10 <sup>7</sup>
$Q_{ced}$	-88,71 · 10 <sup>7</sup>

donde:

- $\sum n\Delta H_{ENY\bar{T}}$ : Entalpía relativa de los productos de entrada (kJ).
- $\sum N\Delta H^{\circ}_R$ : Variación de entalpía debido a la ocurrencia de las reacciones químicas ((kJ)).
- $\sum n\Delta H_{SAL}$ : Entalpía relativa de los gases de combustión (kJ).
- $Q_{ced}$ : Calor cedido en el horno (kJ).

Una vez realizado el balance de masa y energía en el horno, es posible calcular algunos indicadores de eficiencia que permiten evaluar este equipo. Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes:

$$\% \text{ pérdidas} = \left| \frac{Q_{abs} - Q_{ced}}{Q_{ced}} \right| \cdot 100 \quad (1)$$

donde:

- % Pérdidas: Pérdidas de calor al exterior en el horno (%).
- $Q_{abs}$ : Calor absorbido total (kJ).

$$Rend \text{ térmico} = \frac{Q_{abs}}{VCT} \cdot 100 \quad (2)$$

donde:

- $Rend \text{ térmico}$ : Rendimiento térmico del horno (%).
- $VCT$ : Valor calórico total de los combustibles (kJ).

$$P_{gases} = \left| \frac{\sum \Delta H_{SAL}}{VCT} \right| \cdot 100 \quad (3)$$

donde:

- $P_{gases}$ : Pérdidas de calor sensible en los gases de combustión (%).
- $\sum \Delta H_{SAL}$ : Entalpía relativa de los gases de combustión (kJ).

$$P_{incomb} = \left| \frac{F_{CO_2} \cdot \Delta H^{\circ}_{CO}}{VCT} \right| \cdot 100 \quad (4)$$

donde:

- $P_{incomb}$ : Pérdidas por incombustión química (%).
- $F_{CO_2}$ : Flujo molar de CO<sub>2</sub> en los gases de combustión (kmol).
- $\Delta H^{\circ}_{CO}$ : Calor estándar de combustión del CO (kJ).

$$P_{ext} = |Q_{ced}| - Q_{abs} \quad (5)$$

donde:

- $P_{ext}$ : Pérdidas de calor al medio exterior (%).

$$\% \text{ Exceso}_{O_2} = \frac{O_2 \text{ real} - O_2 \text{ teórico}}{O_2 \text{ teórico}} \cdot 100 \quad (6)$$

donde:

- % Exceso<sub>O<sub>2</sub></sub>: Exceso de aire (%).
- $O_{2,real}$ : Flujo molar de oxígeno alimentado al horno (kmol).
- $O_{2,teórico}$ : Oxígeno teóricamente requerido en la combustión (kmol).

$$\% \text{ Completamiento} = \frac{C \text{ transforma } CO_2}{C \text{ reacciona}} \cdot 100 \quad (7)$$

donde:

- % Completamiento: Porcentaje de completamiento (%).
  - $C \text{ transforma } CO_2$ : Carbono que se transforma en dióxido de carbono (kmol).
  - $C \text{ reacciona}$ : Carbono total que reacciona (kmol).
- Los resultados de esta evaluación se muestran en la tabla 4.

Rendimiento térmico (%)	79,24 °C
% Pérdidas	20,76
% P gases	14,88
% P incombustión	0,45
% P exterior	5,44
% Exceso de O <sub>2</sub>	11,02
% Completamiento	97,87

La evaluación energética del horno muestra un comportamiento energético que se puede catalogar como aceptable para las condiciones de la unidad. La identificación de las pérdidas de calor por diferentes razones permite decidir sobre cuáles se debe trabajar para obtener mejores resultados.

Con el modelo de simulación obtenido se puede pronosticar cuál es el comportamiento del sistema ante cambios en algunas de las variables de operación más importantes utilizando la herramienta del simulador Casos de Estudio. Esta se utilizó para obtener distintos escenarios de comportamiento del sistema ante cambios en algunas de las variables que más modifican el sistema estudiado, y que

se conoce influyen de manera significativa sobre la eficiencia energética del sistema.

En este sentido cualquier variación en las temperaturas de las corrientes que participan en la red de intercambio de calor influye de manera significativa sobre el consumo de combustible en el horno. Este es una de las variables de operación que más fluctúa en el sistema; asociado principalmente a su relación con el sistema de control que deja pasar más o menos combustible para lograr mantener dentro del intervalo recomendado la temperatura de salida del horno de la corriente de inyectos que pasará posteriormente al sistema reactor regenerador. En la figura 3, se expone un caso de estudio donde se muestra la influencia del flujo másico de Fuel oil sobre el rendimiento térmico del horno. Los resultados confirman que si se disminuyera el consumo de Fuel oil hasta 700 kg/h, valor que se pudiera lograr con una ligera disminución de las pérdidas en los intercambiadores que conforman el banco, se lograría un aumento del rendimiento térmico en 6 puntos porcentuales lo que implicaría un ahorro considerable por concepto de costos de operación.

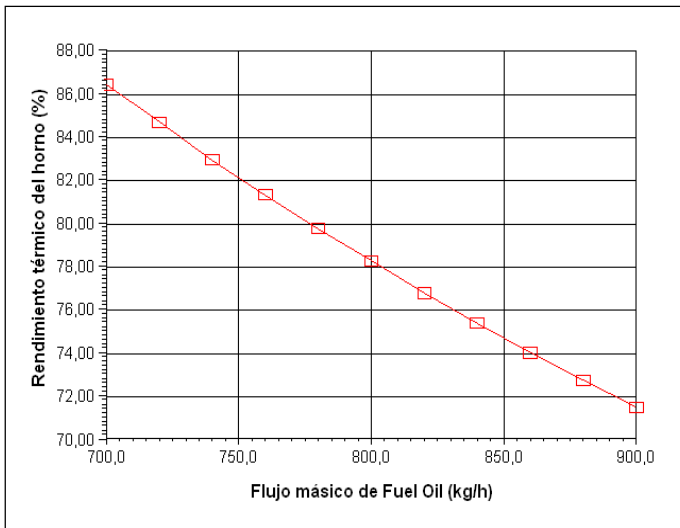


Fig. 3. Caso de estudio. Flujo másico de Fuel Oil vs Rendimiento térmico del horno.

Otro análisis utilizando casos de estudio se muestra en la figura 4. En esta se ha obtenido la relación entre la temperatura de los gases de combustión y las pérdidas de calor sensible en los gases de combustión. Estas pérdidas son las que más aportan a las pérdidas totales de calor en el sistema y dependen de manera directa de la temperatura de los gases de combustión cuyo valor no se mantiene constante por limitaciones en el sistema de control. Este estudio demostró que disminuyendo la temperatura de salida de los gases de combustión hasta 250 °C (valor superior en 50 °C a la temperatura de rocío ácido de los gases de combustión), se pudiera disminuir las pérdidas de calor sensible hasta 11 %, y las totales hasta 16,89 %.

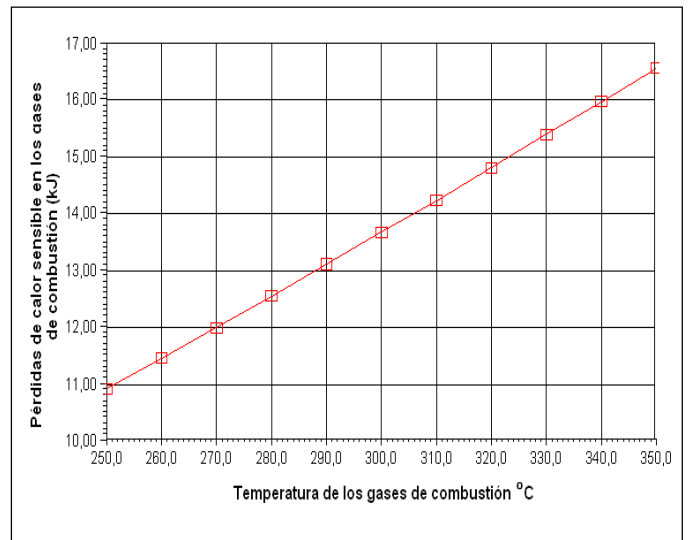


Fig. 4. Caso de estudio. Temperatura de los gases de combustión vs Pérdidas de calor sensible en los gases de combustión.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los principales resultados de este trabajo son la demostración de las potencialidades de la simulación de procesos utilizando programas profesionales durante la práctica laboral de estudiantes de Ingeniería Química y las ventajas para profundizar en los conocimientos recibidos en clases, los cuales en la mayoría de los casos sientan las bases conceptuales, pero están limitados respecto a la aplicación directa de los mismos en casos concretos en la industria.

Un aspecto interesante a analizar es que el modelo de simulación obtenido tiene en cuenta las configuraciones geométricas que afectan las fuerzas directoras de la transferencia de energía, lo que anteriormente constituyó punto de partida para analizar la importancia que tiene el cálculo de las pérdidas energéticas dentro de un proceso industrial y su relación directa con los costos de operación.

Una diferencia notable con respecto al nivel de análisis alcanzado en el proyecto de curso de la asignatura Balance de Masa y Energía, es que puede alcanzarse un escalón superior en el enfoque de la simulación, viendo el proceso de manera más integral ya que se puede analizar la relación de algunas variables sobre parámetros de eficiencia energética de la sección utilizando la herramienta de Caso de Estudio.

De acuerdo con los resultados mostrados y las características del simulador HYSYS, la estrategia no solo incluye el trabajo con los módulos de cálculo predefinidos dentro del simulador. La propia flexibilidad del simulador permite utilizar una hoja de cálculo para programar aquellos módulos en que se centra un especial interés como es el caso del horno, logrando con esto el complemento de las ventajas y desventajas de los dos enfoques de la simulación.

Sin lugar a dudas, la introducción de la simulación para la evaluación y el pronóstico como parte de los objetivos instructivos dentro de asignaturas lectivas de Ingeniería Química, posibilita que el estudiante mejore las potencialidades del aprendizaje e investigue de manera independiente sobre aquellos aspectos no tenidos en cuenta por él o por otras asignaturas hasta entonces.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se demostró cómo la consecución de un modelo de simulación del banco de precalentamiento de una Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado permite desde el punto de vista práctico, que los estudiantes aprendan y relacionen mejor las técnicas y conocimientos dados en clases en una planta en operación. Más allá de las posibles valoraciones y comparaciones entre los resultados obtenidos en el proyecto de curso de la asignatura Balance de Masa y Energía y el vínculo laboral-investigativo, la utilización de simuladores profesionales permite un análisis más profundo, dado principalmente por la posibilidad de crear distintos tipos de escenarios del mismo proceso y evaluar el impacto de estos en la eficiencia global del proceso. Este vínculo directo con la industria posibilita además acortar aun más la diferencia entre los conocimientos que se aprenden en el aula y la aplicación práctica de estos conocimientos en la industria. Otra ventaja relacionada con los resultados obtenidos durante el vínculo laboral-investigativo es que el modelo fue obtenido utilizando los dos enfoques antes expuestos de la simulación. Este permitió evaluar el proceso de precalentamiento de manera más integral y coherente mediante la aplicación de la simulación de procesos.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a los estudiantes: Danais Monteagudo Acosta, Jaime Dueñas Moreno, Lázaro Magaña Martel, Alejandro René Fernández Oñate y Yunior Sánchez Miranda, quienes desarrollaron su período de práctica laboral de manera excelente en la refinería donde se realizó el estudio. También agradecer a los trabajadores de la Unidad de Craqueo Catalítico y del Departamento de Optimización de Procesos de la refinería es estudio.

## REFERENCIAS

- 1. DELGADO LINARES, José G.; DELGADO LINARES, Gregorio A. y MERCADO OJEDA, Ronald A.** "Balances de masa y energía simplificados, aplicados a un proceso de craqueo catalítico de petróleo". *Educación Química*. 2009, vol. 10, núm. 4, pp. 456 - 460.
- 2. BYRNE, Edmond P. and FITZPATRICK, John J.** "Chemical Engineering in an Unsustainable World: Obligations and Opportunities" *Education for Chemical Engineers*. 2009, vol. 4, núm. 4, pp. 51-67.
- 3. FAVRE, Eric et al.** "Trends in Chemical Engineering Education: Process, Product and Sustainable Chemical Engineering Challenges" *Education for Chemical Engineers*. 2008, vol. 3, núm. 1, pp. e22-e27.
- 4. BENALI, Tahar; TONDEUR, Daniel and JAUBERT, Jean Noël.** "An Improved Crude oil Atmospheric Distillation Process for Energy Integration: Part I: Energy and exergy analyses of the process when a flash is installed in the preheating train" *Applied Thermal Engineering*. 2012, vol. 32, núm. 1, pp. 125-131.
- 5. ANAYA, DURAND, Alejandro.** "Reflexiones sobre la enseñanza de la ingeniería química" *Educación Química*. 2001, vol. 12, núm. 2, pp. 79 - 87.
- 6. HERRERA RODRÍGUEZ, Adnalay.** "Ampliación de los Proyectos de Curso para la Asignatura Ingeniería de Procesos III para curso por encuentros, en planta 2 de la refinería Níco López". Director: Raúl Montejo. Tesis de Grado, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Ciudad de La Habana, 2007.
- 7. LEWIN, Daniel R.; SEIDER, Warren D. and SEADER, J. D.** "Integrated Process Design Instruction" *Computers and Chemical Engineering*. 2002, vol. 26, núm. , pp. 295 - 306.
- 8. ARCE MEDINA, Enrique.** "La simulación como herramienta de desarrollo en la Ingeniería Química". *Educación Química*. 1995, vol. 6, núm. 3, pp. 174 - 178.
- 9. GARCÍA GONZÁLEZ, Juan Manuel et al.** "La simulación de procesos en ingeniería química" *Revista Investigación Científica*. 2008. vol. 4, núm. 2, pp. 1-9.
- 10. ASPELUND, A. et al.** "An Optimization-Simulation Model for a Simple LNG Process" *Computers and Chemical Engineering*. 2010, vol. 34, núm. 10, pp. 1606-1617.

## AUTORES

### Mario J. Muñoz Batista

Ingeniero Químico, Profesor Auxiliar, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

### Alain Perez González

Ingeniero Químico, Máster en Análisis y Control de Procesos, Profesor Auxiliar, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

### Oswaldo Gozá León

Ingeniero Químico, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

### Nelson Llovet de Armas

Ingeniero Químico, Refinería Níco López, La Habana, Cuba



## Aplication of the Simulation Process During the Working Practice of Chemical Engineering Students

### **Abstract**

The success of chemical engineering graduates depends on their aptitude and the skills received during the academic formation. Employers not only require that graduates have the knowledge of basic chemical engineering principles but knowing how to apply this knowledge in solving practical problems. In this paper, one form to obtain important skills is presented. The working practice is one of the most important subjects in the curriculum. *HYSYS* simulator which can realize the energetic evaluation was introduced. A simulation model of the preheat train of Fluid Catalytic Cracking Unit was obtained. The model was built using prebuilt models in *HYSYS*, however a fired heater to steady state doesn't exist. In this case, a spreadsheet was utilized in programming the energetic evaluation. Sometimes it is useful because it is necessary to use our models for specific equipment. Finally, the model was utilized to predict the system efficiency when changes on the operation variables occur. The use of simulation inside of core subjects helps to improve the level and quality of students' formation.

Key words: process simulation, Energetic evaluation, Heat exchanger train