

EJE TEMÁTICO: ENSEÑANZA DE TEMAS DE QUÍMICA INORGÁNICA Y FÍSICO-QUÍMICA

ENSEÑANZA DE SISTEMAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN INGENIERÍA QUÍMICA

TEACHING OF HEAT TRANSFER SYSTEMS IN CHEMICAL ENGINEERING

Mario D. Flores^{1*}, Manuel Alvarez Dávila¹, Sergio Marino¹ y Paola Girbal¹

1- Departamento de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata. Buenos Aires. Argentina.

**Email: mdflores3@gmail.com*

RESUMEN

El presente trabajo parte de analizar el impacto que tiene la implementación de una herramienta práctica, seleccionada por la visibilidad y aplicabilidad que propone el método (como por ejemplo, el uso de un intercambiador de calor), para que los estudiantes 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 Química.

PALABRAS CLAVE: enseñanza, sistemas, transferencia, calor, ingeniería.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Desde hace años, los ensayos de laboratorio han sido utilizados como un mecanismo de enseñanza-aprendizaje; un puente entre la teoría y la práctica real que permite una mejor incorporación del conocimiento, ya que estimula la interacción con un entorno real, ayudando a corroborar las teorías y modelos aprendidos. A su vez, el trabajo en grupo favorece la formación en el campo de las relaciones interpersonales y el desarrollo de capacidades de liderazgo, lo cual resulta beneficioso para el futuro Ingeniero considerando que la carencia de estos atributos va en desmedro de su desempeño profesional, aun contando con las capacidades técnicas requeridas.

Actualmente el Laboratorio de Ingeniería Química, lugar donde se realizan las experiencias prácticas, cuenta con un intercambiador de calor que puede implementarse como herramienta tecnológica para llevar adelante ensayos previos al dimensionamiento de equipos. De esta forma, se espera poder incorporar nuevas metodologías y equipamiento para enriquecer la adquisición de conocimientos de los estudiantes, para que en el futuro docentes y alumnos de otras especialidades existentes en la Facultad Regional integren las actividades programadas, favoreciendo la creatividad y la participación de todos los actores, de modo orgánico, armónico e institucional, cosa muy requerida por la CONEAU para las carreras de ingeniería.

De esta manera, los objetivos del presente trabajo son analizar el impacto que tiene el uso de equipamiento tecnológico para los alumnos de las asignaturas Termodinámica y Tecnología de la Energía Térmica, del 3º y 4º año de la Carrera Ingeniería Química, el cual fue seleccionado por su visibilidad y aplicabilidad dentro de los procesos de transferencia de calor. Además, se busca proveer de herramientas en el manejo de datos experimentales mediante instrumentos computacionales, uso de tablas y correlaciones.

ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS

Dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje en Ingeniería Química, un aspecto fundamental es el de garantizar que los futuros profesionales cuenten con el perfil de conocimientos, habilidades y aptitudes que los haga competentes y competitivos en el medio que los ocupa en el entorno productivo y de acuerdo a su misión de servicio en bien de la humanidad, aportando sus acciones para atender las expectativas que sobre el Ingeniero Químico, por su preparación y características, recaen [1].

Como cualquier otra disciplina, en la enseñanza de la ingeniería, diversos paradigmas que se han ido sucediendo a lo largo del siglo pasado han ido modelando el cuerpo de enseñanzas de la misma introduciendo nuevos conceptos y áreas de estudio y eliminando otros de acuerdo a las necesidades del medio [2].

Hoy en día, los educadores quieren que sus estudiantes desarrollen capacidades analíticas, pensamiento autónomo y crítico. Sin embargo, se enfrentan muy a menudo a las dificultades derivadas de las estrategias adoptadas en el nivel básico de educación y también a las condiciones socio-económicas que los estudiantes tienen cuando se inscriben a una carrera en la Universidad [3]. En todos los sectores se habla de competencia factor determinante tanto como estudiante que como trabajador. Competencia no es más que una combinación de destrezas, habilidades y conocimientos necesarios para realizar una tarea [4].

Por lo tanto, el aprendizaje basado en competencias, es el resultado de la integración de experiencias de aprendizaje, donde las habilidades, destrezas y conocimientos interactúan para formar un nuevo conocimiento, de tal forma que cumple con el objetivo para el cual fue diseñado [5-7].

Es, por todos estos motivos, que la enseñanza tradicional no resulta completamente eficaz para un aprendizaje significativo, puesto que el estudiante percibe en forma incompleta los conocimientos impartidos por el docente y no tiene la oportunidad de organizar dichos contenidos para lograr así un entendimiento global.

Se debe pues innovar en métodos menos pasivos para afianzar el proceso de enseñanza-aprendizaje, y para ello las prácticas o ensayos experimentales basadas en el uso de equipamiento didáctico-tecnológico juegan un papel fundamental, teniendo en cuenta lo que el alumno ya sabe y lo que es susceptible de aprender [8]. De esta forma, se garantiza la familiarización de los estudiantes con la metodología científica y el acercamiento a la realidad de su vida profesional [9].

De más está decir que, desde un punto de vista didáctico, 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 en relación a los fenómenos naturales y a los cambios introducidos a través de la actividad humana [10].

DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

Las distintas actividades tienen características grupales, efectuándose con la participación activa de los estudiantes, donde la integración de las comisiones surge de los propios alumnos. Las mismas consisten en la ejecución y comunicación oral y escrita de un proyecto, relacionado con el ensayo y verificación de un equipo de transferencia de calor.

A cada grupo de alumnos se le asignará un docente asesor que los oriente durante la preparación y ejecución del trabajo supervisando su desarrollo teniendo en cuenta los objetivos que se persiguen.

De esta forma se buscará 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 calor de coraza y tubos, calculando la eficiencia global a diferentes caudales de fluido.

En lo referente a las determinaciones experimentales, las mismas se llevarán a cabo en un intercambiador de calor Armfield Modelo HT30XC (Figura 1) y su respectivo módulo de servicio HT33 (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. Ésta última 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, trabajando a diferentes temperaturas.



Figura 1. Intercambiador de calor Armfield HT30XC



Figura 2. Módulo de servicio HT33

Las actividades se programan de forma tal que cada tema sea abordado por más de un grupo, en progresivas etapas. Las tareas se encadenan y los resultados obtenidos en un determinado período son revisados en el siguiente por otro grupo el cual deduce sus propias conclusiones. De este modo se completa el estudio de un tema, con el aporte sucesivo de varias comisiones.

Los datos de las experiencias serán comparados con información obtenida de acuerdo a la bibliografía de referencia [11-14], 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.

En base a lo expuesto anteriormente, se formaron dos grupos de trabajo integrados por cuatro alumnos cada uno, los cuales pertenecen al tercer y cuarto año de la Carrera Ingeniería Química. Todos los ensayos y resultados que fueron realizados por los alumnos se encuentran documentados en el Anexo I del presente trabajo.

El ciclo de actividades de cada grupo finaliza con la presentación de un informe escrito y la exposición oral de los resultados obtenidos al resto de sus compañeros y a los docentes durante aproximadamente treinta minutos, incluyéndose un periodo de discusión conjunta del tema.

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.

ANÁLISIS DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

Los desafíos de la sociedad moderna, la tecnología y la industria dan la pauta de que es necesario optar por una perspectiva de saberes cuyos fundamentos permitan abordajes diferentes a los establecidos por los paradigmas de enseñanza tradicionales.

La metodología propuesta tiene como finalidad promover la participación activa y permanente de los alumnos, sostenida por el análisis y el debate de los resultados, para así generar un 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 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.

Si se tiene en cuenta que muchos conceptos fisicoquímicos resultan difíciles de explicar en el aula, es indispensable capacitar a los estudiantes en el uso de herramientas tecnológicas, para que puedan utilizarlas como hilos conductores entre la teoría y la práctica, posibilitando una mejor apropiación y consolidación de los aprendizajes significativos que se han incorporado a lo largo de la Carrera, desarrollando habilidades y actitudes asociados a la misma. Además, tanto el docente como el alumno podrán reforzar habilidades como la capacidad de abstracción, reflexión y estudio de la información.

Para cuantificar el impacto que tuvieron las herramientas tecnológicas en la formación empírica, el trabajo y dinámica de los grupos de trabajo, la evaluación de la actividad experimental y la evaluación global de la metodología empleada, se realizaron encuestas semi estructuradas. 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 [15].

Así, al momento de confeccionar el cuestionario se debe tener que cuenta que:

- i) Las preguntas deberían ser claras y comprensibles para los alumnos.
- ii) Las preguntas deberían preferentemente dirigirse a un solo aspecto o relación lógica.
- iii) Las preguntas no deberían inducir las respuestas.
- iv) Las preguntas con múltiples respuestas, donde el estudiante sólo tiene que elegir una, deben cuidarse para que no ocurran alteraciones que afecten las respuestas de los sujetos.
- v) El lenguaje utilizado en las preguntas debe ser comprensible para el estudiante.

De esta forma, todas estas premisas fueron tomadas en cuenta y volcadas en el conjunto de preguntas que se efectuaron a los estudiantes luego de realizados los ensayos en el intercambiador de calor y la presentación del informe en forma oral y escrita.

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.

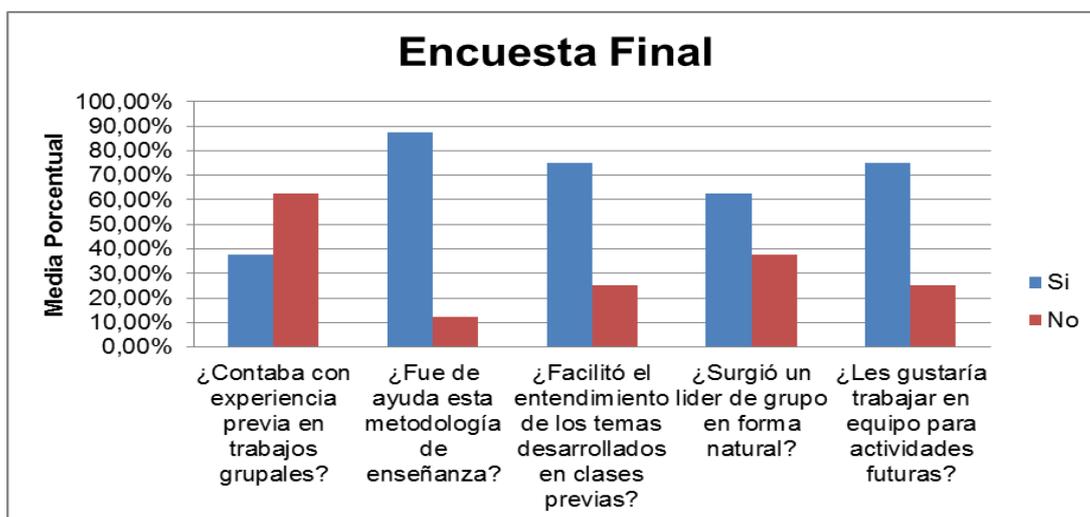


Gráfico 1. Resultados de las encuestas

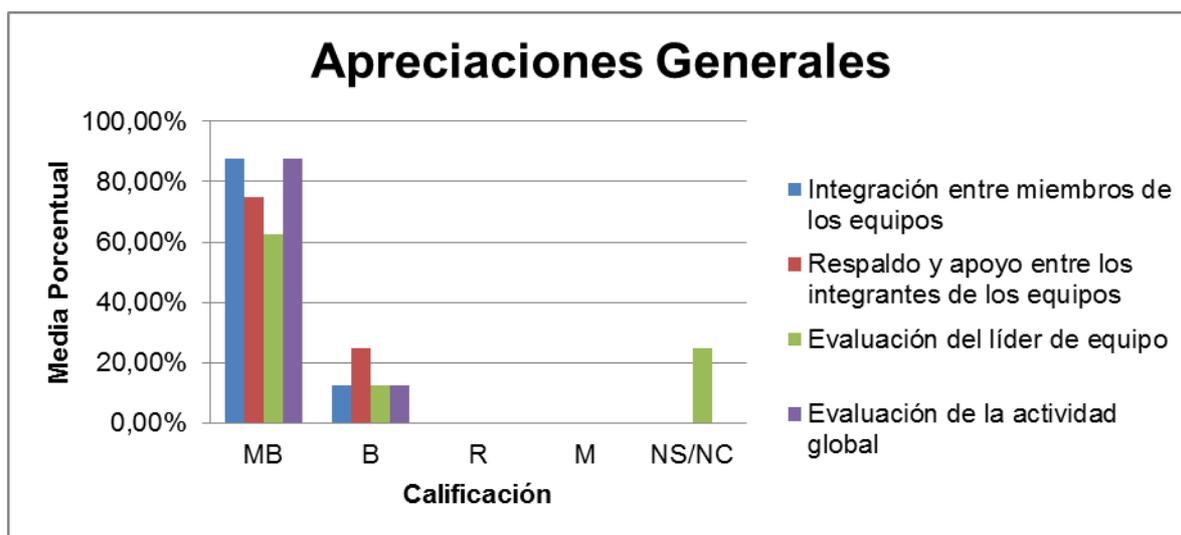


Gráfico 2. Apreciaciones finales

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En base a los resultados empíricos obtenidos se ha demostrado cómo, utilizando un intercambiador de calor de coraza y tubos, 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 separadas por una pared que conduce 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 a las pérdidas de calor o ganancias desde el medio ambiente. A su vez, como el fluido frío circula a

través de la coraza y la temperatura media del fluido frío es inferior a la temperatura ambiente, éste gana calor por lo que $\eta > 100\%$.

A partir de los gráficos 1 y 2 se puede apreciar 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 este tipo de enseñanza con este método 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 quien 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 fisicoquímicos 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

La metodología empleada para describir los procesos de transferencia de calor permitió la apropiación de los conocimientos por parte de los alumnos, quienes fueron susceptibles de construir los conceptos, asimilando principios y teorías bajo la orientación del docente.

El uso de herramientas tecnológicas como motor de experiencias educativas, desarrolló el ingenio, creatividad y análisis crítico de los estudiantes, desencadenando inquietudes y una actitud positiva hacia esta forma de trabajo, lo que redundó en un buen desarrollo de los aprendizajes y la construcción del conocimiento científico.

Los alumnos demostraron un gran interés en participar en actividades grupales, favoreciendo la formación en el campo de las relaciones interpersonales, promoviendo el trabajo cooperativo y la iniciativa personal, afianzando así el vínculo laboral.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a los alumnos de la Carrera Ingeniería Química de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Plata, por su buena predisposición y disponibilidad al momento de participar en las actividades realizadas, y a las Autoridades de dicha Casa de Altos Estudios.

ANEXO I

Actividades realizadas

Grupo I: Transferencia de calor de líquido a líquido

La experiencia se realiza mediante la medición de los cambios en la temperatura de dos corrientes de agua separadas que fluyen a través del haz de tubos interior y la coraza exterior de un intercambiador de calor de coraza y tubos, teniendo en cuenta que cualquier diferencia de temperatura a través de la pared de los tubos de metal dará lugar a la transferencia de calor entre las dos corrientes de fluido. El agua caliente que fluye a través del haz de tubos interior se enfría y se calienta el agua fría que fluye a través de la capa exterior.

Para esta demostración, el intercambiador de calor está configurado con las dos corrientes que fluyen en contracorriente (Figura 3). El fluido frío que fluye a través de la coraza, se ve obligado a fluir sobre y debajo de los deflectores que fuerzan al líquido a fluir a través del haz de tubos para mejorar el intercambio de calor.

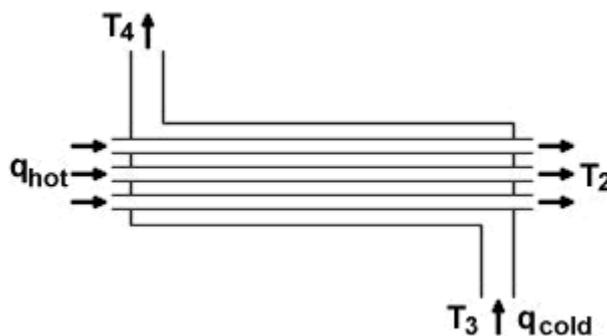


Figura 3, Configuración del intercambiador

Grupo II: Balance de energía y eficiencia global

Una vez finalizada la actividad por el Grupo I, se complementa la misma mediante el cálculo de la energía transferida de cada flujo para determinar la eficiencia global.

Resultados experimentales

El software registra todas las salidas de los sensores, determinando algunas figuras derivadas (Figura 4) y los datos registrados (Tablas 1 y 2), teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

Reducción de la temperatura del fluido caliente: $\Delta T_{hot} = (T_1 - T_2)$

Incremento de la temperatura del fluido frío: $\Delta T_{cold} = (T_4 - T_3)$

Calor emitido por el fluido caliente $Q_e = qm_h C_{p_h} (T_1 - T_2)$

Calor absorbido por el fluido frío $Q_a = qm_c C_{p_c} (T_4 - T_3)$

Calor ganado o perdido $Q_f = Q_e - Q_a$

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

Grupo I				
Parámetros a Determinar	Expresión	Unidades	Ensayos	
			1	2
Flujo volumétrico de fluido caliente	$q_{V_{hot}}$	L/min	2	1,9
Temperatura de entrada de fluido frío	T_1	°C	59,9	50,1
Temperatura de salida del fluido frío	T_2	°C	55,9	46,6
Flujo volumétrico de fluido frío	$q_{V_{cold}}$	L/min	1,04	1,1
Temperatura de entrada de fluido caliente	T_3	°C	17,3	17,9
Temperatura de salida del fluido caliente	T_4	°C	25,5	28,8
Reducción de la temperatura del fluido caliente	ΔT_{hot}	°C	4	3,5
Incremento de la temperatura del fluido frío	ΔT_{cold}	°C	8,2	10,9

Tabla 1. Determinaciones realizadas por el Grupo I

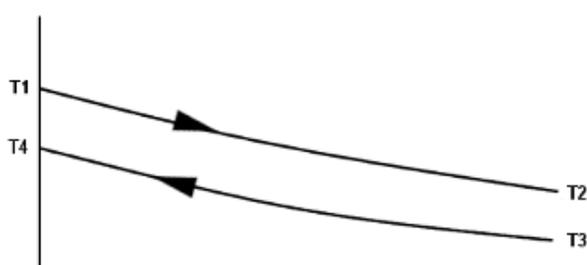


Figura 4. Cruce de temperaturas en contracorriente

Grupo II				
Parámetros a Determinar	Expresión	Unidades	Ensayos	
			1	2
Calor específico del fluido caliente	C_{p_h}	kJ/kgK	4,183	4,179
Calor específico del fluido frío	C_{p_c}	kJ/kgK	4,184	4,183
Densidad del fluido caliente	ρ_h	kg/L	0,985	0,989
Densidad del fluido frío	ρ_c	kg/L	0,999	0,998
Flujo másico del fluido caliente	q_{m_h}	kg/min	1,97	1,879
Flujo másico del fluido frío	q_{m_c}	kg/min	1,999	1,896
Calor emitido	Q_e	W	32,96	27,48
Calor absorbido	Q_a	W	68,58	86,45
Calor ganado o perdido	Q_f	W	-35,62	-58,97
Eficiencia global	η	%	208,07	314,59

Tabla 2. Determinaciones realizadas por el Grupo II

REFERENCIAS

- [1] A. A. Durand, *Reflexiones sobre la enseñanza de la ingeniería química*, Revista de la Sociedad Química de México, Vol. 42 - N° 1, **1998**.
- [2] E. Favre, V. Falk, C. Roizard, E. Schaer, *Trends in Chemical Engineering education: Process, product and sustainable chemical engineering challenges*, Education for Chemical Engineers, Vol. 3, e22-e27, **2008**.
- [3] M.G. Rasteiro y otros diecinueve autores. *LABVIRTUAL—A virtual platform to teach chemical processes*, Education for Chem. Eng. N° 4, **2009**, pág. 9-19.
- [4] USDE, U.S. Department of Education, National Center for Education Statistics. *Defining and Assessing Learning: Exploring Competency-Based Initiatives*, Washington, D.C., USA, **2001**.
- [5] E. D. Albizzati, A. N. Arese, *Equipamiento para el Aprendizaje de los Fundamentos de Transferencia de Cantidad de Movimiento, de Energía y de Materia*. Revista Formación Universitaria, Vol. 1(3), Argentina, **2008**, pág. 27-34.
- [6] A. Voorhees Richard *Competency-Based Learning Models: A Necessary Future*. New Directions for Institutional Research N° 110, **2001**, pág. 5-13.
- [7] D. Walter, *Competency-based on-the-job training for aviation maintenance and inspection – a human factors approach*, Int. J. of Ind. Ergonomics N° 26, **2000**, pág. 249-259.
- [8] 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**.
- [9] 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**.
- [10] 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.
- [11] D. Kern, *Procesos de transferencia de calor*, CECSA, **1999**.
- [12] A. Marie, L. T. Flynn, *Kern's Process Heat Transfer*, Wiley, **2016**.
- [13] A. Cayode Coker, *Ludwing's Applied Process Design for Chemical and Petrochemicals Plants*, Chapter "Heat Transmission", Elsevier, **2010**.
- [14] M. Llorens, A. L. Miranda, *Ingeniería Térmica*, Marcombo, **2009**.
- [15] R. Hernández-Samperi, C. Fernández Collado, P. Baptista-Lucio, *Metodología de la investigación*, Mc Graw Hill, **2006**.