

APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA INVERSA A UN PROBLEMA DE CURSO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

REVERSE ENGINEERING IN THE DESIGN OF A SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER - A CASE STUDY OF THE HEAT TRANSFER COURSE

Sergio A. Carrion A, Diana Marcela Martínez González y Édgar Giovanni Villamil V.
Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá (Colombia)

Resumen

Actualmente existen, a escala mundial, modelos pedagógicos adoptados por instituciones de educación superior que desarrollan una nueva visión de la enseñanza en ingeniería. Uno de estos modelos es la iniciativa “Concebir, diseñar, implementar y operar”, conocida por sus siglas en inglés como CDIO, que cuenta con una estructura adaptable que se aplica a las necesidades de cada programa académico. Como parte de este modelo, las etapas de concebir y diseñar se pueden desarrollar mediante la metodología de ingeniería inversa, la cual facilita comprender el funcionamiento, el diseño final y conocer los materiales de fabricación de un producto comercialmente accesible. Además, esta metodología le permite al estudiante adquirir los conocimientos teóricos necesarios, alcanzar nuevas habilidades prácticas y desarrollar competencias profesionales pertinentes.

En este artículo se presenta un problema de curso de la asignatura de transferencia de calor y la solución del mismo, aplicando los principios de la metodología de ingeniería inversa como método de aprendizaje. Mediante esta metodología, el estudiante aplica los conocimientos teóricos a un intercambiador de calor de coraza y tubos, arreglo en U, lo que le permite comprender y aplicar los conceptos vistos en clase a los elementos que componen el dispositivo térmico y de esta manera comprobar los principios que rigen su funcionamiento.

Palabras claves: modelo pedagógico integrado, ingeniería inversa, intercambiador de calor de coraza y tubos.

Abstract

Nowadays there are diverse pedagogical models adopted worldwide by institutions of higher education (universities), which develop a new vision of the teaching of engineering. One of these models is the Conceive, Design, Implement and Operate, known by its acronym CDIO initiative, which counts

with an adaptable structure that applies to the needs of each academic program. As part of this model, the stages of conceive and design can be carried through the reverse engineering methodology, which allows to understand the functioning, the final design and the materials used in the manufacturing of a commercially available product. Also, this methodology allows the student to acquire the necessary theoretical knowledge, reach new practical abilities and develop pertinent professional skills.

In this article, is presented a problem of the subject heat transfer, and its solution applying the principles of the reverse engineering methodology as learning method. With this methodology, the student applies the theoretical knowledge to a shell and tube heat exchanger, with a U tube, allowing him to understand and use the theoretical concepts learned in class to the different elements that form the thermal device and in this way ascertain the principles that rule its functioning.

Keywords: integrated pedagogical model, reverse engineering, shell and tube heat exchanger.

Introducción

En el campo de la enseñanza de la ingeniería es muy común que los profesores den a sus estudiantes clases magistrales como herramienta metodológica de curso, apoyados en textos guía para que el estudiante cuente con más herramientas de aprendizaje. Esto presenta dificultades en la explicación de fenómenos físicos que rigen el comportamiento de algún dispositivo mecánico, en otras palabras, la dificultad está en vincular el conocimiento teórico con los elementos de la ingeniería en la práctica. Esta dificultad ha generado en los profesores de ingeniería un interés para optar por nuevas estrategias de enseñanza que despierten en el estudiante la curiosidad para poner en práctica y corroborar la validez de los conocimientos teóricos aprendidos en clase. Una de las estrategias adoptadas en los últimos tiempos es la ingeniería inversa, la cual no cuenta con una única definición porque depende tanto del autor como de la razón por la cual se va a aplicar.

La ingeniería inversa se define como el proceso de análisis de un sistema con dos metas diferentes (Gordon et al., 2003): (1) identificar los componentes de dicho sistema y la relación entre ellos y (2) crear representaciones del sistema de otra forma. Lefever et al. (1996) la define no sólo como un medio para entender el comportamiento físico del producto sino también para comprender la lógica de por qué existe ese diseño. Es un proceso que utiliza técnicas en forma de modelos y pautas de desensamble para entender

completamente el producto. Es muy común ver que la ingeniería inversa se usa como una herramienta de rediseño de sistemas o productos (Otto et al., 1998) que pueden llegar a tener alguna mejora en su apariencia o funcionamiento. Simplemente se opta por este tipo de metodologías por la evolución que tiene el mercado en cierto tipo de productos.

La implementación de la ingeniería inversa como estrategia de enseñanza ya ha sido aplicada en universidades (Torres, 2008), normalmente de ingeniería, para que los estudiantes comprueben todo tipo de teoría aprendida (Jiménez et al., 2010).

En ese orden de ideas, este artículo tiene como objetivo mostrar el proceso de aplicación y los resultados que se obtuvieron al aplicar la metodología de ingeniería inversa a un problema de la asignatura de transferencia de calor del Programa de Ingeniería Mecánica de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. El docente de curso aplica esta metodología junto con los estudiantes, con el fin de caracterizar y corroborar los principios físicos que rigen el funcionamiento de un intercambiador de calor de coraza y tubos, arreglo en U, y obtiene la lista de partes con sus posibles materiales, planos de diseño y modelo CAD (siglas en inglés de *Computer Aided Design*) mediante el *software SolidWorks* del intercambiador de calor. Los resultados de este proceso aportan la información necesaria para el diseño y construcción de un banco didáctico de intercambiador de calor, con su respectiva guía para la práctica del laboratorio.

Metodología aplicada

El modelo de educación en ingeniería CDIO, en sus estándares de creación, explica que su objetivo es la formación de estudiantes capaces de:

1. Dominar un profundo conocimiento operativo de los fundamentos técnicos.
2. Ser líderes en la creación y operación de nuevos productos y sistemas.
3. Comprender la importancia y el valor estratégico de la investigación y del desarrollo tecnológico de la sociedad.

Ya que este modelo lo puede adaptar cualquier institución universitaria de ingeniería según las necesidades específicas de sus programas académicos (**CDIO Initiative, 2010**), por medio de la aplicación de la ingeniería inversa se busca iniciar un proceso de adaptación del modelo CDIO en el Programa de Ingeniería Mecánica de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Como ayuda en la formación académica en el área de transferencia de calor se realizó la aplicación de la ingeniería inversa utilizando el proceso explicado a continuación (Ramos, 2013):

1. Selección del producto: por lo general, lo elige el profesor como proyecto de curso.
2. Estado del arte: los estudiantes son los encargados de realizar la búsqueda de bibliografía sobre el producto asignado, y de generar hipótesis sobre el problema.
3. Caja negra: se elabora una representación gráfica del sistema o producto por diseñar, con elementos que entran a la caja y elementos que salen de ella (por la derecha). Todas las entradas y salidas conocidas deben ser especificadas, incluso las indeseables. En muchos casos el análisis funcional ayuda a identificar entradas y salidas que se han pasado por alto (Dym et al., 2009).
4. Desensamble del producto: los estudiantes, en condiciones de seguridad adecuadas, se disponen a desensamblar el producto. Es conveniente documentar los pasos que se realizaron porque el

producto debe volver a ensamblarse y ser funcional al final de la práctica (Torres, 2008).

5. Caja transparente: una vez se tenga la caja negra del paso 3, los estudiantes deben poder preguntarse:
 - ¿Qué pasa con esta entrada?
 - ¿Cómo llega a ser una salida del sistema?
 Estas preguntas se responden removiendo la cubierta de la caja negra, lo cual genera una caja transparente del sistema para visualizar la transformación de las entradas en salidas (Dym et al., 2009).
6. Principios teóricos: los estudiantes plantean los principios que rigen el funcionamiento físico de los componentes del producto (puede ser mediante ecuaciones fundamentales).
7. Práctica: mediante la toma de datos en una práctica de laboratorio, se valida el funcionamiento del producto después del desensamble, corroborando los principios planteados en el paso 6.
8. Análisis de resultados: como último paso del proceso se debe analizar cada una de las especificaciones obtenidas en el producto. El profesor evalúa el desempeño de los estudiantes en el desarrollo de la metodología, lo que permite, por ejemplo, generar proyectos que involucren el producto utilizado.

Resultados de la aplicación de la metodología

A continuación se muestran los resultados obtenidos en cada uno de los pasos de la metodología anteriormente descrita al problema de curso de transferencia de calor. Cabe aclarar que algunos pasos están resumidos y explicados para un componente específico del intercambiador de calor.

Paso 1. Selección del producto

El profesor de la asignatura de transferencia de calor elige como producto industrial, comercialmente accesible, un intercambiador de calor de coraza y tubos, arreglo en U (figura 1). De este intercambiador de calor no se conocen los datos del fabricante ni la ficha técnica de funcionamiento.

Figura 1. Intercambiador de calor seleccionado.



Paso 2. Estado del arte

Los estudiantes realizaron una búsqueda de información sobre los conceptos teóricos que rigen el funcionamiento de un intercambiador de coraza y tubos, arreglo en U. A continuación se presenta la información más relevante, recopilada por los estudiantes en este proceso de la metodología.

Los intercambiadores de calor son dispositivos que facilitan el intercambio de calor entre dos fluidos que se encuentran a temperaturas diferentes y evitan al mismo tiempo que se mezclen entre sí. En la práctica, los intercambiadores de calor son de uso común en una amplia variedad de aplicaciones, desde los sistemas domésticos de calefacción y acondicionamiento del aire hasta los procesos químicos y la producción

de energía (Cengel et al., 2010). Existen muchas clasificaciones de los intercambiadores de calor de acuerdo con su geometría y dirección de flujo de los fluidos. En términos generales, existen tres tipos básicos de intercambiadores de calor, a saber:

- Recuperadores: en este tipo de intercambiador de calor los fluidos están separados por una pared, y el calor se transfiere por una combinación de convección hacia y desde la pared y conducción a través de la misma (Kreith et al., 2011).
- Regeneradores: en este dispositivo, las dos corrientes fluyen alternadamente a través de una matriz de gran capacidad de almacenamiento de calor. El calor transferido por el fluido a alta temperatura se almacena en la matriz, y posteriormente se transfiere al fluido a baja temperatura cuando éste pasa por la matriz (Mills, 1992).
- Intercambiador de calor de contacto directo: en este tipo de intercambiador los fluidos a alta y baja temperatura entran en contacto uno con otro de manera directa. Un ejemplo de este dispositivo es una torre de enfriamiento (Kreith et al., 2011).

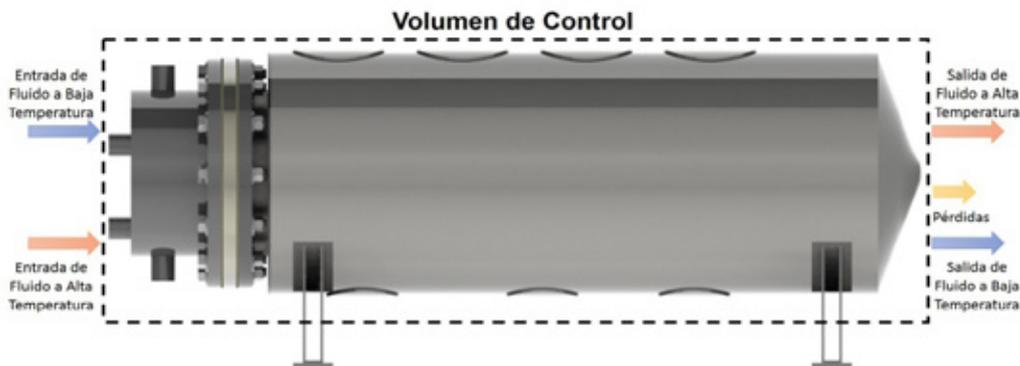
El análisis y diseño térmico de un intercambiador de calor fundamentalmente requiere la aplicación de la primera ley de la termodinámica. Este análisis proporciona la transferencia de energía total, que puede ser expresada mediante la siguiente ecuación (Kreith et al., 2011).

$$-\dot{Q}_{p\acute{e}rdida} + \sum \dot{E}_{entrada} - \sum \dot{E}_{salida} = 0 \quad (1)$$

Donde Q es la transferencia de energía total y E la energía total (entrada o salida). A continuación (figura

2) se representa el modelo de análisis termodinámico para el intercambiador de calor.

Figura 2. Aplicación del modelo termodinámico para un intercambiador de calor de coraza y tubos.



El modelo de transferencia de calor (figura 3) plantea el balance para determinar la transferencia de calor entre los dos fluidos cuando la tasa de flujo de calor

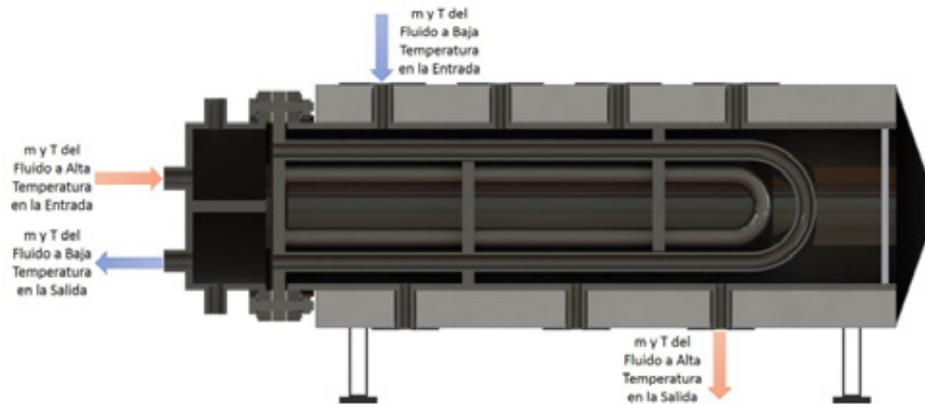
es igual a cero ($\dot{Q}_{p\acute{e}rdida}=0$). Lo anterior se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = (\dot{m}C_p)_f (T_{f,salida} - T_{f,entrada}) = (\dot{m}C_p)_c (T_{c,entrada} - T_{c,salida}) \quad (2)$$

Donde los subíndices f y c se refieren al fluido a baja temperatura y al fluido a alta temperatura, respectivamente; es la razón de capacidad calorífica y las temperaturas de los fluidos. Así la tasa de

transferencia de calor dada por la ecuación (2), se puede igualar al coeficiente de transferencia de calor global entre los fluidos a alta y a baja temperatura para completar el modelo (Kreith et al., 2011).

Figura 3. Aplicación del modelo de transferencia de calor para un intercambiador de calor de coraza y tubos.



En el análisis del intercambiador de calor, resulta conveniente combinar todas las resistencias térmicas (efectos de los fenómenos de convección, conducción y sustancias depositadas en los tubos) que se encuentran

en la trayectoria del fluido a alta temperatura hacia el fluido a baja temperatura en una sola resistencia (R), y expresar la razón de la transferencia de calor entre los dos fluidos (Cengel et al., 2010):

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = UA_s \Delta T_m = U_i A_i \Delta T = U_o A_o \Delta T \quad (3)$$

Donde ΔT es la diferencia de temperatura de los fluidos, es la resistencia total, el coeficiente total de transferencia de calor U , A_s el área de transferencia de calor y ΔT_m la diferencia promedio de temperaturas de los fluidos. Existen dos métodos generales para el análisis térmico de los intercambiadores, a saber:

a. Método de la diferencia media logarítmica de temperatura (LMTD, sigla en inglés de *Log Mean Temperature Difference*): se aplica cuando se conocen o se pueden determinar las temperaturas a la entrada y a la salida de los fluidos, con el objetivo de definir el área superficial de transferencia de calor (Cengel et al., 2010).

b. Método de la efectividad-NTU: se emplea cuando se conocen los flujos de masa y las temperaturas de entrada de ambos fluidos de trabajo, y el área superficial para la transferencia de calor del intercambiador (Incropera et al., 1999).

Con la información recopilada y los conceptos básicos dados en clase, los estudiantes se plantean las siguientes preguntas de investigación, siguiendo con la metodología de la ingeniería inversa:

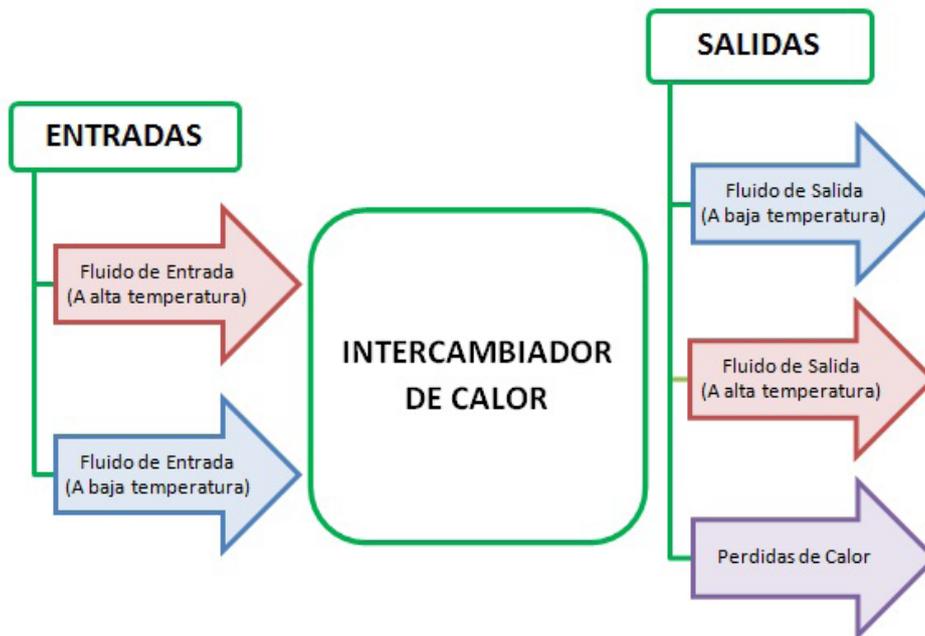
a. ¿El material de construcción del intercambiador influye en el proceso de transferencia de calor entre los fluidos a alta y a baja temperatura?

- b. ¿El número de pasos de los fluidos de trabajo, por los tubos y la coraza, influyen en la transferencia de calor?
- c. ¿La dirección de flujo, paralelo o a contracorriente, influye en la transferencia de calor?
- d. ¿Las temperaturas de entrada y salida de los dos fluidos, así como la presión, influyen en la transferencia de calor?

Paso 3. Caja negra

A continuación (figura 4), se observa el modelo de caja negra aplicado sobre el intercambiador de calor; en esta representación se asignaron al sistema las entradas y salidas físicas con las que cuenta.

Figura 4. Caja negra. Intercambiador de calor.



Paso 4. Desensamble

Para el desarme del intercambiador de calor se tuvo en cuenta el siguiente protocolo:

- a. Seguir las normas de seguridad del Laboratorio de Fundamentos de Máquinas Térmicas.
- b. Apagar el suministro de vapor al intercambiador de calor.
- c. Cerrar el suministro de agua a temperatura ambiente.
- d. Purgar los condensados remanentes en el intercambiador de calor.
- e. Desacoplar las líneas de suministro de vapor y agua caliente.
- f. Desensamblar el intercambiador en sus componentes elementales.
- g. Identificar materiales, dimensiones y posibles funciones para cada uno de sus componentes con el propósito de obtener los planos de diseño y caracterizar el intercambiador de calor. En la siguiente ilustración (figura 5), se observa el resultado de este proceso, y se muestran las partes físicas y el modelo CAD.
- h. Como resultado del proceso de caracterización del intercambiador de calor también se generan los planos de fabricación.

Figura 5. Partes del intercambiador de calor (derecha) y su prototipo en 3D mediante SolidWorks (izquierda). (a) Coraza, (b) Cubierta de la coraza, (c) Cubierta del canal, (d) Placa estacionaria de tubos, (e) Brida en el extremo de la cubiera de la coraza, (f) Haz de tubos.

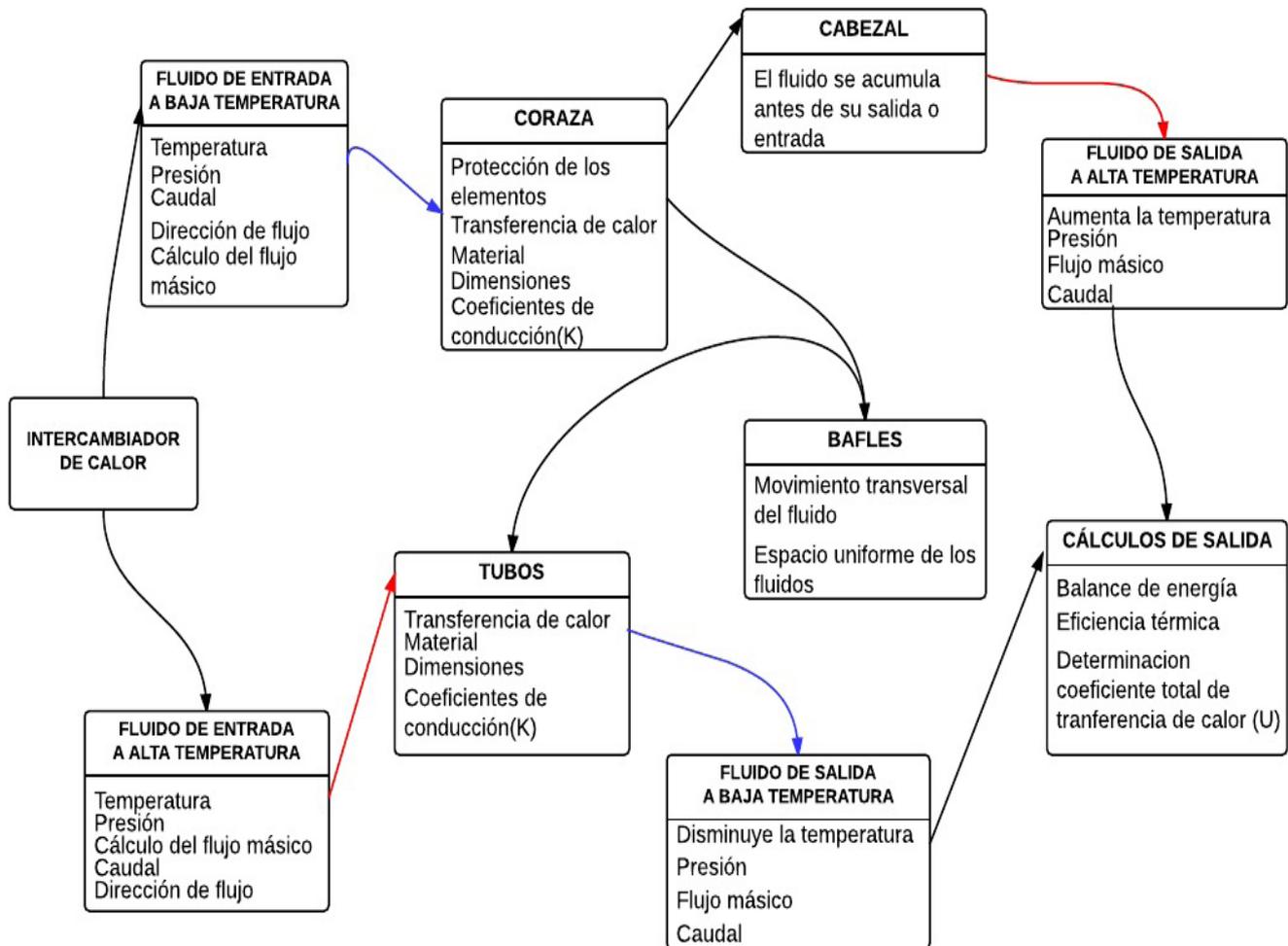


Paso 5. Caja transparente

Se identificaron los subsistemas del intercambiador de calor en función de sus componentes, utilidades, flujo de fluido e interacción con otros componentes y se obtuvo la caja transparente del sistema (figura 6). Estos subsistemas se enumeran a continuación:

- a. Fluido de entrada a baja temperatura.
- b. Fluido de entrada a alta temperatura.
- c. Coraza.
- d. Cabezal.
- e. Tubos.
- f. Baffles.
- g. Fluido de salida a baja temperatura.
- h. Fluido de salida a alta temperatura.
- i. Cálculos de salida (se consideran como subsistema ya que es producto del proceso del intercambiador).

Figura 6. Caja transparente para el intercambiador de calor.



Paso 6. Principios teóricos

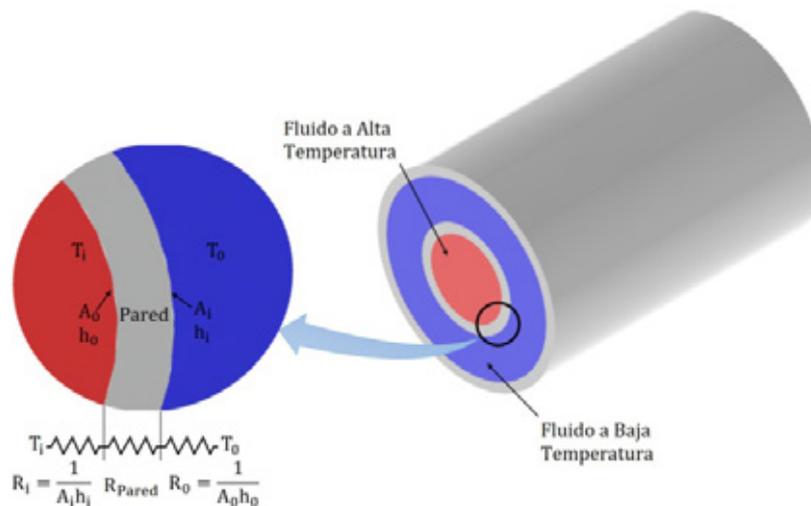
Los estudiantes plantearon y usaron las ecuaciones que rigen el funcionamiento de cada componente del intercambiador de calor de coraza y tubos, arreglo en U. En esta sección sólo se presentan los principios teóricos aplicados para comprender el funcionamiento del haz de tubos del intercambiador de calor.

Suponiendo que el fluido a alta temperatura fluye dentro de los tubos y el fluido a baja temperatura por fuera de ellos, que las temperaturas de los dos fluidos permanecen constantes en el tiempo, que el calor se transfiere de forma continua y que la transferencia de calor se efectúa sólo en la dirección normal a la superficie del tubo, se puede considerar

la transferencia de calor a través del tubo como estacionaria y unidimensional.

Este tipo de problemas se pueden resolver con facilidad, mediante la aplicación del concepto de resistencia térmica. En primer lugar, el calor se transfiere del fluido a alta temperatura hacia la pared por convección, después a través de la pared por conducción y por último, de la pared hacia el fluido a baja temperatura, de nuevo por convección. Cualquier efecto de radiación se incluye en los coeficientes de transferencia de calor por convección (Cengel et al., 2010). Por lo tanto, la red de resistencias térmicas asociada a este proceso comprende dos resistencias por convección y una por conducción (figura 7).

Figura 7. Red de resistencias térmicas asociada con la transferencia de calor en un intercambiador de calor.



La resistencia térmica total se puede expresar como:

$$R = R_{total} = R_i + R_{pared} + R_o = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2 \pi k L} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (4)$$

Donde los subíndices *i* y *o* denotan el interior y exterior del tubo, respectivamente; *R* es la resistencia térmica; *h* el coeficiente de transferencia de calor por convección; el área *A* con diámetros respectivos *D*; *k* la conductividad térmica del material de la pared y *L* la longitud del tubo.

Paso 7. Práctica

En esta etapa, como resultado de los pasos anteriores propuestos por la metodología, se elabora un

protocolo para desarrollar la práctica experimental, con la finalidad de validar y verificar los conceptos teóricos que fundamentan el funcionamiento del intercambiador de calor. Por practicidad, sólo se presentará en este artículo una parte del protocolo de validación de conceptos teóricos desarrollado para comprender el funcionamiento del arreglo de tubos del intercambiador, como se muestra a continuación (tabla 1).

Tabla 1. Recolección de datos para el arreglo de tubos del intercambiador de calor.

Variable (medida, calculada, leída en tablas)	Unidad [SI]	Valor
Diámetro interior del tubo	[m]	
Diámetro exterior del tubo	[m]	
Área superficial interior del tubo	[m ²]	
Área superficial exterior del tubo	[m ²]	
Flujo de masa del fluido de alta temperatura	[kg/s]	
Flujo de masa del fluido de baja temperatura	[kg/s]	
Temperatura promedio del fluido a baja temperatura	[°C]	
Temperatura promedio del fluido a alta temperatura	[°C]	

Variable (medida, calculada, leída en tablas)	Unidad [SI]	Valor
Densidad para los dos fluidos	[kg/m ³]	
Conductividad térmica para los dos fluidos	[W/m °C]	
Número de Prandtl para los dos fluidos	--	
Viscosidad cinemática	[m ² /s]	
Velocidad promedio de los dos fluidos	[m/s]	
Número de Reynolds	--	
Número de Nusselt	--	
Coefficiente de transferencia de calor por convección	[W/m ² °C]	

Paso 8. Análisis de resultados del proceso

Los estudiantes de la asignatura organizan y registran toda la información obtenida durante la aplicación de la metodología y le entregan al profesor la caracterización del intercambiador de calor de tubos y coraza, arreglo en U. Con esta información, el profesor evalúa las nuevas capacidades teórico-prácticas aprendidas durante el proceso, y asigna a los estudiantes los siguientes proyectos:

- Diseño y montaje del banco didáctico: se debe entregar para el intercambiador de calor, caracterizado en diseño, construcción y materiales.
- Guía de laboratorio: se debe elaborar un protocolo de laboratorio que involucre el banco didáctico diseñado anteriormente y la teoría aprendida.

Trabajo futuro

Consiste en optimizar el diseño del banco didáctico y mejorar el protocolo de laboratorio. Es importante que el estudiante aporte ideas que ayuden a perfeccionar un proceso que hasta ahora está empezando.

Conclusiones y recomendaciones

Es importante resaltar que para implementar un modelo de enseñanza como la iniciativa CDIO es necesario empezar por procesos básicos que motiven a docentes y estudiantes a dar y recibir los conocimientos necesarios en el proceso de aprendizaje.

La aplicación de la ingeniería inversa como método de enseñanza le permitió al profesor acercarse a sus estudiantes a un conocimiento teórico-práctico de los conceptos y procesos que rigen el funcionamiento de un intercambiador de calor, en especial para uno de tubos y coraza, arreglo en U. Como resultado de esta aplicación, los estudiantes entregan el diseño y prototipo base del banco didáctico del intercambiador que será usado en el desarrollo del protocolo del laboratorio que ellos mismos crearon.

Es recomendable no dejar a los estudiantes solos en la aplicación de estas metodologías sino, por el contrario, ayudarlos a aclarar las dudas que se puedan generar sobre el tema para impedir posibles daños que se le puedan causar al producto y que surjan confusiones sobre su funcionamiento.

Referencias

CDIO Initiative. (2010). *Estandares CDIO v.2.0* (con rúbricas personalizadas). Recuperado de <http://www.cdio.org/files/syllabus/CDIOStandardsv2Spanish%202010.pdf> el 30 de mayo 2014.

Cengel, Y. & Ghajar, A. (2010). *Heat and mass transfer: fundamentals and applications* (4th Ed.). New York: McGraw-Hill.

- Dym, C. & Little, P. (2009). *Engineering design: a project based introduction (3rd Ed.)*. New York: John Wiley & Sons.
- Gordon, R. & Melvin A. (2003). Reverse engineering the embryo: a graduate course in developmental biology for engineering students at the University of Manitoba, Canada. *International Journal of Developmental Biology*, 47(2), pp. 183-187.
- Incropera, F. & DeWitt, D. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer (7th Ed.)*. New York: John Wiley & Sons.
- Jiménez, E., Luna, A., García, L., Martínez, M., Sandoval, G., Delfin, J., & Arellano, L. (2010). *La ingeniería inversa como metodología para potenciar la enseñanza de la metrología*. Simposio de Metrología, Santiago de Querétano. Recuperado de <https://www.cenam.mx/sm2010/info/carteles/sm2010-c11.pdf> el 30 de mayo de 2014.
- Kreith, F., Manglik, R., Bohn, M. (2011). *Principles of heat transfer (7th Ed.)*. United States of America: Cengage Learning.
- Lefever, D., & Wood, K. (1996). *Design for assembly techniques in reverse engineering and redesign*. American Society of Mechanical Engineers (ASME), California. Recuperado de http://www.sutd.edu.sg/cmsresource/idc/papers/1996-_Design_for_Assembly_Techniques_in_Reverse_Engineering_and_Redesign-DFA-sop_force_flow.pdf el 23 de mayo de 2014.
- Mills, A. (1992). *Heat transfer*. United States of America: Richard D. Irwin, Inc.
- Otto, K. & Wood, K. (1998). Reverse engineering and redesign methodology. *Research in Engineering Design*, 10(4), pp. 226-243.
- Ramos, D. (2013). *Uso de la ingeniería inversa como metodología de enseñanza en la formación para la innovación*. World Engineering Education Forum (WEEF), Cartagena. Recuperado de <http://www.acofipapers.org/index.php/acofipapers/2013/paper/viewFile/380/189> el 30 de enero de 2014.
- Torres, G. (2008). *Ingeniería inversa: una herramienta para la iniciación al diseño*. V Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica, Cúcuta. Recuperado de <http://www.utp.edu.co/~gtorres/VARDOCS/IngenieriaInversa.pdf> el 29 de mayo de 2014.

Sobre los autores

Sergio A. Carrion A

Escuela Colombiana de Ingeniería

Diana Marcela Martínez González

Escuela Colombiana de Ingeniería

Édgar Giovanni Villamil

Escuela Colombiana de Ingeniería

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.