

# Implementación de Herramientas Tecnológicas para la Enseñanza de Procesos de Intercambio de Calor

Mario D. Flores, Manuel Alvarez Dávila, Sergio D. Marino, Paola Girbal, Norma M. Breceovich

Departamento de Ingeniería Química  
Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional  
60 y 124 s/n, e-mail: mdflores3@gmail.com

## Resumen

*Los procesos de intercambio de calor constituyen un área de vital importancia en la formación de los ingenieros químicos. Las nuevas tecnologías y dispositivos por su visibilidad y aplicabilidad, permiten optimizar el grado de interactividad y el nivel de retención de la información en el proceso enseñanza-aprendizaje. Por lo tanto, al reconocer el valor de los procesos de transferencia de calor dentro de la ingeniería química, surge la necesidad de mejorar las prácticas docentes para así proveer al estudiante de un instrumento que minimice el manejo de variables y la complejidad de los cálculos, que en muchos casos no permiten adquirir una visión global y eficaz del proceso. Para realizar la experiencia y demostrar los contenidos teóricos con una base práctica, se utilizó un intercambiador de calor de placas planas paralelas con diversos caudales de fluido.*

**Palabras clave:** Enseñanza, Herramientas, Intercambiador, Calor, Ingeniería.

## Introducción

Hoy en día, el método de enseñanza tradicional empleado para la transmisión de los conocimientos está sometido a muchos cambios. Si bien está basado principalmente en la exposición oral de la información y en la resolución de problemas, puede potenciarse en gran medida a través del uso de nuevas tecnologías, que permitan a un estudiante comprender y analizar una situación cotidiana de la industria de procesos.

De esta forma, se busca estimular 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 metodologías y equipamiento que enriquezcan la adquisición de conocimientos por parte de los estudiantes y así, docentes y alumnos de otras especialidades existentes en la Facultad Regional también integren las actividades programadas, favoreciendo la creatividad y la participación de todos los actores, en un modo orgánico, armónico e institucional, como la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria (CONEAU) lo requiere para las carreras de ingeniería.

## Objetivos

Debido a la elevada importancia que tiene el conocimiento de las características más relevantes de los procesos en ingeniería química, 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 3° y 4° 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 para 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, destrezas y aptitudes que los haga competentes y competitivos en el medio productivo y de acuerdo a sus funciones dentro del mismo [1].

En la actualidad, los educadores buscan 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 [2]. 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 [3], por lo tanto, en el aprendizaje basado en ella las habilidades, aptitudes y conocimientos interactúan para formar un nuevo concepto, de tal forma que cumple con el objetivo para el cual fue diseñado [4-6].

Es por esto que la enseñanza tradicional no resulta completamente eficaz para un aprendizaje significativo, dado 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 [7].

Lógicamente la ingeniería química no es la excepción, y ésta, como muchas otras disciplinas, debe incorporar dentro de su sistema de enseñanza las herramientas necesarias que logren estimular al máximo todos los sentidos posibles del estudiante, para de esta manera obtener el mayor grado de interés sobre el tema en particular y así incrementar el nivel de comprensión y retención de la información.

De esta forma, se debe 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 tecnológico-didáctico juegan un papel fundamental, teniendo en cuenta lo que el alumno ya sabe y lo que es susceptible de aprender [8], garantizando 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].

Por otra parte, la inclusión de la tecnología en los sistemas de enseñanza independiza de alguna manera al estudiantado [11].

## Descripción de la Propuesta de Investigación

El ingeniero químico puede encontrar entre sus actividades diarias la necesidad de determinar las razones de intercambio de calor en diversos procesos químicos, llegando así a diseñar nuevos equipos o simplemente realizar mejoras en los existentes, debido a que la mayoría del equipamiento presente en la industria está diseñado tomando en cuenta el análisis de la transferencia de calor.

A su vez, dadas las necesidades del medio, los requerimientos en el campo de las relaciones interpersonales y el desarrollo de capacidades de liderazgo, se han confeccionado actividades de carácter grupal, 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), para investigar cómo el rendimiento del intercambiador de calor se ve afectado por la superficie disponible, trabajando 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 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

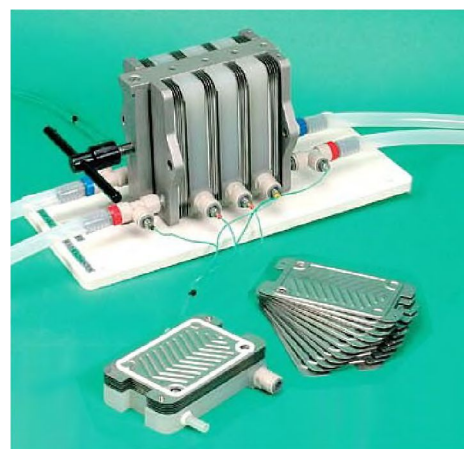


Figura 2. Módulo de servicio HT37

Las actividades se programan de forma tal que cada tema sea abordado por más de un grupo, en etapas progresivas. 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 [12-15], 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.

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 un tiempo aproximado de treinta minutos, incluyéndose un periodo de discusión conjunta del tema.

La secuencia seguida 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 descrita da lugar a la generación de preguntas científicas, búsqueda de respuestas e información a través de procesos de investigación, trabajo cooperativo, estudio autónomo, responsabilidad de los alumnos, planificación del tiempo y la elaboración de un trabajo final para su exposición ante una audiencia, competencias requeridas para todas las carreras de ingeniería.

La transferencia de calor como ciencia, va de la mano con la termodinámica; debido a que esta nos indica que cantidad de energía en forma de calor se encuentra involucrada en un proceso determinado, mientras que la transferencia de calor ayuda a determinar en cuánto tiempo se transferirá dicha energía.

Así, durante el transcurso de las actividades experimentales se deben introducir los conceptos necesarios para la comprensión de los fenómenos relacionados con la ingeniería química, realizando conceptualizaciones y estudios analíticos.

Si se tiene en cuenta que muchos conceptos termodinámicos 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, lo cual les permite desarrollar habilidades y actitudes. Además, tanto el docente como el alumno podrán reforzar la capacidad de abstracción, reflexión y estudio de la información.

Para cuantificar el impacto que tuvieron las herramientas tecnológicas en la formación empírica, en el proyecto y dinámica de los grupos de trabajo, en la evaluación de la actividad experimental y en 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 [16].

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

- i) Las preguntas sean claras y comprensibles para los alumnos.
- ii) Las preguntas se dirijan preferentemente a un solo aspecto o relación lógica.
- iii) Las preguntas no deben inducir las respuestas.
- iv) En caso de preguntas con múltiples respuestas, donde el estudiante sólo tiene que elegir una, se debe tener cuidado 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.

## Descripción de la Actividad 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.

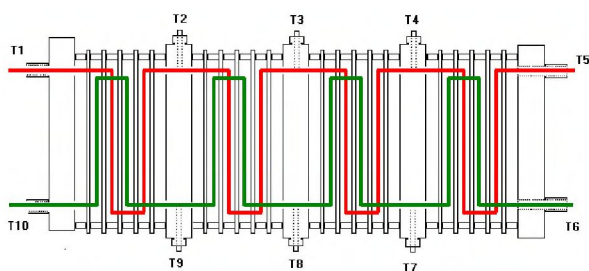


Figura 3. Intercambiador de calor con dos corrientes que fluyen en direcciones opuestas

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.

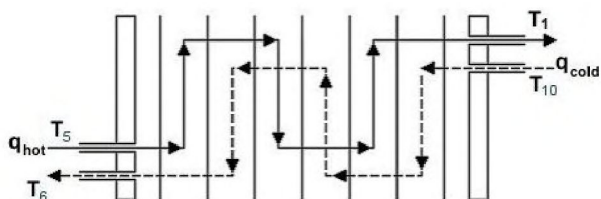


Figura 4. Patrón de flujo a contracorriente para una sola sección de calentamiento

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.

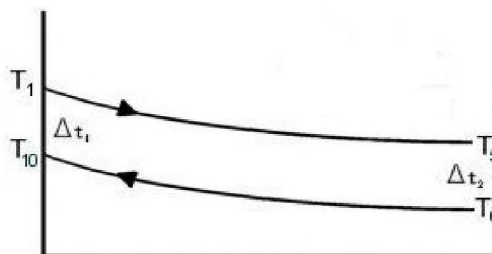


Figura 5. Perfiles de temperatura a contracorriente

Luego ajustarán el regulador de temperatura a un valor de aproximadamente  $20^{\circ}\text{C}$  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

- 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.
- Dejar que el intercambiador de calor se estabilice. Cuando las temperaturas no presenten cambios, registrar los siguientes datos:  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$ ,  $T_6$ ,  $T_7$ ,  $T_8$ ,  $T_9$ ,  $T_{10}$ ,  $F_{\text{hot}}$ ,  $F_{\text{cold}}$ .
- 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.
- 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

- 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

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

Incremento de la temperatura del fluido frío:

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

Calor emitido por el fluido caliente

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

Calor absorbido por el fluido frío

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

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	2c/1f	1c/2f
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	$q_{vcold}$	(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	$C_{ph}$	kJ/kgK	4,18	4,18
Calor específico del fluido frío	$C_{pc}$	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	1,18	1,87
Calor absorbido	$Q_a$	W	1,26	1,26
Calor perdido	$Q_f$	W	0,92	0,61
Eficiencia global	$\eta$	%	57,80	67,38

Tabla 1. Determinaciones realizadas por el Grupo I

Grupo II				
Parámetros a Determinar	Expresión	Unidades	1c/1f	2c/2f
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	$q_{vcold}$	(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	$C_{ph}$	kJ/kgK	4,18	4,18
Calor específico del fluido frío	$C_{pc}$	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	1,54	1,46
Calor absorbido	$Q_a$	W	0,69	1,41
Calor perdido	$Q_f$	W	0,85	0,05
Eficiencia global	$\eta$	%	44,15	96,56

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.

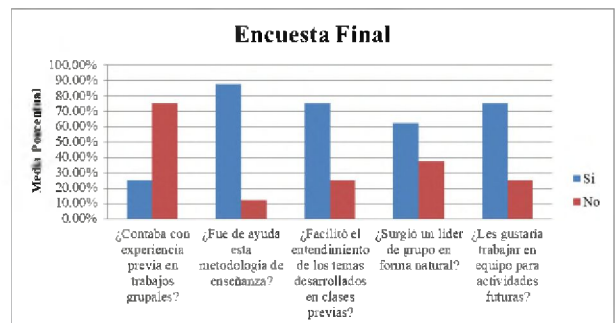


Gráfico 1. Resultados de las encuestas

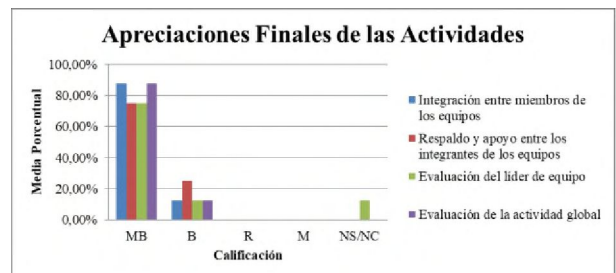


Gráfico 2. Apreciaciones finales

## Discusión de los Resultados

En base a los resultados empíricos 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 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 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 educacionales.

A partir de los resultados obtenidos, y de la versatilidad que ofrece el intercambiador de calor, se programarán actividades para:

- Investigar el efecto de los cambios de caudal de fluido caliente y frío en las eficiencias térmicas y el coeficiente global de transferencia térmica.
- Demostrar las diferencias entre flujo en cocrriente y flujo a contracorriente.
- Determinar el coeficiente global de transferencia térmica con la diferencia de temperatura media logarítmica.
- Investigar el efecto de la fuerza impulsora con flujo en cocrriente y a contracorriente.
- Investigar el efecto de la regeneración en el intercambio de calor.

## Conclusiones

La implementación de un intercambiador de calor presentó características que lo hacen apropiado para su empleo como herramienta tecnológico-didáctica de complemento a las clases tradicionales, ya que desarrollan el ingenio, creatividad y análisis crítico de los estudiantes, lo que redundó en un buen desarrollo de los aprendizajes y la construcción del conocimiento científico.

Además, 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.

## 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] 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.
- [3] USDE, U.S. Department of Education, National Center for Education Statistics. *Defining and Assessing Learning: Exploring Competency-Based Initiatives*, Washington, D.C., USA, 2001.
- [4] 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.
- [5] A. Voorhees Richard Competency-Based Learning Models: A Necessary Future. New Directions for Institutional Research N° 110, 2001, pág. 5-13.
- [6] 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.
- [7] T. Mochizuki, L. Rennola, *Programa multimedia para la enseñanza de transferencia de calor*, Escuela de Ingeniería, Universidad de los Andes, Revista Ciencia e Ingeniería, vol. 26, núm. 2, 2005, pp. 51-56.
- [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] L. A. Toro-Carvajal, H. H. Ortiz-Álvarez, F. N. Jiménez-García, *Solución de problemas complejos de ingeniería empleando sistemas cognitivos especializados como motivación en la enseñanza de matemáticas avanzadas para ingeniería*, Universidad Nacional de Colombia, Asociación Colombiana de Facultades de ingeniería, Revista Educación en Ingeniería, Vol. 11, Núm. 22, 2016.
- [12] D. Kern, *Procesos de transferencia de calor*, CECSA, 1999.



[13] A. Marie, L. T. Flynn, *Kern's Process Heat Transfer*, Wiley, 2016.

[14] A. Cayode Coker, *Ludwing's Applied Process Design for Chemical and Petrochemicals Plants*, Chapter "Heat Transmission", Elsevier, 2010.

[15] M. Llorens, A. L. Miranda, *Ingeniería Térmica*, Marcombo, 2009.

[16] R. Hernández-Samperi, C. Fernández Collado, P. Baptista-Lucio, *Metodología de la investigación*, Mc Graw Hill, 2006.