

Desarrollo de un Software para Diseño y Verificación de Intercambiadores de Calor de Tipo Espiral. (Spiral Plate)

Luis A. Toselli¹, Romina A. Beltran¹ y Paula A. Toselli²

1 Grupo de Investigación en Simulación para Ing. Qca. – GISIQ - FRVM de la UTN,
Av. Universidad 450, (X5900HLR) Villa María, Córdoba, Argentina.

2 Cátedra Inteligencia Artificial, Carrera Ingeniería en Sistemas de Información, FRVM de la UTN.
email: toselli_1@frvm.utn.edu.ar

Resumen – Se ha desarrollado una aplicación (Spiral Plate Heat Exchanger - SPHE V1.0) para diseño y/o verificación de este tipo de intercambiadores bajo dos modalidades de cálculo disponibles en la literatura especializada. La misma posee funcionalidad para operar con fluidos sin cambio de fase y arreglos de flujo en contracorriente, previéndose ampliar su potencialidad a futuro. La aplicación fue implementada utilizando Java Development Kit 1.7, específicamente Netbeans 7.3 y cuenta con una base de datos en Microsoft Access 2010 con más cien componentes que puede ampliarse de manera ilimitada. Su manejo resulta simple e intuitivo y fue empleado satisfactoriamente en el dimensionamiento de enfriadores industriales para mostos de fermentación de alta concentración de sólidos y de suspensiones. Resulta una herramienta académica de interés para ser empleada en cátedras específicas de carreras de grado y posgrado.

Palabras claves - Intercambiadores de tipo espiral, diseño y verificación de equipos, transferencia de calor

Software Development for Design and Verification Spiral-Type Heat Exchangers. (Spiral Plate)

Abstract - It has been developed an application (Spiral-Plate Heat Exchanger SPHE V1.0) to design and verification of this type of exchangers under two calculate modes available on the specialized bibliography. It has functionality to operate with fluids without phase change and counter current flow arrangements, anticipating expand its future potential. The application was implemented using Java Development Kit, particularly Netbeans 7.3 and it has a data base made on Microsoft Access 2010 with more than hundred components which can be expanded without limit. Its operation is simple and intuitive and it was used successfully in the design of industrial chillers for fermentation musts high concentration of solids and suspensions. It is an academic tool of interest to be used in specific chairs of undergraduate and graduate students.

Keywords - spiral-plate heat exchanger, equipment's design and verification, heat transfer

INTRODUCCIÓN

Los intercambiadores de calor de tipo espiral (spiral plates) tienen una creciente aplicación en diferentes procesos debido a que presentan una serie de ventajas entre las que se mencionan su diseño compacto, variedad de arreglos de flujo, alta eficiencia de transferencia de calor con bajo costo de mantenimiento, fácil limpieza y alta resistencia al ensuciamiento (Bes y Roetzel, 1993; Dongwu, 2003; Egner y Burmeister, 2005; Picón Núñez

et al., 2012).

Son aptos para operar con fluidos muy viscosos y/o suspensiones debido a que el cambio constante de dirección que experimentan al desplazarse en su interior se traduce en un esfuerzo cortante alto que elimina zonas con estancamiento de flujo, provoca un incremento del coeficiente de transferencia y mantiene las partículas en suspensión previniendo la formación de depósitos generando condiciones operativas auto-limpiantes que pueden ser consideradas como de bajo ensuciamiento (mínimo fouling).

La velocidad y la altura del canal de circulación (gap) son dos parámetros básicos para mantener estas condiciones. Como regla general, en aplicaciones con fluidos que presentan un ensuciamiento regular la velocidad será, normalmente, superior a 1 m/s. Bajo condiciones de ensuciamiento más severo la misma se puede elevar hasta 2 - 2,5 m/s. Sin embargo si el líquido contiene partículas en suspensión deben considerarse sus efectos abrasivos requiriendo entonces una solución de compromiso entre alta velocidad para reducir el ensuciamiento y baja velocidad para la reducir la erosión del equipo.

Para el caso de suspensiones la altura o gap no depende sólo de la tendencia de ensuciamiento sino también del tamaño máximo de las partículas presentes y de la mayor o menor facilidad de acceso pretendida para proceder con la limpieza mecánica del equipo. Por lo tanto es más difícil generalizar, pero normalmente el mismo debería exceder de 10 mm en aplicaciones con ensuciamiento. Una altura menor hace más difícil esta operación. Las reglas de diseño para aplicaciones específicas son, a menudo, una información restringida y de propiedad exclusiva de los fabricantes (Wilhelmsson, 2005).

Modelos para el cálculo de coeficientes de transferencia basados en una curvatura promedio entre entrada y salida han recibido una amplia aceptación, en tanto que otros autores han tratado de modo más sofisticado el efecto de la curvatura representándola por la dependencia del número de Nusselt (Nu) con el número de Dean (K), en particular para condiciones de flujo laminar. (Minton, 1970; Picón Núñez et al., 2007 y 2009; Ríos Orozco y Riesco Ávila, 2008).

DESARROLLO

Se ha podido establecer que la oferta de programas comerciales y/o académicos destinados al tratamiento de tales equipos resulta muy pobre, si se la compara con la existente para otros intercambiadores de geometrías más tradicionales. Se ha observado éste déficit tanto en simuladores comerciales con alto grado de aplicación como en otros programas de uso específico para cálculos de termotransferencia. Por ésta razón un software de aplicación de tales características ha sido desarrollado recientemente en el GISIQ pretendiendo responder a necesidades detectadas en la interacción con la industria regional, generándose además una herramienta válida para utilizar en el ámbito académico.

SPHE V.1.0 es una aplicación desarrollada para diseñar y/o verificar estos equipos mediante aplicación de dos modalidades de cálculo que han sido propuestos en la literatura especializada.

Uno de éstos métodos fue presentado por Minton en 1970; éste combina las ecuaciones empíricas clásicas para los coeficientes peliculares de transferencia de calor con las ecuaciones de balance de energía y con correlaciones que describen la geometría del intercambiador de calor. La ecuación global resultante establece un reordenamiento en tres grupos diferentes que contienen factores relacionados con las propiedades físicas del fluido, el rendimiento del intercambiador y el arreglo de la superficie de transferencia. Estos grupos se multiplican luego por un factor numérico para obtener un producto que es igual a la fracción de la fuerza total de conducción ΔT_{ML} (diferencia media logarítmica de temperatura) que se disipa a través de cada elemento resistente en la trayectoria del flujo de calor.

Cuando la suma de los productos de cada resistencia individual es igual a 1 el diseño propuesto se supone satisfactorio. Su significado físico implica que la suma de las diferencias de temperatura a través de cada resistencia será igual al ΔT_{ML} total. Las caídas de presión para ambas trayectorias de flujo deben ser evaluadas para verificar que están dentro de límites aceptables. Normalmente el método requiere de varios cálculos para conseguir un equilibrio satisfactorio entre la transferencia de calor y la pérdida de carga.

El segundo es un método de diseño alternativo que resulta de implementación sencilla y fue propuesto por Picón Nuñez y coautores en 2007. Bajo su enfoque la presión debida a la fricción está directamente relacionada con el coeficiente de transferencia de calor a través de la geometría del intercambiador, lo que resulta en una metodología que maximiza la caída de presión y se traduce en un diseño con dimensiones más pequeñas. En su disposición a contracorriente ambos fluidos tienen la misma longitud de flujo. Un grado de libertad es la altura o gap de la sección de flujo que se puede ajustar para ambas corrientes a efectos de maximizar la pérdida de carga admisible.

Características del software

Su funcionalidad está inicialmente acotada para operación con fluidos sin cambios de fase y arreglos de flujo para circulación en contracorriente.

La aplicación fue implementada utilizando Java Development Kit 1.7, específicamente Netbeans 7.3 como entorno de desarrollo en razón que dicha herramienta es gratuita y puede ser descargada libremente de la WEB debido a que dispone de licencias GNU GPL / Java Community Process.

El software posee una base de datos con más de cien componentes que puede ampliarse de manera ilimitada. Para su desarrollo se ha utilizado Microsoft Access 2010.

Su operación es simple, cuenta con interfaces amigables al usuario y puede instalarse en cualquier PC siguiendo los pasos incluidos en el instalador requiriendo solamente disponer de Windows XP o versiones superiores. SPHE V.1.0, incluye: base de datos tipo ODBC, pantallas de información general, algoritmos de cálculo, rutinas E/S, manual de uso y paquete instalador.

Se accede a la selección de opciones de diseño desde su pantalla inicial en la cual se puede además requerir información general sobre las características principales de estos equipos. La operatoria continúa en la misma pantalla en donde se definen una serie de parámetros de diseño y se seleccionan los fluidos circulantes en el banco de datos de componentes (principalmente líquidos de uso habitual en la industria química y de alimentos) que se indicarán como caliente y frío, respectivamente.

Finalmente el usuario introduce por teclado los valores numéricos correspondientes para definir las características geométricas de la placa, fijando también las alturas (gap) para establecer así las secciones de circulación de ambos fluidos. Se deberá ingresar también el valor de uno de los caudales circulantes, (fluido frío o caliente, expresado en kg/h) y las respectivas temperaturas de entrada y salida pretendidas, todas en °C (Fig. 1).

Al concluir el ingreso se procede en forma secuencial a la validación de datos de propiedades de los fluidos utilizados y, posteriormente, al cálculo del equipo.

Al seleccionar la opción de visualizar propiedades se mostrarán los valores utilizados de las capacidades caloríficas, conductividades térmicas, viscosidades y densidades de los fluidos. En el caso de demandar el uso de nuevos componentes, estos podrán ser incorporados directamente a la base de datos requiriendo la definición previa de los distintos coeficientes de regresión que se utilizarán según la librería de ecuaciones y de acuerdo al modelo de predicción aplicado para cada una de las distintas propiedades.

Una opción alternativa es el ingreso directo de los valores de estas propiedades y de otros datos requeridos en una segunda pantalla (Fig. 2) los que deberán ser expresados únicamente en las unidades predeterminadas.

Finalmente, la aplicación muestra en distintas pantallas de salida un resumen del diseño con los valores calculados de acuerdo a cada método, ordenándose la información según lados frío o caliente, además de presentar los datos generales del equipo. (Fig. 3).

Luego del análisis se podrá optar por el replanteo del diseño o la generación de nuevos casos de estudio, guardándose por defecto la información como archivo Excel o en formato pdf en el subdirectorío del software. El modo de guardado será seleccionado por el usuario.

Spiral Plate Heat Exchange - SPHE V1.0

Acetato de Butilo
Acetato de Etilo
Acetato de Metilo
Acetato de N-Butilo
Acetona
Acido Acetico
Acido Benzoico
Acido Carbonico
Acido Formico
Acido Glutamico
Acido Lactico
Acido Laurico
Acido Linoleico
Acido Maleico
Acido mono cloroacetico
Acido Nitrico
Acido Oleico
Acido Palmico
Acido Propionico
Acido Stearico
Acido Sulfurico
Agua
Alcohol Amilico
Alcohol Isoamilico
Alcohol n-butilico
Anilina
Anisol
Benceno

Fluidos: Fluido Frío: Fluido Caliente:

Métodos de cálculo:
 MINTON - (shortcut design method)
 PICON NUÑEZ y otros (alternative approach)

Placa:
 Ancho (cm):
 Longitud (cm):
 Espesor (mm):

Espaciamiento (GAP) lado frío (mm):
 Espaciamiento (GAP) lado caliente (mm):
 Diámetro de embocadura lado frío (cm):
 Diámetro de embocadura lado caliente (cm):

Flujo másico fluido (kg/h): Frío Caliente

Fluidos: Fluido Frío

Temp. de entrada (°C):
Temp. de salida (°C):

Fluidos: Fluido Caliente

Temp. de entrada (°C):
Temp. de salida (°C):

Validar Datos

Calcular

 
 

Figura 1 - Pantalla inicial para selección del método de cálculo e ingreso de datos

Spiral Plate Heat Exchange - SPHE V1.0

Nuevo Fluido

Fluidos: Fluidos Frío

Tipo fluido: <input type="text"/>	Conductividad térmica (kcal/h m °C): <input type="text"/>
Peso molecular: <input type="text"/>	Capacidad calorífica (kcal kg °C): <input type="text"/>
Densidad (kg/m3): <input type="text"/>	Factor de obstrucción (h m2 °C/kcal): <input type="text"/>
Viscosidad (cP): <input type="text"/>	

Fluidos: Fluidos Caliente

Tipo fluido: <input type="text"/>	Conductividad térmica (kcal/h m °C): <input type="text"/>
Peso molecular: <input type="text"/>	Capacidad calorífica (kcal kg °C): <input type="text"/>
Densidad (kg/m3): <input type="text"/>	Factor de obstrucción (h m2 °C/kcal): <input type="text"/>
Viscosidad (cP): <input type="text"/>	

 

Figura 2 - Ingreso de información para componentes no disponibles en la base de datos

Spiral Plate Heat Exchange - SPHE V1.0
Resultados - Picon Nuñez

Fluido Caliente		Fluido Frío	
Caudal (kg/h):	<input type="text"/>	Caudal (kg/h):	<input type="text"/>
Temp. Entrada (°C):	<input type="text"/>	Temp. Entrada (°C):	<input type="text"/>
Temp. Salida (°C):	<input type="text"/>	Temp. Salida (°C):	<input type="text"/>
Reynolds:	<input type="text"/>	Reynolds:	<input type="text"/>
Coef. Pelicular (kcal/h m ² °C):	<input type="text"/>	Coef. Pelicular (kcal/h m ² °C):	<input type="text"/>
Velocidad lineal (cm/seg):	<input type="text"/>	Velocidad lineal (cm/seg):	<input type="text"/>
ΔP Equipo (kg/cm ²):	<input type="text"/>	ΔP Equipo (kg/cm ²):	<input type="text"/>
ΔP Embocaduras (kg/cm ²):	<input type="text"/>	ΔP Embocaduras (kg/cm ²):	<input type="text"/>
ΔP Total (kg/cm ²):	<input type="text"/>	ΔP Total (kg/cm ²):	<input type="text"/>
Área de flujo (cm ²):	<input type="text"/>	Área de flujo (cm ²):	<input type="text"/>
GAP (mm):	<input type="text"/>	GAP (mm):	<input type="text"/>

General Equipo

Δ TML (°C):	<input type="text"/>	Rd requerido (h m ² °C/kcal):	<input type="text"/>	Diám. externo del espiral (cm):	<input type="text"/>
Área de transferencia (m ²):	<input type="text"/>	Rd diseño (h m ² °C/kcal):	<input type="text"/>	U de diseño (kcal/h m ² °C):	<input type="text"/>

 

Figura 3 - Salida de resultados

CONCLUSIONES

Como conclusiones se plantea:

1) el programa ha sido utilizado en el cálculo de enfriadores de mostos de fermentación con alta concentración de sólidos y de suspensiones y lechadas típicas del proceso de elaboración de carbonato de calcio precipitado en el contexto de convenios vigentes con la industria,

2) los resultados obtenidos son considerados satisfactorios luego de compararse sus características con las de equipos ofrecidos por empresas fabricantes, y

3) su manejo simple e intuitivo, aún para usuarios no experimentados, hace posible su aplicación como una herramienta académica para cátedras específicas de carreras de grado y posgrado.

REFERENCIAS

Bes y Roetzel, "Thermal Theory for Spiral Heat Exchanger", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 36 (3), 765-773, (1993).

Dongwu, "Geometric Calculations for the Spiral Heat Exchanger", *Chemical Eng. Technology*, 26, 592-598, (2003).

Egner y Burmeister, "Heat Transfer for Laminar Flow in Spiral Ducts of Rectangular Cross Section", *Journal of Heat Transfer*, 127, 352-356, (2005).



Picón Núñez, Polley and Riesco, "Design Space for the Sizing and Selection of Heat Exchangers of the Compact Type." *Chemical Engineering Transactions*, 29, 217-222, (2012).

Wilhelmsson, "Consider Spiral Heat Exchangers for Fouling Application", *Hydrocarbon Processing*, 81-83, (2005).

Minton, "Designing Spiral Heat Exchangers", *Chemical Engineering*, 103- 112, (1970).

Picón Nuñez, Canizalez Davalos y Morales Fuentes, "Alternative Design Approach for Spiral Plate Heat Exchangers", *Institute for Scientific Research*, (2007).

Picón Núñez, Canizalez Davalos y Medina Flores,

"Alternative Sizing Methodology for Compact Heat Exchangers of the Spiral Type", *Heat Transfer Engineering*, 30 (9), 744-750, (2009).

Ríos Orozco y Riesco Avila, "Diseño de Intercambiadores en Espiral Considerando el Efecto de la Curvatura en el Coeficiente de Transferencia de Calor", 14° Congreso Internacional SOMIM, Puebla, México, (2008).