

HYSIS COMO HERRAMIENTA EN LA ASIGNATURA TERMODINÁMICA PARA INGENIEROS QUÍMICOS (Primera Parte)

HYSYS AS A TOOL IN THE THERMODYNAMIC COURSE FOR CHEMICAL ENGINEERS (First Part)

Ing. Yarennis Cámbar Antunez 1, Dra. Margarita Rivera Soto 2,

1 Empresa de Medicamentos Líquidos Orales, Bayamo, Granma, Cuba.

2 Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.
risot@fiq.uo.edu.cu

Resumen

En este trabajo se presenta una experiencia docente en la Disciplina Principios de Ingeniería Química, que consiste en la simulación de situaciones problemáticas de la asignatura Termodinámica para Ingenieros Químicos, utilizando el simulador de procesos HYSYS. El objetivo principal fue realizar la simulación de las operaciones de Destilación, Flasheo y Reacción Química, que se estudian en la asignatura en el cuarto año de la carrera y constituyen importantes operaciones de la industria química, con el propósito de realizar de manera virtual tres prácticas de laboratorio, presentando en esta primera parte los aspectos relacionados con la Práctica de Laboratorio Virtual N° 1: "Cálculos típicos en columnas de destilación".

En el desarrollo de las prácticas el estudiante puede apreciar los cambios que experimentarían los sistemas objeto de estudio al introducir variaciones en las variables de operación, hecho que resulta imposible explorar en un proceso real, lo cual ofrece a los estudiantes las posibilidades de ampliar los conocimientos relacionados con la Termodinámica, logrando prepararlos como profesionales más competentes en el campo de la Ingeniería Química.

Se demuestra que HYSYS es un programa profesional eficiente para la simulación de situaciones problemáticas y realización de prácticas de laboratorio virtuales, destacándose su importancia como una herramienta muy útil para el docente en el caso de operaciones como estas, donde las condiciones reales existentes y medidas de seguridad requeridas exigen reactivos e instalaciones costosas, lo que amplía notablemente la aplicabilidad de este programa profesional en la docencia y su utilización con otros fines.

Palabras clave: HYSYS, simulación Termodinámica para Ingenieros Químicos.

Abstract

This paper presents a teaching experience in the Discipline Principles of Chemical Engineering, which consists of the simulation of problem situations of the subject Thermodynamics for Chemical Engineers, using the HYSYS process simulator. The main objective was to perform the simulation of Distillation, Flashing and Chemical Reaction operations, which are studied in the subject in the fourth year of the course and constitute important operations of the chemical industry, with the purpose of performing in a virtual way three practices. In this first part, the aspects related to the Practice of Virtual Laboratory N ° 1: "Typical calculations in columns of distillation".

In the development of the practices the student can appreciate the changes that the systems under study would experience when introducing variations in the variables of operation, a fact that is impossible to explore in a real process, which offers the students the possibilities of expanding the knowledge Related to Thermodynamics, managing to prepare them as more competent professionals in the field of Chemical Engineering. It is demonstrated that HYSYS is an efficient professional program for the simulation of problematic situations and realization of virtual laboratory practices, emphasizing its importance as a very useful tool for the teacher in the case of operations like these, where the existing real conditions and measures of Safety require expensive reagents and facilities, which greatly extends the applicability of this professional program in teaching and its use for other purposes.

Keywords : HYSYS, simulation. Thermodynamic for Chemical Engineering

INTRODUCCION

El uso de simuladores en la docencia, se ha venido introduciendo desde la década pasada dentro de los cursos de pregrado de las facultades de ingeniería química, con el fin de que los estudiantes de ingeniería adquieran competencias en el manejo de estos y por tanto, tengan un mejor desempeño en su vida profesional; esta situación viene condicionada por el hecho que los estudiantes pasan de ser consumidores pasivos de información, que sólo necesitan recordar hasta el próximo examen, a ser los participantes activos en la adquisición y utilización de conocimientos. En este ambiente ellos se auto-motivan para ampliar la información que han aprendido. /1/

Actualmente resulta indispensable para los profesionales de la ingeniería química contar en su formación con las herramientas de modelado y simulación de procesos, que les permitan mejores desempeños y eficiencia en la toma de decisiones relacionadas con la operación y administración de plantas industriales. Si se desea excelencia en las Universidades y que los profesores universitarios sean capaces de integrarse activamente a la sociedad del conocimiento, es indispensable que desarrollen las competencias necesarias para la integración de los programas profesionales, simuladores y otros recursos informáticos actualizados, en su práctica docente e investigativa, /2/, /3/.

En particular, en este trabajo la estrategia aplicada consiste en analizar diferentes situaciones prácticas que constituyen objetivos de la asignatura Termodinámica para Ingenieros Químicos y al mismo tiempo involucran operaciones básicas de la ingeniería química, pudiendo ser llevadas a la práctica en laboratorios virtuales y con ese fin, se diseñan los procedimientos específicos que pueden ser utilizados como guías metodológicas con las cuales los estudiantes pueden dar solución a cada caso, utilizando el simulador de procesos HYSYS y finalmente, el estudiante deberá aplicar lo aprendido en las prácticas virtuales y simular una serie de operaciones básicas interconectadas en un proceso diseñado por el docente, que puede o no ser real, en el cual podrá integrar todas las operaciones unitarias aprendidas hasta el año en curso y de ese modo, al finalizar la asignatura tendrá la capacidad de simular procesos reales de ingeniería. Este trabajo se ocupa de presentar una de las prácticas de laboratorio virtuales que se realizan en la asignatura.

El objetivo de este trabajo es desarrollar una metodología general para la implementación del uso del programa profesional HYSYS en la solución de situaciones problemáticas correspondientes a la asignatura Termodinámica para Ingenieros Químicos, estableciendo el procedimiento específico a utilizar en la Práctica de Laboratorio Virtual N° 1: "Cálculos típicos en columnas de destilación".

Desde el punto de vista de la Ingeniería Química la simulación es la solución de las ecuaciones de balance de masa y energía para procesos químicos, en estado estacionario o dinámico, así como del dimensionamiento, la obtención de costos de los equipos involucrados en un proceso y por último, el efectuar la evaluación preliminar del proceso, /4/. El corazón del análisis es el modelo matemático, un conjunto de ecuaciones que relacionan variables del proceso, como temperatura, presión, flujo, composición de las corrientes con el área superficial, posición de las válvulas, configuración geométrica, etc. La herramienta que el ingeniero químico utiliza para interpretar los diagramas de proceso, para localizar problemas operacionales y predecir el comportamiento de los procesos, es la simulación.

En el desarrollo de las prácticas simuladas, el estudiante podrá apreciar los cambios que experimentarían los sistemas objeto de estudio al introducir variaciones en las variables de operación, hecho que resulta imposible explorar en un proceso real, lo cual ofrece a los estudiantes las posibilidades de ampliar sus conocimientos en el campo de la Termodinámica, logrando prepararlos como profesionales más competentes en el campo de la Ingeniería Química.

Ventajas del uso de simuladores en el ámbito educativo.

Existen múltiples posibilidades de aplicación de simuladores en la enseñanza y el aprendizaje; su utilización con fines docentes, tiene importantes ventajas, entre las que se pueden mencionar las siguientes:

- Apoyan al aprendizaje de tipo experimental y conceptual.
- Involucran de manera dinámica al estudiante; él mismo construye su aprendizaje a partir de la propia experiencia en un entorno de aprendizaje abierto, entretenido y basado en modelos reales.
- Permiten realizar de manera económica un mayor número de prácticas, más variadas y complejas, con el ahorro de importantes recursos, como es el tiempo y otros materiales, una vez que se domina el software empleado en la simulación.

- Permiten al docente tener preparadas situaciones problemáticas prácticas para los estudiantes, sin tener que construirlas cada vez, conociendo de antemano los posibles resultados.

Según Speelman y col. la simulación provee el estímulo visual y la retroalimentación de un objeto verdadero, incluso cuando ese objeto es una representación virtual de un objeto en el mundo real. Los otros beneficios incluyen el trabajo en equipo y las destrezas que deben adquirir los estudiantes para tener éxito en muchas simulaciones, /5/.

DESARROLLO

Metodología general para la simulación de situaciones problemáticas de la asignatura Termodinámica para Ingenieros Químicos utilizando HYSYS

El procedimiento metodológico general para llevar a cabo simulaciones con HYSYS, en la asignatura Termodinámica para Ingenieros Químicos, esencialmente no difiere del que se aplica para la simulación de procesos en diferentes condiciones; los pasos a seguir son los siguientes:

- Formulación o interpretación de la situación problemática (identificación de los datos principales).
- Abrir el programa, crear y nombrar un nuevo caso estudio.
- Selección de las sustancias puras que intervienen en la situación.
- Seleccionar el modelo termodinámico apropiado.
- Construir el diagrama de flujo de la operación, área de interés o proceso a simular (DFP).
- Simulación del proceso.
- Análisis e interpretación de los resultados.

En el caso de este último aspecto es necesario plantear que un valor ilógico obtenido en la simulación es fácilmente identificado y rechazado por el estudiante, sin embargo en ocasiones los resultados pueden ser difíciles de interpretar y no resulta tan fácil identificar el error, siendo importante por esta razón el papel desempeñado por el docente en la supervisión y control de los primeros trabajos desarrollado por el estudiante de modo independiente.

Basado en lo anterior puede afirmarse que, cuando la simulación es realizada por estudiantes con poca la experiencia, no menos importante resulta ser la comparación de los resultados obtenidos con los valores calculados manualmente ya que, para los principiantes, existe mayor probabilidad de cometer errores, sobre todo en la interpretación de los resultados obtenidos.

Por lo anterior, en las prácticas virtuales desarrolladas en la asignatura, el estudiante debe entregar un informe de laboratorio, en cual se pide que establezca la comparación de los resultados obtenidos en la simulación con los cálculos manuales analizando el porcentaje de error. Lo que tiene la ventaja el desarrollo de habilidades en la aplicación de los métodos termodinámicos tradicionales y en los cálculos manuales.

En la simulación un paso muy importante lo constituye la selección del modelo termodinámico a emplear en el caso estudio que se simula (paso 4), ya que los métodos y ecuaciones de los modelos termodinámicos dependen en gran medida de la naturaleza de las sustancias empleadas y una elección incorrecta del modelo pudiera conducir a valores aparentemente lógicos, que constituyen errores inaceptables. Los estudiantes con poca experiencia en la simulación, deben ser orientados por el docente sobre el modelo termodinámico a emplear en cada caso, explicándoles el fundamento de la elección.

Conceptos fundamentales impartidos en la asignatura Termodinámica para Ingenieros Químicos y su relación con los casos estudio a simular

La asignatura Termodinámica para Ingenieros Químicos persigue como objetivo principal reforzar los conocimientos sobre el equilibrio de fases y el equilibrio químico, adquiridos por los estudiantes en las asignaturas Química General y Química Física, además de proporcionar los conocimientos requeridos para la evaluación termodinámica de diferentes equipos, que constituyen una base de estudio necesaria para el estudio posterior de otras materias relacionadas con las operaciones unitarias. La asignatura puede dividirse en dos partes: la primera dedicada al estudio el Equilibrio Líquido Vapor de sistemas binarios y de multicomponentes, tanto ideales como reales y la segunda al estudio cuantitativo del equilibrio químico de reacciones homogéneas y heterogéneas. Dentro de la asignatura se estudiarán cuatro temas.

- Tema 1: Introducción al equilibrio de fases.
- Tema 2: Evaluación del Equilibrio Líquido Vapor a bajas, moderadas y altas presiones.
- Tema 3: Aplicaciones del Equilibrio Líquido-Vapor binario y de multicomponentes.
- Tema 4: Estudio de los sistemas reaccionantes.

Con el estudio de los dos primeros temas los estudiantes adquieren los conocimientos básicos sobre el equilibrio de fases y las relaciones de equilibrio para evaluar puntos de equilibrio y construir diagramas de fases.

Los temas tres y cuatro son los que abarcan en su contenido los aspectos relacionados directamente con los casos de simulación que se presentan en este trabajo, como son: la determinación de puntos de burbuja y rocío para sistemas multicomponentes miscibles, el estudio del equilibrio Líquido-Vapor en columnas de destilación, además de otros como: la vaporización y condensación total y parcial, la vaporización instantánea y el flasheo, en sistemas binarios y multicomponentes miscibles.

Los conceptos que son tratados en estos temas y que se aplican en la simulación de los diferentes casos estudios de las prácticas de laboratorio virtuales, son incluidos en la fundamentación teórica de cada práctica; en este caso se orienta en particular la profundización en los contenidos fundamentales relacionados con cada tema.

Descripción de la Práctica de Laboratorio Virtual N° 1: "Cálculos típicos en columnas de destilación"

Esta práctica de laboratorio virtual tiene como objetivo la evaluación termodinámica de una columna de destilación, determinando los flujos, temperaturas y composición en las corrientes de salida y en los puntos intermedios.

Como preparación previa el estudiante deberá estudiar la teoría relacionada con los siguientes tópicos, estudiados en clase:

- Descripción de una columna de destilación. Arranque de una columna de destilación.
- Tipos de columnas de destilación.
- Evaluación general de una columna de destilación. Metodología.
- Descripción y usos de los equipos en que pueden ocurrir condensaciones y vaporizaciones totales y parciales de mezclas de compuestos solubles en fase líquida.

Se deberán tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La determinación de las condiciones de burbujeo y de rocío (P y T) constituye la base para la evaluación de los procesos de destilación.
- La aplicación de la regla de las fases a las variables intensivas de cada corriente de salida o de recirculación en los procesos de las columnas de destilación, permite definir si la corriente, considerada como un sistema está o no determinada en cuanto a todas sus variables intensivas. La aplicación de la regla de las fases a las corrientes de salida o de recirculación generalmente se hace cuando se carece de los valores de las composiciones y se tienen como datos la temperatura y la presión o viceversa.
- La aplicación de un análisis del sistema columna-condensador-rehervidor, es decir, del sistema como un todo, desde el punto de vista de los balances de masa, se hace cuando el resultado del análisis de las corrientes señalan la necesidad del conocimiento de un número definido de composiciones para completar la solución del problema y para hallar los valores de las corrientes de salida y las recirculadas.

Métodos utilizados y condiciones experimentales

Se aplica el método de trabajo independiente, que caracteriza la enseñanza basada en la solución de problemas, según el cual el estudiante se enfrenta a un problema que puede ser: un caso estudio o una situación problemática que forma parte de un conjunto de tareas de un trabajo de control extraclase o un proyecto de curso. En este caso, se implementan como prácticas de laboratorio simuladas y son desarrolladas las guías o procedimientos metodológicos que facilitarán la simulación de los problemas, paso a paso y su solución, en el ambiente del simulador de procesos HYSYS.

Las prácticas de laboratorio simuladas se realizan en los laboratorios de Computación de la Facultad de Ingeniería Química y Agronomía de la Universidad de Oriente. Se formarán equipos de dos o tres estudiantes, que resolverán los problemas manualmente para luego, durante el desarrollo de las prácticas de laboratorio simuladas, comprobar los resultados y entregar un informe del laboratorio con el análisis de resultados y por cientos de error obtenidos, que serán calificados y podrán ser discutidos con el profesor.

Descripción de la situación problémica a resolver: Caso Estudio N° 1

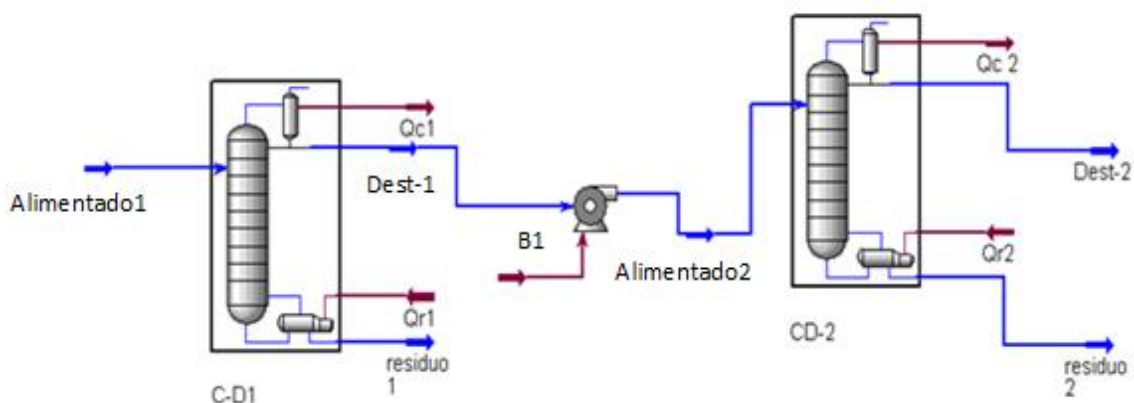


Fig. N° 1. Diagrama de flujo obtenido con el simulador HYSYS para la situación problémica 1

Se asigna una variante individual para cada equipo de estudiantes (con no más de tres estudiantes). La situación problémica consiste en la simulación de dos columnas de destilación acopladas para la separación de mezclas multicomponentes de hidrocarburos, como se ilustra en la figura 1, para determinar:

- El flujo molar y la composición del producto de fondo, así como las composiciones del vapor que abandona el rehervidor.
- El flujo molar del producto del tope, así como la composición del mismo.
- La temperatura del producto que abandona el condensador, dado el gradiente de presión entre el rehervidor y el condensador (parcial o total).
- La temperatura de la corriente de alimentación.
- La temperatura y composición del líquido que abandona el último plato de la columna, si la presión en el último plato es la misma que en el condensador.

Indicaciones preliminares para los cálculos manuales:

- Debe leerse el problema hasta interpretarlo completamente.
 - Hacer un diagrama de flujo donde se reflejen las variables conocidas y las incógnitas a resolver.
 - En base a la regla de las fases, realizar un análisis de las corrientes de salida consideradas como un sistema, en base a las variables de presión, temperatura y composiciones conocidas.
1. Hacer un análisis del sistema como un todo desde el punto de vista del balance de masas, con el fin de determinar los flujos y las corrientes de salida en los casos posibles en base a las indicaciones dadas, aplicando la metodología que habitualmente aplican en las clases prácticas para la evaluación general de una columna de destilación.

Para la solución manual de este problema, los estudiantes deben aplicar la metodología para la evaluación general de una columna de destilación y para ello deberán realizar los cálculos correspondientes a:

- Análisis de la resolubilidad del sistema.
- Balances de masa para determinar los flujos de todas las corrientes que intervienen en la operación.
- Determinación de la temperatura de burbuja o rocío según sea el caso que se presenta en el tope y fondo de la columna, utilizando las metodologías individuales que han sido desarrolladas y aplicadas para cada caso, las que se encuentran a disposición de todos los estudiantes en el FIQCLAS.
- Determinación de las composiciones obtenidas en las corrientes efluentes.
- Análisis de los resultados.

Los elementos anteriores constituyen los aspectos principales a considerar para el diseño de un procedimiento metodológico que oriente al estudiante durante la simulación de la práctica de laboratorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado principal del trabajo, se desarrolla un procedimiento general como una guía metodológica para el desarrollo de la práctica de laboratorio virtual N° 1, el que se presenta a continuación:

Técnica operatoria para Práctica de Laboratorio Simulada N° 1.

Título: "Cálculos típicos en columnas de destilación"

Tema N° 3: Aplicaciones del ELV en sistemas multicomponentes solubles.

Objetivos:

Los estudiantes deben ser capaces de:

- Simular el proceso de destilación de un sistema multicomponentes, utilizando como herramienta el simulador profesional HYSYS.
- Desarrollar habilidades prácticas en la determinación de puntos de burbuja y rocío, de una corriente de hidrocarburos en condiciones conocidas, mediante el uso de programas profesionales.
- Determinar los flujos másicos y composiciones de los efluentes del sistema, comprobando los resultados obtenidos en el análisis del sistema columna-condensador-rehervidor, es decir, del sistema como un todo, desde el punto de vista de los balances de masa.
- Analizar comparativamente los resultados de los cálculos manuales con los obtenidos en la simulación, valorando el error introducido en los cálculos manuales.

Materiales:

La práctica se desarrollará en el Laboratorio de Computación, de forma simulada en computadoras digitales personales, a través del uso del simulador "HYSYS".

Fundamento Teórico

Columna de destilación: Descripción y usos. Equipos de condensación y vaporización total o parcial: condensador y rehedidor. Evaluación termodinámica de una columna de destilación.

Bibliografía Recomendada:

- Libro de Texto: Mondeja G. D y colaboradores: "Termodinámica para Ingenieros Químicos", Editorial Félix Varela, La Habana, 2007.
- Documentos:
 - "Introducción al uso del Simulador HYSYS en Prácticas de Laboratorio de Termodinámica para Ingenieros Químicos".
 - "Columnas de Destilación N° 1" y "Columnas de Destilación N° 2".
 - Notas de Conferencias 9 y 10, así como clases prácticas y otros documentos relacionados con la temática

(Todos los documentos deben estar ubicados en FIQCLAS).

• Indicaciones preliminares

Para la utilización del simulador HYSYS los estudiantes deberán considerar algunas instrucciones específicas:

- Se orienta el estudio de la Metodología General desarrollada para realizar simulaciones con HYSYS, ubicada en el documento "Introducción al uso del Simulador HYSYS en Prácticas de Laboratorio de Termodinámica para Ingenieros Químicos" (ubicado en el FIQCLAS por el docente).
- Analizar y resolver la situación problemática que se asigne en cada caso estudio (por cada pareja de estudiantes).

Importante: Se orienta llevar al laboratorio los resultados obtenidos en los cálculos manuales para confirmar los obtenidos en la simulación.

• Instrucciones para el desarrollo de la práctica simulada

- Comenzar la primera etapa de la práctica (Comprobar inicialmente que en la PC esté instalado el programa HYSYS 5.2 u otra versión superior).
- Leer cuidadosamente el problema, interpretar el caso estudio asignado y revisar los datos de la variante que le corresponda.
- Aplicando la metodología general para realizar simulaciones de casos estudio de la asignatura Termodinámica para Ingenieros Químicos, con el simulador HYSYS:

- Construir el diagrama de flujo interconectando todos los equipos y accesorios involucrados en la operación unitaria de Destilación, según requiere la situación problemática planteada, así como sus especificaciones.
- Seleccionar el método termodinámico a emplear e introducir los datos de cada corriente y los parámetros operacionales de cada equipo de trabajo, siguiendo las informaciones correspondientes a cada caso estudio.
- Simular la operación.
- Correr el programa y en caso de error o advertencia revisar detenidamente cada paso realizado y repetir.
- Anotar los resultados obtenidos, para su comparación posterior con los valores calculados manualmente y calcular los por cientos de error para considerarlos en el informe de la PL.

Recomendaciones

- Para la selección del método termodinámico a emplear, así como para introducir las especificaciones de válvulas y/o bombas, tener en cuenta las indicaciones dadas por el profesor al inicio de la práctica. En caso de tener dificultades consultar al profesor.
- Después de correr el programa HYSYS, se debe proceder a la confección del informe de la práctica realizada, según se indica a continuación:

4. Instrucciones para la confección del informe

En el informe deben aparecer los siguientes datos, además de los nombres de los estudiantes:

4.1 Título y objetivos de la práctica.

4.2 Breve introducción teórica que contemple los siguientes aspectos:

- a. La determinación de las condiciones de burbujeo y de rocío (P y T) como base fundamental para la evaluación de los procesos de destilación.
- b. Condición matemática de los puntos de burbuja y de rocío. Metodología para la evaluación de una columna de destilación".

4.3 Descripción del caso estudio:

a. Descripción de la situación problemática o caso estudio a simular
El estudiante resolverá un problema similar al que se presenta en el caso estudio N° 1, descrito anteriormente.

b. Datos experimentales:

Se debe destacar que al finalizar la práctica será asignada como tarea individual para cada estudiante, la resolución de una situación problemática que deberán resolver de modo independiente y entregar conjuntamente con el informe de laboratorio; en este caso las diferentes variantes serán previamente elaboradas por el docente.

Los datos particulares de cada caso – estudio a simular, se ofrecerán en una tabla que contendrá diferentes situaciones problemáticas a resolver. Se orienta la selección de estos según la variante que le corresponda a cada estudiante.

4.4 Resultados Obtenidos.

a. Presentar el diagrama de flujo construido con HYSYS. (Se debe entregar en formato digital).

b. Los resultados se presentarán tabulados, con un formato similar al de la tabla :

Tabla 1. Resultados correspondientes a la PL simulada N° 1

Caso Estudio N°	Ci	Resultados obtenidos de forma manual			Resultados obtenidos con el simulador			% Error
		Composiciones (% molar de Cni)	Flujo (kmol/h)	T (° C)	Composiciones (% molar de Cni)	(kmol/h)	T (° C)	

* En la tabla Ci: Significa corriente

Cni: componente i

* En la tabla Ci: Significa corriente

Cni: componente i

4.5 Conclusiones de la Práctica

Por último, como conclusiones del informe de laboratorio, el estudiante deberá valorar los resultados obtenidos, comentando acerca del por ciento de desviación entre los valores simulados y los calculados manualmente. Los resultados deberán informarse en el Sistema Internacional de Unidades.

Se pedirá la opinión de los estudiantes sobre los aspectos positivos de la práctica simulada y las sugerencias que, a su modo de ver, pudieran mejorar su calidad.

Aplicación de los resultados

La práctica de laboratorio virtual "Cálculos típicos en columnas de destilación" se ha implementado en la asignatura desde hace cinco años; durante los cuales se han impuesto variantes individuales para cada estudiante, las que no se repiten en el próximo curso, destacando el hecho de que se ha logrado la participación activa del total de estudiantes matriculados en el año y al finalizar la práctica cada estudiante

ha podido resolver de modo independiente una situación problemática particular como tarea individual.

Los resultados obtenidos durante cada año han sido excelentes, relacionados con el grado de motivación y participación dinámica de los estudiantes; por otra parte el empleo del HYSYS como simulador profesional en los laboratorios de Termodinámica constituye un método efectivo para el desarrollo de la capacidad de aprendizaje de los estudiantes unido al desarrollo de habilidades que le han permitido posteriormente, al realizar todas las prácticas virtuales de esta asignatura, resolver problemas de mayor complejidad incluyendo la simulación de un proceso industrial.

El desarrollo de esta práctica permitió comprobar que el uso del simulador HYSYS permite, de manera rápida y eficiente, cumplir los objetivos de la práctica sin complejidades, más aún cuando el docente garantice materiales auxiliares que permitan una mejor preparación del estudiante; sin embargo es importante destacar que la calidad de las prácticas de laboratorios simuladas dependerá del interés, la correcta preparación previa y la disposición de los estudiantes.

CONCLUSIONES

El análisis de los resultados obtenidos en el trabajo, permite concluir que:

1. La metodología general desarrollada permite utilizar el software HYSYS en la simulación de las operaciones de destilación y flasheo, como variantes de casos de estudio a resolver durante la realización de las prácticas de laboratorio virtuales:

- "Cálculos típicos en columnas de destilación."

- "Cálculo de puntos intermedios entre los puntos de burbujeo y de rocío en sistemas miscibles."

2. El procedimiento específico desarrollado para la resolución de diferentes situaciones problemáticas del tema III de la asignatura Termodinámica para Ingenieros Químicos, constituye una guía metodológica para ser aplicada como técnica operatoria en la realización de la práctica de laboratorio virtual: "Cálculos típicos en columnas de destilación."

3. La aplicación del procedimiento metodológico desarrollado permitió comprobar que el uso del simulador de procesos HYSYS en la docencia, además de ser de gran motivación para los estudiantes, presenta como ventajas la posibilidad de realizar estudios termodinámicos en operaciones básicas de la ingeniería química, sin requerir el uso de instalaciones de laboratorio o plantas pilotos con estos fines, lo que evitaría procedimientos muy costosos que demandan un tiempo de ejecución considerable.

NOMENCLATURA

Mayúsculas

B1: Bomba (en la figura 1)

C: Corriente (en la tabla 1)

CD1 y CD2: Columna de destilación 1 y 2, respectivamente

Ci: Componente (en la tabla 1)

Dest-1 y Dest-2: destilado obtenido en las columnas de destilación 1 y 2, respectivamente (en la figura 1)

FIQCLAS: Plataforma virtual de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Oriente.

Qc: Flujo de calor liberado en el condensador de cada columna de destilación.

Qr: Flujo de calor absorbido en el rehedidor de cada columna de destilación.

T: Temperatura

BIBLIOGRAFÍA

1. SCENNA N. y col. *Modelado, Simulación y Optimización de Procesos Químicos* : ISBN: 950-42-0022-2 - ©1999

2. "Situación e importancia de la simulación en ingeniería química"., Disponible en Internet: <http://www.rincón del vago>

3."Uso de los simuladores en la docencia". Disponible en Internet: <http://www.educant.org/node/4526>

4.GARCÍA G, J. M y col."La simulación de procesos en ingeniería química". *Revista Investigación Científica* , Vol. 4, No. 2, Nueva época. Mayo - Agosto 2008.

5. SPEELMAN G, G. D., I.T " Proposal - simulation project as the higher order thinking technique for instruction". (Ed). *Proceeding of the 19th Society for Information Technology and Teacher Education International Conference*, págs. 1813-1817., Chesapeake V. A: AACE, 2008.

Recibido: Noviembre 2017

Aprobado: Marzo 2018

Ing. Yarennis Cámbor Antunez. Empresa de Medicamentos Líquidos Orales, Bayamo, Granma, Cuba.