

# APLICACIONES TECNOLÓGICAS PARA LA ENSEÑANZA DE SISTEMAS DE INTERCAMBIO DE CALOR

**Mario D. Flores<sup>1</sup>, Manuel Alvarez Dávila<sup>1</sup>, Paola Girbal<sup>1</sup> y Sergio Marino<sup>1</sup>**

*1- Departamento de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata, 60 y 124 s/n, La Plata, Buenos Aires, Argentina.*

*Email: mdflores3@gmail.com, madavila89@gmail.com*

## RESUMEN

La presente investigación parte de analizar el impacto que tiene la implementación de una herramienta tecnológica, seleccionada por la visibilidad y aplicabilidad que propone el método (como por ejemplo, el uso de un intercambiador de calor), para que los estudiantes de la Carrera Ingeniería Química comprendan el funcionamiento de los sistemas de transferencia de calor, y puedan aplicarlos al diseño y/o desarrollo del equipamiento respectivo más utilizado en el campo de la Ingeniería. Por otro lado, se pretende proveer de herramientas en el manejo de datos experimentales mediante instrumentos computacionales, uso de tablas y correlaciones.

**PALABRAS CLAVE:** enseñanza, sistemas, intercambio, calor, ingeniería

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En el contexto mundial actual la educación presenta exigencias grandes y complejas. Concebir la educación como un todo requiere que se estructure en torno a cuatro aprendizajes fundamentales: aprender a conocer, aprender a hacer, aprender a vivir y aprender a ser [1].

La enseñanza tradicional se centra en el aprender a conocer, y en menor medida en el aprender a hacer, dejando de lado los otros tipos de aprendizaje [2].

De esta forma, se han ido privilegiando el desarrollo de las competencias y la adopción de actitudes por encima de la pura asimilación de conocimientos, para formar profesionales calificados y dispuestos a asumir diversas actividades interdisciplinarias involucradas en la elaboración de bienes y servicios que faciliten la vida cotidiana [3].

Una persona competente es aquella que posee los conocimientos, valores, habilidades y actitudes necesarias para el desarrollo de un trabajo de acuerdo con las normas vigentes.

De esta forma, la capacidad de responder a diferentes situaciones cotidianas o nuevas, implica un saber hacer (habilidades), con saber (conocimiento), así como la valoración de las consecuencias de ese hacer (valores y actitudes) [4].

El eje principal de la educación por competencias es el desenvolvimiento, entendido como “la expresión concreta de los recursos que pone en juego el individuo cuando lleva a cabo una actividad, y que pone el énfasis en el uso o manejo que el sujeto debe hacer de lo que sabe, no del conocimiento aislado, en condiciones en las que el desempeño sea relevante” [5]. Desde esta perspectiva, lo importante no es la posesión de determinados conocimientos, sino el uso que se haga de ellos.

Es por todos estos motivos que se debe innovar en métodos menos pasivos para afianzar el proceso de enseñanza-aprendizaje, y para ello los ensayos experimentales basadas en el uso de equipamiento didáctico-tecnológico juegan un papel primordial, teniendo en cuenta lo que el alumno ya sabe y lo que es susceptible de aprender [6], pudiéndose así garantizar la familiarización de los estudiantes con la metodología científica y su vida profesional [7].

Por otro lado, las nuevas tecnologías permiten desarrollar la capacidad de utilizar el conocimiento científico, identificar preguntas relevantes y obtener conclusiones basadas en evidencias, con la finalidad de comprender y ayudar a tomar decisiones [8].

Dentro del Laboratorio de Ingeniería Química se cuenta con un intercambiador de calor, el cual puede implementarse como herramienta tecnológica para llevar adelante ensayos previos al dimensionamiento de equipos. Entonces, se espera poder incorporar nuevas metodologías y equipamiento para enriquecer la adquisición de conocimientos de los estudiantes, favoreciendo la creatividad y la participación orgánica de todos los actores, como así también el manejo de datos experimentales mediante instrumentos computacionales, uso de tablas y correlaciones

A partir de lo expuesto, los objetivos del presente trabajo son analizar el impacto que tiene el uso de equipamiento tecnológico para los alumnos de la asignatura Termodinámica del 3° año de la Carrera Ingeniería Química, el cual fue seleccionado por su visibilidad y aplicabilidad dentro de los procesos de transferencia de calor.

## **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**

La propuesta de trabajo consiste en la ejecución y comunicación oral y escrita de un proyecto relacionado con el ensayo y verificación de un equipo de transferencia de calor. Las actividades programadas tienen características grupales con participación activa de los estudiantes, donde a cada grupo de alumnos se le asignará un docente asesor.

Se formarán dos grupos de trabajo que deberán demostrar la calefacción o refrigeración por transferencia de calor desde una corriente de fluido a otra separadas por una pared sólida (transferencia de calor de líquido a líquido) y el balance de energía de un intercambiador de placas.

Las determinaciones experimentales se llevarán a cabo en un intercambiador de calor Armfield Modelo HT30XC (Figura 1) y su respectivo módulo de servicio HT37 (Figura 2), el que provee caudales controlados de agua fría y caliente (siendo este último reversible en su sentido), control de temperatura inicial del agua caliente e instrumentación., la cual permite llevar a cabo investigaciones sobre el comportamiento y rendimiento de los intercambiadores de calor. Además, se hará uso de tablas, gráficos y correlaciones para realizar ajustes estadísticos, como así también para obtener las propiedades físicas del fluido de proceso a utilizar, a diferentes temperaturas.



Figura 1. Intercambiador de calor Armfield HT30XC

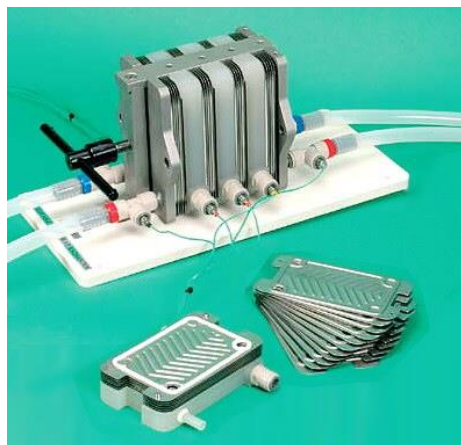


Figura 2. Módulo de servicio HT37

Las actividades se programan de forma tal que cada tema sea abordado por todos grupos en etapas progresivas. Las tareas se encadenan y los resultados obtenidos en un determinado período son revisados en el siguiente por otro grupo que obtiene sus propias conclusiones, con la finalidad de estudiar el mismo tema con el aporte sucesivo de varias comisiones.

Los datos empíricos serán comparados con información obtenida de acuerdo a la bibliografía de referencia [9-12], con el fin de extraer conclusiones sobre los métodos teóricos aplicados, dando lugar a la corrección de detalles y al perfeccionamiento de las técnicas de medición.

Una vez que se han desarrollado todas las actividades experimentales, cada grupo realiza la presentación de un informe en forma oral y escrito al resto de sus compañeros y a los docentes, durante aproximadamente treinta minutos, donde consten los resultados obtenidos. Finalmente se confecciona un espacio de discusión conjunta del tema.

La metodología propuesta tiene como finalidad promover la participación activa y permanente de los alumnos, sostenida por el análisis de los resultados y el debate en conjunto de los mismos, propiciando el desarrollo personal y grupal a partir de herramientas tecnológicas, es por eso que durante el transcurso de las actividades experimentales se deben introducir los conceptos teóricos necesarios para la comprensión de los fenómenos relacionados con la ingeniería química, haciendo hincapié en los métodos de transferencia de calor, realizando conceptualizaciones y estudios analíticos.

La secuencia que se siguió para determinar el grado de avance que tuvieron los alumnos, fue una encuesta a cada uno de ellos una vez finalizadas las actividades programadas, para así cuantificar la incorporación que tuvieron de los conocimientos y si las metodologías empleadas fueron satisfactorias, teniendo en cuenta que las poblaciones deben situarse claramente en torno a sus características de contenido, lugar y tiempo. El análisis de las mismas debe lograr una comunicación y construcción conjunta de significados con base en una guía de preguntas específicas y sujetas exclusivamente a ésta [13].

## TRABAJO EXPERIMENTAL

El equipamiento tecnológico-didáctico a emplear es un intercambiador de calor de placas, en el cual el flujo de los fluidos caliente y frío circula dentro de canales en lados alternos de las placas. Cada corriente pasa tres veces en la serie a través de las placas en cada paquete.

El número total de pasadas dependerá de la cantidad total de secciones en el uso de la calefacción. Cualquier diferencia de temperatura a través de las placas de metal, dará lugar a la transferencia de calor entre las dos corrientes de fluido. Como las corrientes pasan a través del paquete de placas, el agua caliente se enfría y el agua fría se calienta.

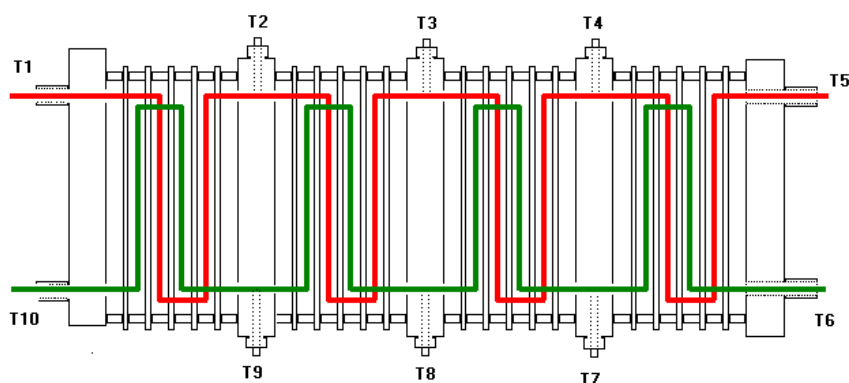


Figura 3. Intercambiador de calor con dos corrientes que fluyen en direcciones opuestas

Para esta demostración el intercambiador de calor está configurado en contracorriente, donde los fluidos caliente y frío entran en el intercambiador por los extremos opuestos. Sin embargo, los flujos no son verdaderamente a contracorriente en todo el intercambiador porque el flujo a cada lado de las placas no está siempre en direcciones opuestas, como se muestra a continuación.

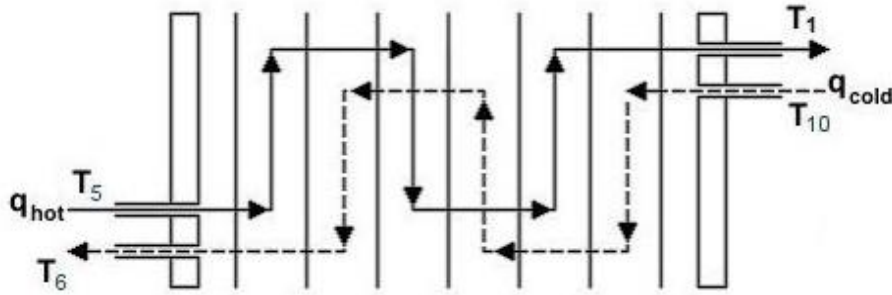


Figura 4, Patrón de flujo a contracorriente para una sola sección de calentamiento

Los alumnos encontrarán en la pantalla del software un conjunto de botones de opción múltiple para el número de secciones de calefacción en uso. De este modo, deben seleccionar la opción que coincida con la configuración actual del equipo.

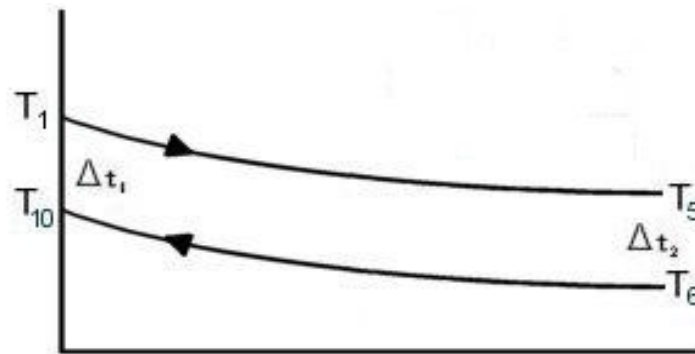


Figura 5. Perfiles de temperatura a contracorriente

Luego ajustarán el regulador de temperatura a un valor de aproximadamente 20°C por encima de la temperatura del agua fría, indicando los caudales de circulación de agua.

A continuación se muestran los pasos a seguir por cada grupo.

#### Grupo I

- i) Iniciar la circulación de agua caliente y ajustar el controlador en "automático" dando un valor de 2 litros/min. Fijar el caudal de agua fría a 1 litro/min.
- ii) Dejar que el intercambiador de calor se estabilice. Cuando las temperaturas no presenten cambios, registrar los siguientes datos:  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, T_8, T_9, T_{10}, F_{hot}, F_{cold}$ .
- iii) Ajustar el flujo de agua fría a 2 litro/min y el de agua caliente a 1 litro/min. Dejar que el intercambiador de calor se estabilice y repetir las lecturas anteriores.
- iv) Una vez finalizada la determinación de temperaturas, completar la actividad mediante el cálculo de la energía transferida de cada flujo para hallar la eficiencia global.

## Grupo II

- i) Repetir los pasos que realizó el Grupo I pero utilizando un caudal de agua caliente de 1 litro/min y uno de agua fría de 1 litro/min. Posteriormente, modificar el caudal de agua caliente a 2 litro/min y el de agua fría a 2 litro/min.
- ii) Realizar los cálculos pertinentes y sacar las conclusiones correspondientes

## Resultados experimentales

El software registra todas las salidas de los sensores, determinando algunas figuras derivadas (Figura 5) y los datos registrados (Tablas 1 y 2), teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

Reducción de la temperatura del fluido caliente

$$\Delta T_{\text{hot}} = (T_1 - T_5)$$

Incremento de la temperatura del fluido frío:

$$\Delta T_{\text{cold}} = (T_{10} - T_6)$$

Calor emitido por el fluido caliente

$$Q_e = qm_h C_{p_h} (T_1 - T_5)$$

Calor absorbido por el fluido frío

$$Q_a = qm_c C_{p_c} (T_{10} - T_6)$$

Calor ganado o perdido

$$Q_f = Q_e - Q_a$$

Eficiencia global

$$\eta = (Q_a / Q_e) \times 100$$

<b>Grupo I</b>				
<b>Parámetros a Determinar</b>	<b>Expresión</b>	<b>Unidades</b>	<b>2c/1f</b>	<b>1c/2f</b>
Flujo volumétrico de fluido caliente	$q_{vhot}$	(m <sup>3</sup> /s)	2,00	1,00
Temperatura de entrada de fluido caliente	$T_1$	(°C)	50,50	52,50
Temperatura intermedias del fluido caliente	$T_2-T_4$	(°C)	7,70	7,80
Temperatura de salida de fluido caliente	$T_5$	(°C)	34,70	24,50
Flujo volumétrico de fluido frío	$q_{veold}$	(m <sup>3</sup> /s)	0,98	2,01
Temperatura de entrada de fluido frío	$T_6$	(°C)	23,80	24,30
Temperatura intermedias del fluido frío	$T_7-T_9$	(°C)	-9,70	-1,00
Temperatura de salida de fluido frío	$T_{10}$	(°C)	42,70	27,40
Calor específico del fluido caliente	$C_{p_h}$	kJ/kgK	4,18	4,18
Calor específico del fluido frío	$C_{p_c}$	kJ/kgK	4,18	4,18
Densidad del fluido caliente	$\rho_h$	kg/m <sup>3</sup>	991,20	992,80
Densidad del fluido frío	$\rho_c$	kg/m <sup>3</sup>	994,60	996,80
Flujo másico del fluido caliente	$qm_h$	kg/s	0,033	0,016
Flujo másico del fluido frío	$qm_c$	kg/s	0,016	0,033
Calor emitido	$Q_e$	W	<b>2,18</b>	<b>1,87</b>
Calor absorbido	$Q_a$	W	<b>1,26</b>	<b>1,26</b>
Calor perdido	$Q_f$	W	<b>0,92</b>	<b>0,61</b>
Eficiencia global	$\eta$	%	<b>57,80</b>	<b>67,38</b>

Tabla 1. Determinaciones realizadas por el Grupo I

<b>Grupo II</b>				
<b>Parámetros a Determinar</b>	<b>Expresión</b>	<b>Unidades</b>	<b>1c/1f</b>	<b>2c/2f</b>
Flujo volumétrico de fluido caliente	$q_{vhot}$	(m <sup>3</sup> /s)	1,00	2,10
Temperatura de entrada de fluido caliente	$T_1$	(°C)	48,50	41,40
Temperatura intermedias del fluido caliente	$T_2-T_4$	(°C)	9,60	4,70
Temperatura de salida de fluido caliente	$T_5$	(°C)	26,80	31,10
Flujo volumétrico de fluido frío	$q_{veold}$	(m <sup>3</sup> /s)	1,00	2,00
Temperatura de entrada de fluido frío	$T_6$	(°C)	24,10	24,50
Temperatura intermedias del fluido frío	$T_7-T_9$	(°C)	-4,20	-5,20
Temperatura de salida de fluido frío	$T_{10}$	(°C)	33,20	34,70
Calor específico del fluido caliente	$C_{p_h}$	kJ/kgK	4,18	4,18
Calor específico del fluido frío	$C_{p_c}$	kJ/kgK	4,18	4,18
Densidad del fluido caliente	$\rho_h$	kg/m <sup>3</sup>	993,10	993,60
Densidad del fluido frío	$\rho_c$	kg/m <sup>3</sup>	996,10	995,80
Flujo másico del fluido caliente	$qm_h$	kg/s	0,017	0,034
Flujo másico del fluido frío	$qm_c$	kg/s	0,018	0,033
Calor emitido	$Q_e$	W	<b>1,54</b>	<b>1,46</b>
Calor absorbido	$Q_a$	W	<b>0,68</b>	<b>1,41</b>
Calor perdido	$Q_f$	W	<b>0,85</b>	<b>0,05</b>
Eficiencia global	$\eta$	%	<b>44,15</b>	<b>96,56</b>

Tabla 2. Determinaciones realizadas por el Grupo II

## RESULTADOS

La validación de las respuestas proporcionadas por los alumnos sobre el desarrollo de las actividades experimentales, evaluación de los mismos y dinámica de trabajo, se representaron en gráficos estadísticos de barras, cuyos resultados se presentan a continuación.

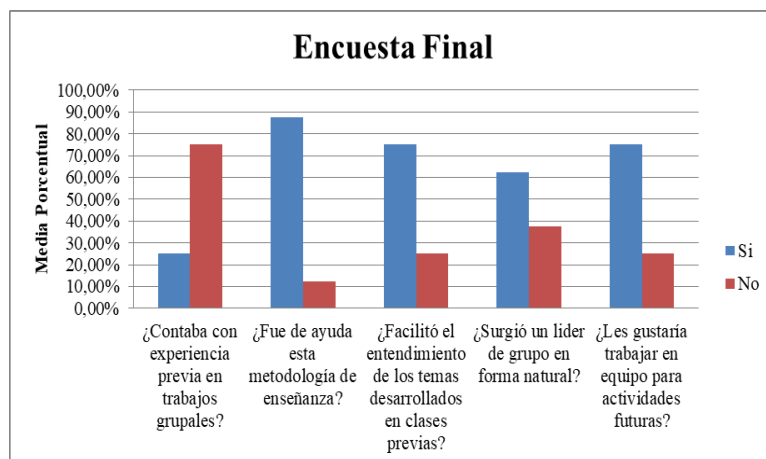


Gráfico 1. Resultados de las encuestas

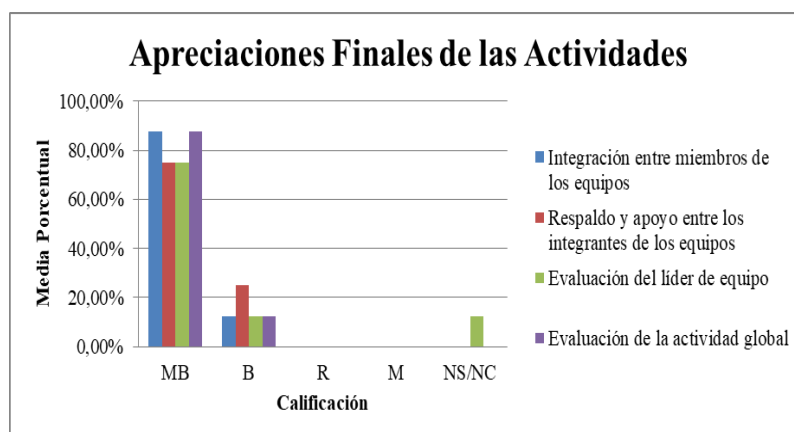


Gráfico 2. Apreciaciones finales

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos se ha demostrado cómo, utilizando un intercambiador de calor de placas una corriente de fluido frío puede ser calentada por contacto indirecto con otra corriente de fluido a una temperatura más alta (las corrientes de fluido que están separadas por paredes de placas que conducen el calor). Esta transferencia de calor resulta en un enfriamiento del fluido caliente.

Si bien teóricamente  $Q_e$  y  $Q_a$  deben ser iguales, en la práctica difieren debido al intercambio de calor con el medio que siempre existe y suele omitirse en los cálculos con fines educativos, dicho intercambio ocurre porque el conjunto de placas está expuesto al ambiente, cualquiera de las superficies de metal que



difieran de la temperatura del ambiente perderá o ganará calor en función de la temperatura de la superficie. Como la temperatura del ambiente estuvo por debajo de la temperatura media del metal, se obtuvieron eficiencias menores al 100% ( $\eta < 100$ ).

A partir de los Gráficos 1 y 2 se puede observar que los alumnos muestran interés para trabajar en grupo y elaborar informes grupales. Antes de realizar las actividades, algunos de los alumnos declararon nunca haber trabajado en equipo, pero al trabajar en grupos colaborativos y ver la necesidad de entregar informes, manifestaron que habían apreciado los aportes de sus compañeros y que la dinámica de trabajo fue muy buena. A su vez, se observa una marcada calificación, representada aproximadamente por el 75% de los cuestionados, donde se muestra que esta metodología de enseñanza facilitó la comprensión de los contenidos.

Dentro de la dinámica de trabajo fue importante conocer si se presentó entre ellos la designación de un líder. El 60% demuestra que hay alumnos que requieren de alguien que los dirija y que el desempeño del mismo fue satisfactorio, mientras que un 25% no lo considera necesario.

El trabajo en grupo permitió que los alumnos interactuaran en forma mucho más personal ya que gran parte de la interacción entre ellos se realizó fuera de los horarios de clases, y si bien la figura del líder para algunos fue meramente anecdótica, para la gran mayoría representó el agente de cambio para su entorno, brindando una orientación positiva.

La mejora en el entendimiento de los conceptos termodinámicos se vio reflejada en la resolución de los cálculos matemáticos, análisis bibliográfico de los casos y administración del tiempo para las presentaciones orales y escritas. Ambos casos dieron lugar a un análisis más crítico por parte de los alumnos, ya que surgieron discusiones vinculadas a la interpretación de resultados empíricos, ecuaciones que gobiernan dichos procesos y las técnicas de medición.

Es por eso que, analizadas las respuestas brindadas por los alumnos, se obtuvieron resultados muy positivos respecto a la implementación del equipamiento tecnológico como motor de experiencias educativas.

## **CONCLUSIONES**

Tal y como se desprende de las encuestas efectuadas, los alumnos se encontraron motivados y satisfechos con el trabajo efectuado dentro de los proyectos y manifiestan que ha mejorado su comprensión sobre el funcionamiento de los equipos después haber hecho los cálculos y su visualización, es decir que fueron susceptibles de construir los conceptos, asimilando principios y teorías bajo la orientación del docente.

La implementación de un intercambiador de calor como herramienta tecnológico-didáctica, presentó características que lo hacen apropiado para complementar los métodos tradicionales de enseñanza, ya que desarrollan el ingenio, creatividad y análisis crítico de los estudiantes, lo que redundó en un buen desarrollo de competencias y actitudes por encima de la pura asimilación de conocimientos.

## REFERENCIAS

- [1] J. Delors, *La Educación encierra un tesoro. Informe a la UNESCO de la Comisión Internacional sobre la Educación para el siglo XXI*, Ediciones UNESCO, Madrid, **1996**.
- [2] R. Márquez, L. Tolosa, R. Gómez, C. Izaguirre, L. Rennola, J. Bullón, B. Sandia. *Reproducción de un ambiente de innovación en el salón de clase. Una estrategia para promover la creatividad en la educación en Ingeniería Química*, Educación Química, Vol. 27, Issue 4, **2016**, pág. 249-256.
- [3] A. Valiente Barderas, C. G. Bienzobas, *Habilidades espaciales y competencias en Ingeniería Química*, Educación Química, Vol. 25, Issue 2, **2014**, pág. 154-158.
- [4] A. Pérez Gómez, *La naturaleza de las competencias básicas y sus aplicaciones pedagógicas*, Cuadernos de Educación 1, Consejería de Educación de Cantabria, **2007**.
- [5] M. Malpica, *El punto de vista pedagógico en la formación por competencias*, CONALEP, México, **1996**.
- [6] L. Torres, M. Villareal, P. Zapata, J. Rodríguez, E. Colmenares, S. Moreno, *Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de la química en la educación superior*, Universidad Autónoma de Barcelona, Instituto de Ciencias de la Educación, **2013**.
- [7] G. Urrea Quiroga, J. A. Niño Navia, J. I. García Sepúlveda, J. P. Alvarado Perilla, G. A. Barragán de los Ríos, O. Hazbón Álvarez, *Del aula a la realidad. La importancia de los laboratorios en la formación del ingeniero. Caso de estudio: Ingeniería Aeronáutica – Universidad Pontificia Bolivariana*, World Engineering Education Forum (WEEF), Cartagena, Colombia, **2013**.
- [8] K. Ross, *El lugar de la tecnología educativa en el aprendizaje de las ciencias: una perspectiva constructivista ilustrada por el concepto de energía*. *Journal of science education*, **2006**, pág. 92-95.
- [9] D. Kern, *Procesos de transferencia de calor*, CECSA, **1999**.
- [10] A. Marie, L. T. Flynn, *Kern's Process Heat Transfer*, Wiley, **2016**.
- [11] A. Cayode Coker, *Ludwing's Applied Process Design for Chemical and Petrochemicals Plants*, Chapter "Heat Transmission", Elsevier, **2010**.
- [12] M. Llorens, A. L. Miranda, *Ingeniería Térmica*, Marcombo, **2009**.
- [13] R. Hernández-Samperi, C. Fernández Collado, P. Baptista-Lucio, *Metodología de la investigación*, McGraw Hill, **2006**.