

EXPERIENCIAS DE APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMATICAS EN LA CATEDRA TECNOLOGÍA DEL CALOR DE INGENIERÍA MECÁNICA

Luis A. Toselli, Marcos M. Marino

Cátedra Tecnología del Calor, Dpto. de Ingeniería Mecánica y Grupo de Inv. en Simulación para
Ing. Qca., FRVM de la UTN. Av. Universidad 450 - XGB5900 Villa María, Cba., Argentina.
toselli_l@frvm.utn.edu.ar

Resumen

Se presenta una descripción de los resultados alcanzados en el dictado de la cátedra tecnología del calor, del cuarto nivel de ingeniería mecánica, abarcando un período de seis años desde la implementación de la ordenanza CSU N° 1549 - reglamento del nuevo plan de estudios para carreras de grado de la UTN-, estableciendo la opción de aprobación directa de las asignaturas basada en un régimen de evaluación continua (cap. 7.2).

Aun cuando el uso de recursos informáticos para el desarrollo de actividades práctica se hacía de una manera progresiva para completar los métodos clásicos de cálculo y diseño de equipos disponibles en la bibliografía académica, con la nueva imposición reglamentaria, la incorporación de la aprobación directa fue una de las instancias que actuaron de manera disruptiva acelerando los tiempos e instaurando otra mediación pedagógica para el desarrollo de la materia.

En dicho contexto resultó preponderante una completa transformación de la enseñanza práctica requiriendo ahora de una utilización sistémica de recursos informáticos tales como: software de uso libre, programas de desarrollo propio, además de simuladores comerciales los cuales fueron utilizados en forma integrada con el tratamiento de contenidos teóricos. Se pueden citar aplicaciones al diseño de intercambiadores de calor tipo doble tubo, coraza y tubos, de superficie extendida, placas planas y en espiral; además de evaluarse la operatoria de generadores de vapor y equipos de múltiple efecto.

Como conclusiones se cita un aprendizaje evolutivo que potenció nuevas habilidades y competencias específicas en referencia al análisis técnico y el pensamiento crítico al permitir focalizar la atención del alumno en el análisis de la interacción de variables y sus efectos en el resultado en vez de hacerlo sobre la aplicación del algoritmo de cálculo, mayor aprovechamiento de tiempos de dictado observándose mejoras ponderables de rendimiento y un manifiesto interés de las distintas cohortes.

Palabras Clave: Aplicación de herramientas informáticas, tecnología del calor, ingeniería mecánica.

Introducción

El presente trabajo describe la evolución metodológica que se implementó en la cátedra tecnología del calor, que se dicta en el cuarto nivel de la carrera de ingeniería mecánica, en la Facultad Regional Villa María de la UTN. El mismo presenta un resumen de las principales acciones desarrolladas en el período comprendido entre los ciclos lectivos 2017 al presente.

Al respecto puede indicarse que en ciclos lectivos anteriores y a lo largo de casi dos décadas de dictado de la asignatura, el cuerpo docente implementó cambios progresivos en la modalidad de desarrollo a efectos de su actualización permanente. Los mismos fueron el resultado de actividades realizadas de manera natural, entre las que se puede citar una periódica adecuación de contenidos, revisión bibliográfica, reformulación de guías de ejercicios prácticos, incremento progresivo del número de trabajos experimentales realizados en planta piloto, aplicación de software de desarrollo propio y otros con licencia comercial, mayor utilización de recursos audiovisuales, visitas a diferentes industrias regionales; entre otras.

Sin embargo, puede considerarse que a partir de 2016 da comienzo una nueva etapa que merece un análisis particular por cuanto las carreras y sus materias enfrentaron cambios disruptivos que obedecieron tanto a un factor inherente a la institución, como fue la implementación de la ordenanza CSU N° 1549 - reglamento del nuevo plan de estudios para carreras de grado de la UTN-, estableciendo la aprobación directa de las asignaturas basada en un régimen de evaluación continua; como a otro externo que fue la inesperada necesidad de implementar abruptamente el dictado total de horas de clases en modalidad no presencial, haciendo uso de plataformas virtuales de comunicación, tales como ZOOM que se utilizó para el dictado de esta materia.

La puesta en vigencia del nuevo plan instaura distintas normas que reordenan el funcionamiento académico en el nivel de grado, pero una de ellas se destaca en particular por su incidencia directa en el desarrollo de todas las cátedras; la disposición en cuestión permite alcanzar su aprobación directa, basada en un régimen de evaluación continua, tal como se plantea en el capítulo 7, punto 7.2, ítem 7.2.1; para lo cual establece, además de la asistencia a clases, la necesidad de cumplir con las actividades de formación práctica y aprobar las instancias de evaluación.

En el caso particular de tecnología del calor, la materia aborda el tratamiento de una amplia cantidad de temas que comienza con la revisión de mecanismos de transferencia de calor y continúa con otros tales como combustión, generadores de vapor, la verificación y el diseño de diferentes equipos de termotransferencia con y sin cambio de fase, incluyendo así a una variedad de tipos de intercambiadores, entre los que se puede citar: doble tubo, de coraza y tubos, de placas planas y en espiral para diferentes aplicaciones, sistemas de múltiple efecto; entre otros contenidos (Edwards, 2008) (Minton,1970) (Picón Núñez et al, 2012).

El desarrollo regular de una temática tan diversa ya planteaba la necesidad de contar con una alta interrelación de contenidos teórico-prácticos, sustentados con un amplio respaldo bibliográfico (Kern, 1999) (Cao, 2010) (VDI-Verlag GmbH, 1983) (Kuppan, 2013) (Rohsenow, et al, 1998) (Kakac, et al, 2012) (Nitsche and Gbadamosi, 2016) (Minton, 1986) (Serth, 2007) (Wang et al, 2007) (Cao, 2004).

Para esto se trabajaba con un avance simultáneo de las clases teóricas respaldadas de manera clásica con la resolución numérica de ejercicios propuestos en sucesivas guías de trabajos prácticos, además de las actividades experimentales planificadas para cada ciclo lectivo.

La actividad de cálculo se desarrollaba, hasta entonces, con la resolución de problemas específicos que eran realizados en parte mediante cálculos en forma manual, de manera tradicional y el resto con aplicación de software. La nueva situación requirió modificar la metodología empleada y considerar nuevas mediaciones pedagógicas para alcanzar los resultados pretendidos.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de las actividades de cálculo que implicaban la aplicación de métodos de tipo algorítmico propuestos en la bibliografía se afianzaba al alumno en el dominio de los procedimientos tradicionales, con aplicación complementaria de software específico entre los que puede citarse a Chemcad[®]/CC-Therm, para simulación de generadores de vapor, diseño y verificación de intercambiadores de doble tubo, coraza y tubos, placas y aroenfriadores (Chemstations, 2016), Dpipe V.1.0. como opción alternativa de manejo sencillo para doble tubo (Toselli y otros, 2013), 3E Plus[®] V.4.1 aplicado al cálculo de espesores de aislación de tuberías (NAIMA, 2012), SPHE V.1.0 para el tratamiento de equipos de placas en espiral (Toselli y otros, 2013).

Una vez alcanzado el nivel de conocimientos requeridos se desarrollaban las actividades en planta piloto, operando y analizando el comportamiento de equipos y su operatoria con

experiencias de transferencia de calor sensible en un sistema de doble intercambiador con circuitos de circulación para múltiples arreglos, evaporación, condensación, entre otras.

Esta metodología, a criterio de la cátedra, resultó adecuada para el alcance de los objetivos propuestos en la planificación anual respectiva, pudiendo observarse los resultados en forma parcial durante el año y de manera integral al momento de rendirse la asignatura mediante la aprobación de una evaluación práctica y teórica en el examen final.

A partir de los cambios reglamentarios establecidos resultó evidente la necesidad de considerar nuevas instancias de mediación docente que permitieran una reformulación del presupuesto de tiempo para el desarrollo de las unidades temáticas y de metodologías de trabajo áulico, instrumentando nuevas condiciones que permitiera mostrar la evolución individual y grupal alcanzada en cuanto al “saber” y el “saber hacer”.

Esta situación demanda ahora un mayor protagonismo del alumno y compromete al docente con la necesidad de proponer y aplicar otras herramientas para garantizar la calidad del aprendizaje y que esto pueda quedar debidamente verificado a través del sistema de evaluación continua. Para responder en este nuevo contexto se trabajó en el desarrollo de instrumentos alternativos que facilitarían el abordaje relacionado con la enseñanza de las actividades de cálculo.

Una de las dificultades que se presentaban hasta el momento era la demanda de tiempo y esfuerzo que requería la aplicación de las metodologías tradicionales para la resolución de ejercicios, hasta que el alumno lograba afianzar y aplicar los conceptos estudiados. Al mismo tiempo resultaba evidente que complementar esta actividad con el uso de los programas citados permitía profundizar el conocimiento e incrementar la cantidad de ejercicios resueltos, pero, planteaba la dificultad de requerir un tiempo mínimo hasta alcanzar un manejo suficiente distrayendo al alumno del objetivo principal.

La solución implementada entonces fue desarrollar nuevos instrumentos de uso sencillo, pero unificadores en cuanto a metodología, que se aplicaron para trabajar todas las actividades de cálculo ahora únicamente con apoyo informático. Para esto se programaron los algoritmos de aplicación, soporte de gráficos y tablas de datos necesarios para la resolución utilizando planillas de Excel. La utilización de la herramienta cuenta con instructivos mínimos en donde se detalla el procedimiento paso a paso. A efectos de ejemplificar lo expuesto se puede observar la Fig. 1.

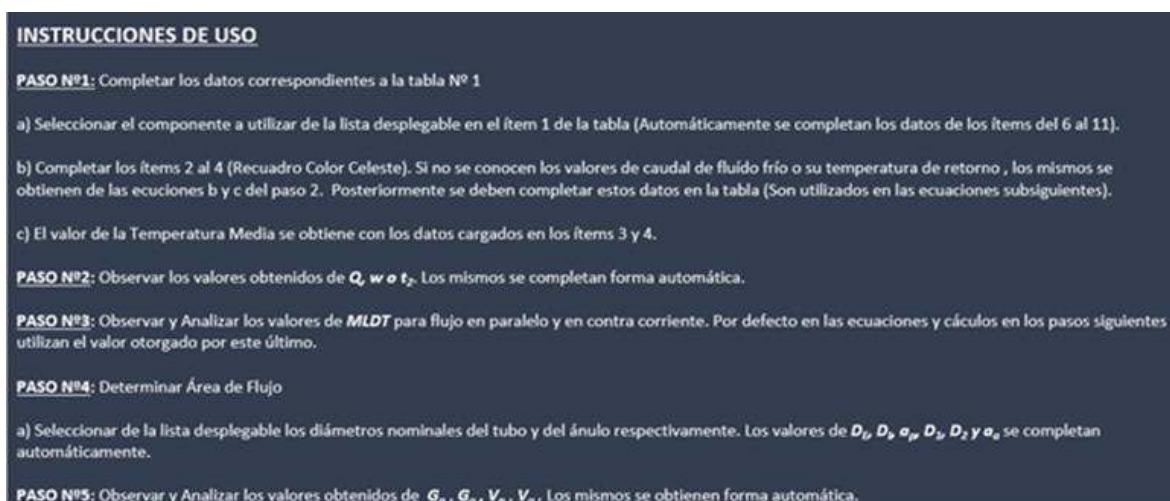


Fig. 1: Instrucciones de uso.

El ingreso de información para determinar la etapa de cálculo de balances de masa y energía resulta automático, luego definir los datos de las corrientes, resolviendo una incógnita de caudal y/o temperatura de acuerdo al problema propuesto. La selección de componentes se hace a partir

de una base de datos que cuenta con un mínimo de ellos para una aplicación básica, pudiendo ingresar otros no existentes de manera manual por teclado. Ver Fig. 2.

1 Completar Datos de Tabla 1				
Tabla N°1. Datos Generales de las Corrientes				
Ítem	Datos de Corrientes	Fría	Caliente	Unidades
1	Denominación	Agua	Acetona	-
2	Caudal	Agua	50000	lb/h
3	Temperatura de Entrada	Alcohol (100% - 60°F) Anilina (50 - 100 °F)	140	°F
4	Temperatura de Salida	Anilina (100 - 150 °F)	89	°F
5	Temperatura Media	Benceno Tolueno	114,5	°F
6	Gravedad Específica	Acetona Aceite Maíz	0,79	Adimensional
7	Densidad	62,20	49,14	lb/ft ³
8	Viscosidad	1	0,27	Cp
9	Viscosidad	2,42	0,6534	lb/ft h
10	Conductividad Térmica	0,356	0,102	BTU/h ft °F/ft
11	Calor Específico	1	0,51	BTU/lb °F

Observaciones:
- Para determinar el Calor específico, la viscosidad, densidad y otras propiedades utilizar el promedio de las temperaturas

Fig. 2: Datos de corrientes y selección de componentes

El avance del cálculo es asistido incorporando información para selección de datos que deben ser definidos por el usuario u obtenidos en gráficos y tablas incorporado en hojas anexas, además de contar aporte de heurísticos y/o advertencias al usuario (Fig.3).

3 Determinar la MLDT

$$MLDT = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln\left(\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}\right)}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - T_1}$$

$$MLDT OP = F_T \times MLDT$$

MLDT CC = 24,46 °F

R = 3,19

S = 0,26

F_T = 0,868

MLDT OP = 21,04 °F

HEURÍSTICO:

- El MLDT debería ser mayor a 10 °F para lograr un Área de Transferencia razonable.
- El factor F_T debería ser mayor a 0,75. Esto es para que se asemeje lo mayor posible a un contra corriente puro

INFORMACIÓN

a) El factor F_T se obtiene de las figuras N° 18, 19, 20 y 21 dependiendo del número de pasos en los tubos y en la coraza

¡IMPORTANTE!
Antes de continuar, para el caso de diseño de equipo de transferencia de calor, se debe decidir acerca de que corriente circulará por el lado tubo o lado ánulo teniendo en cuenta características de los fluidos. Por ejemplo, Viscosidad, Caudal, grado de ensuciamiento, entre otras variables

Punto Caliente

Tubo

Coraza

TUBO:		CORAZA:	
D Nominal	3/4 (13)	$a_s^j = \frac{\pi \times D^2}{4}$	$A_t = n_t \times \frac{\pi \times DE^2}{4}$
DI =	0,0467 ft	D Coraza	15,25 in
DE =	0,0625 ft	D =	1,27 ft
BWG	13	a _s ^j =	1,268 ft ²
a _s ^j =	0,00172 ft ²	A _s =	0,380 ft ²
a _s ^j =	0,1963 ft ² /ft lienal	n _{ps} =	1 Pasos
L =	16 ft	B =	3,5 in
P _r =	1,00 in	N =	54 Deflectores
C =	0,25 in	N+1 =	55 Cruces
n =	2 Pasos		
Arreglo =	Cuadro		
n _t =	164		

Fig. 3: Ingreso y/o selección de información de operación

Los resultados se presentan con observaciones acerca de su validez (resaltado en verde) o bien destacando si superan los límites pretendidos (observados en rojo), como se muestra en la Fig.4.

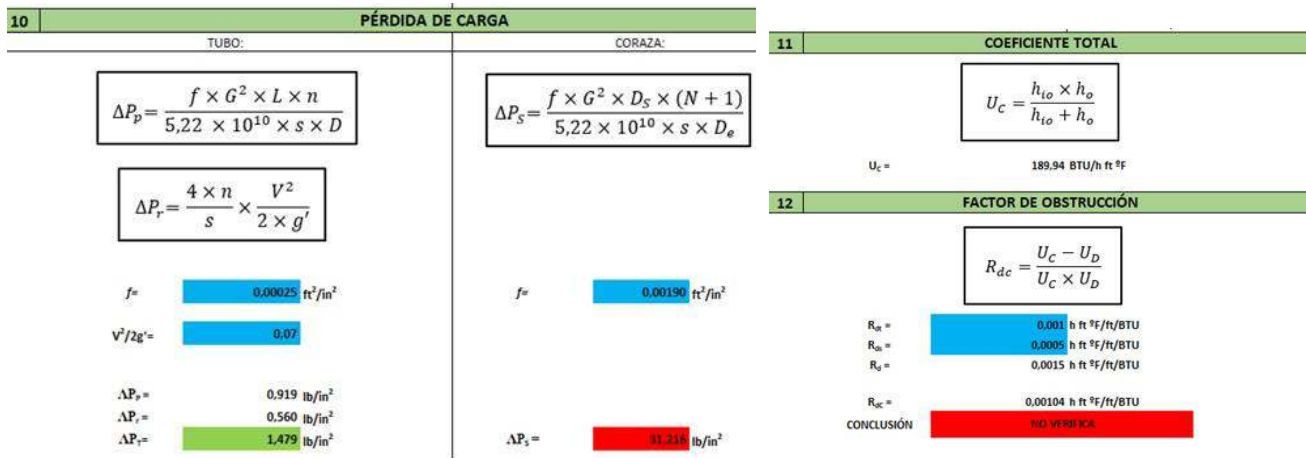


Fig. 4: Presentación de resultados.

Concluida la operación y alcanzados los resultados pretendidos, en una hoja anexa se pueden mostrar y/o imprimir, presentados en formato normalizado como se muestra en la Fig.5. (TEMA, 1999).

HOJAS DE ESPECIFICACIONES DE INTERCAMBIADORES DE CALOR (NORMA TEMA)			
1			
2	Cliente:	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARÍA	TAG N°: 1
3	Dirección:	AV. UNIVERSIDAD 450	Cotización N°: 1
4	Localización de la planta:		Fecha: 11/9/2022
5	Servicio de la Unidad:	LIQUIDOS	
6	Tamaño:	Tipo: Doble tubo	Conexión: Paralelo: Serie:
7	Sup.por Unidad (Tot./Ef.):	m²	Secciones por Unidad: Sup.por sección (Tot./Efec.): m²
8	PERFORMANCE DE LA UNIDAD		
9	Tipo de Proceso		
10	Colocación del fluido	Tubo externo (Ánulo)	Tubo interno
11	Nombre del fluido	Tolueno	Agua
12	Cantidad total (Caudal)	Lb/h	
13	Gas	-	-
14	Líquido (entrada / salida)	23000	18576.92
15	Vapor (entrada / salida)	-	-
16	No condensable	-	-
17	Fluido vaporizado o condensado	-	-
18	Densidad líquido (entrada/salida)	Lb/ft³	54,11 62,2
19	Viscosidad líquido	Lb/ft h	1,21 2,42
20	Calor específico líquido	BTU/lb °F	0,42 1
21	Conductividad térmica líquido	BTU/h ft °F/ft	0,086 0,356

Fig. 5: Información ajustada a hoja de especificaciones norma TEMA

Resultados y discusión

Es conveniente recordar que, históricamente, el rendimiento de los alumnos en la asignatura siempre estuvo condicionado por dificultades inherentes a cuestiones vinculadas con el avance académico alcanzado en niveles anteriores de la carrera, mostrando mayores problemas en la medida el mismo resultaba más limitado.

Esta situación que ha tenido y seguirá teniendo impacto en los rendimientos esperados. También es posible considerar que el cursado no presencial ha modificado las condiciones de los alumnos que comenzaron el cursado del presente ciclo lectivo.

Sin embargo, se considera que el período 2017 a 2021 resulta suficiente para evaluar los resultados bajo las actuales condiciones reglamentarias y, al respecto, es posible indicar que la

respuesta por parte de las distintas cohortes se valora positiva, habiéndose obtenido en cada ciclo lectivo niveles de aprobación directa promedio que se encuentra en un 75 % del total de cursantes.

Pese a las observaciones enunciadas los nuevos instrumentos propuestos, actualmente, son recursos de uso normal para los estudiantes, contando con aplicaciones para el cálculo de serpentines e intercambiadores de tipo doble tubo, coraza y tubos, placas planas, placas en espiral. Actualmente se está elaborando la correspondiente a superficies extendidas.

La aplicación de modelos rigurosos de estos mismos equipos se utiliza para fines comparativos y es presentado por los docentes, al igual que el tratamiento de modelos más complejos como generadores de vapor o equipos de múltiples etapas que se realiza con aplicación del simulador Chemcad y CC_Therm, situación que se plantea en razón de no recibir una formación previa relacionada con el manejo de este tipo de software.

En la medida que se avanza con el dictado de los contenidos la formación experimental se desarrolla en forma paralela mediante aplicación del equipamiento existente en planta piloto, implementándose actividades prácticas en donde los alumnos operan con todos los tipos de equipos indicados con excepción de intercambiadores de placas en espiral por no disponer de ellos hasta el momento. Parte del equipamiento utilizado se muestra con fines ilustrativos en la Fig. 6.



Fig. 6: Equipamiento experimental

Conclusiones

Como principales conclusiones se cita: i) un aprendizaje evolutivo que potenció nuevas habilidades y competencias específicas relacionadas con el análisis técnico y el pensamiento crítico. ii) las nuevas aplicaciones permiten focalizar la atención del alumno en el análisis de la interacción de variables y sus efectos en el resultado, en vez de hacerlo sobre la aplicación del algoritmo de cálculo, iii) se ha alcanzado un mayor aprovechamiento de tiempos de dictado observándose mejoras ponderables de rendimiento y un manifiesto interés de las distintas cohortes, iv) se ha podido avanzar en cuanto al enfoque y modalidad de las evaluaciones realizadas permitiendo observar progresos en relación con el conocimiento adquirido y la capacidad de aplicarlo para desarrollar soluciones técnicas adecuadas a las diferentes situaciones.

Referencias

Cao, E. (2004). *Transferencia de Calor en Ingeniería de Procesos*. 1° edición. Editorial Nueva Librería. Argentina.

- Cao, E. (2010). *Transfer in Process Engineering*. Mc Graw Hill Companies. Nueva York, USA.
- Çengel, Y. and Ghajar A. (2011). *Transferencia de Calor y Masa. Fundamentos y Aplicaciones*. 4ª edición. The McGraw-Hill Companies, Inc., México.
- Chemstations Inc. (2016). *CHEMCAD Version 7 User Guide*. Disponible en: https://www.chemstations.com/Support/Software_Updates_and_Notes/CHEMCAD_7_Support/
- Edwards, J.E. (2008). *Design and Rating of Shell and Tube Heat Exchangers*. MNL 032A Issued 29 August 08. P & I Design Ltd, Teesside, UK. Disponible en: https://www.cit-wulkow.chemstations.com/content/documents/Technical_Articles/shell.pdf.
- Kakac, S. Liu, H. and Pramuanjaroenkij, A. (2012). *Heat Exchanger. Selection, Rating, and Thermal Design*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL , USA.
- Kern, D. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*. México. Editorial CECSA.
- Kuppan, T. (2013). *Heat Exchanger Design Handbook, second edition*. Boca Raton. USA. CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Minton, P. E. (1970). *Designing Spiral Heat Exchangers*. Reprinted: Chemical Engineering, 103-112.
- Minton, P. E. (1986). *Handbook of Evaporation Technology*. Noyes Publications, New Jersey, USA.
- NAIMA. - North American Insulation Manufacturers Association. (2012). *3E Plus®. Insulation Thickness Computer Program*. Version 4.1 User's Guide.
- Nitsche, M. and Gbadamosi, R. (2016). *Heat Exchanger Design Guide*. Elsevier publishers. Inc. USA.
- Picón Núñez, M., Polley, G. and Riesco, J. (2012). *Design Space for the Sizing and Selection of Heat Exchangers of the Compact Type*. Chemical Engineering Transactions, 29, 217-222.
- Rohsenow, W, Hartnett, J, Cho, Y. (1998). *Handbook of Heat Exchangers*. Nueva York, Estados Unidos de América. Ed. Mc Graw Hill.
- Serth, R.W. (2007) *Process Heat Transfer. Principles and Applications*. first edition. Academic Press. Elsevier Ltd. USA.
- TEMA, Technical Committee Tubular Exchanger Manufacturers Association - (1999). *Standards of Tubular Exchangers Manufacturer Association. Eighth edition*. Estados Unidos de America. Jim Harrison Editor.
- Toselli, L. Beltrán, R. y Toselli P. (2013). *Desarrollo de un Software para Diseño y Verificación de Intercambiadores de Calor de Tipo Espiral. (Spiral Plate)*. 1º Congreso Argentino de Ingeniería de Procesos y de Productos 1º PIPP y III Jornadas del Programa de Ingeniería de Procesos y de Productos de la UTN, FRBA de la UTN, Libro de actas en CD, CABA, 6 al 8 de noviembre.
- Toselli, L. Guerrero, M. Monesterolo, V. y Beltrán, R. (2009); *Aplicación del Simulador ChemCAD™ a la Enseñanza en Carreras de Ingeniería*. Formación Universitaria. 2, (3), 19 – 24, doi: 10.1612/form.univ.1027fu.09

Toselli, L. Bonamici, B. Guerrero, M. y Rosa, M. (2003). Aplicaciones del Software D-Pipe v1.0 al Diseño y Análisis de Intercambiadores de Calor de Doble Tubo. Actas 6º Congreso Interamericano de Computación Aplicada a la Industria de Proceso. CAIP'2003, B.U.Közanoglu y J.L.Patiño Editores, México, Págs. 268-271, México.

VDI-Verlag GmbH. (1983). *Heat Exchanger Design Handbook*. Hemisphere Publishing Corporation. Washington, USA.

Wang, L. Sundén, B. and Manglik, R.M. (2007) *Plate Heat Exchangers. Design, Applications and Performance*. United Kingdom. Edited: WIT Press.