



Modelado y simulación del flujo de intercambiadores de calor de tubos y aletas con cambio de fase en el refrigerante



E.J. Córdoba Tuta^a y D.A. Fuentes Díaz^b

^a Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia Bolivariana, km 7 vía Piedecuesta, Bucaramanga, Colombia

^b Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Industrial de Santander, Cra. 27 calle 9, Bucaramanga, Colombia

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 18 de junio de 2014

Aceptado el 6 de noviembre de 2014

On-line el 28 de febrero de 2015

Palabras clave:

Modelado
Simulación
Grafos
Intercambiadores
Tubos y aletas
Evaporadores

Keywords:

Modeling
Simulation
Graphs
Heat exchangers
Tubes and fins
Evaporators

R E S U M E N

En este trabajo se presenta el desarrollo de una herramienta computacional para la simulación del comportamiento del flujo en los intercambiadores de tubos y aletas en el que se puede presentar cambio de fase en el refrigerante, para lo cual se usó la metodología de volúmenes finitos para el modelado del intercambiador y la representación del conexionado de los tubos se hizo por medio de la teoría de grafos. Debido a que la hidrodinámica y los fenómenos relacionados con el flujo en 2 fases no está bien desarrollada, el modelo acepta diferentes correlaciones empíricas para el cálculo de la caída de presión y el coeficiente de transferencia de calor. Como resultado, se obtuvo una herramienta computacional para la simulación de intercambiadores de calor de tubos y aletas que permite el modelado del flujo del refrigerante en estado monofásico o bifásico. Con el modelo del intercambiador fue posible predecir el comportamiento de los flujos de un evaporador bajo condiciones de aletas secas y húmedas, obteniéndose valores de error inferiores al 6% con respecto a los datos experimentales.

© 2014 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Modeling and simulation of flow in fin-and-tube heat exchangers with phase change in the coolant side

A B S T R A C T

This paper presents the development of a computational tool for the simulation of flow behavior in the fin-and-tube heat exchangers with phase change in the coolant side, for which the finite volume method was used for exchanger modeling and representation of the connection of the tubes was made using graph theory. Because the hydrodynamic phenomena and the 2 phase flow is not well developed, the model supports various empirical correlations for calculating the pressure drop and heat transfer coefficient. As a result a computational tool for simulating of fin-and-tube heat exchangers that allows the modeling of the refrigerant flow in single phase or two-phase state was obtained. With the model of the exchanger was possible to predict the flow behavior of an evaporator under conditions of dry and wet fins give error values below 6% with respect to the experimental data.

© 2014 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

Los intercambiadores de calor de aletas y tubos son intercambiadores de superficies extendidas donde los tubos son aleteados

en la parte externa para aumentar el área de transferencia de calor. En estos tipos de intercambiadores es común que el fluido interno (generalmente un refrigerante) se encuentre en estado bifásico. Debido a que la hidrodinámica y los aspectos relacionados con la transferencia de calor para flujo en 2 fases no está bien entendida, como se entiende el flujo en una fase, las predicciones de caída de presión y coeficientes de transferencia de calor se realizan por medio de correlaciones empíricas, que han sido desarrolladas para

Correos electrónicos: edwin.cordoba@upb.edu.co (E.J. Córdoba Tuta), dfuentes@uis.edu.co (D.A. Fuentes Díaz).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2014.11.002>

0213-1315/© 2014 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

ciertas condiciones de operación hidrodinámica y no se garantiza que se ajusten bien a todas las posibles condiciones de operación.

Este trabajo presenta el desarrollo de un modelo de flujo para intercambiadores de calor de aletas y tubos que contempla el cambio de fase en el lado del refrigerante, la transferencia de calor radial en los tubos y el efecto del comportamiento del flujo según la topología del intercambiador de calor. El modelo permite el cálculo de cualquier topología de conexionado de los tubos de una forma eficiente por medio de la teoría de grafos. El ingreso de los datos del intercambiador de calor fue realizado a partir de archivos estructurados basados en el lenguaje de etiquetas XML.

2. Modelado del intercambiador de calor

A pesar de que durante muchos años existían modelos que describen el cálculo del flujo de intercambiadores de calor de aletas y tubos, solo en estos últimos decenios se han desarrollado gran cantidad de herramientas computacionales para tal fin. Algunas tendencias a nivel mundial se muestran a continuación.

En 1997 Bensafi [1] desarrolló una aplicación que permitía el diseño de intercambiadores de calor de aletas y tubos. Bensafi obtuvo buenos resultados en el cálculo de la transferencia de calor, pero obtuvo resultados discretos en el cálculo de la caída de presión (por el orden del 30%). Esta aplicación permitía configurar los intercambiadores de calor y podía simular condiciones secas y húmedas de las aletas. Uno de los inconvenientes encontrados fue la validación de resultados de ciertas pruebas, debido a que no se contaba con modelos para el cálculo de propiedades de algunas mezclas de fluidos. En 2004 Ge [2] trabajó en la simulación de condensadores de aletas y tubos por medio de un método de modelado distribuido en 3D. En el 2004 Rigola et al. [3] presentaron un análisis para intercambiadores y evaporadores usando el método SIMPEC. Liu, [4] en el 2004, desarrolló un modelo para el cálculo del flujo de intercambiadores de calor de aletas y tubos basado en la teoría de grafos. Con los grafos Liu pudo analizar circuitos de refrigerantes complejos. El cálculo de caída de presión y coeficiente de transferencia de calor se hizo de forma independiente, y no es muy preciso para ciertos casos. En el 2006, Kuo [5] presentó un nuevo método para el cálculo de circuitos complejos en el lado del refrigerante. Kuo propuso un array de 4 índices para manejar las diferentes configuraciones de los tubos. Este método, aunque también puede configurar circuitos complejos, es más rígido que el modelo propuesto por Liu. Jiang, [6] en el 2006, desarrolló el software *CoilDesigner* para la simulación y diseño de intercambiadores de calor de aletas y tubos. Este programa se basó en redes para la configuración de los circuitos. A diferencia del trabajo de Liu, que está basado en grafos, Jiang se basa en una matriz no cuadrada que relaciona las conexiones de los tubos. Domanski [7] participó en el desarrollo del software *EVAP-COND* para la NIST, cuyo objeto fue la simulación de intercambiadores de calor de tubos y aletas con optimización de circuitos. El programa permitía configurar cualquier topología y tenía la opción de optimizar la mejor ruta para el refrigerante. Las propiedades de los fluidos fueron obtenidas a partir de la base de datos REFPROP®. La limitación encontrada en esta aplicación es la de no poder seleccionar el tipo de correlación para el cálculo. En el 2011 Ding [8] desarrolló un programa denominado *THX-Calculator*, para el diseño y simulación del flujo de intercambiadores de aletas y tubos. La aplicación fue realizada en el lenguaje de programación C++ y el cálculo de los circuitos fue desarrollado mediante 4 estructuras de datos conectadas entre sí.

El modelado del intercambiador de calor de aletas y tubos está basado en la metodología de volúmenes finitos que, a diferencia a la metodología de elementos finitos, garantiza la conservación de los flujos de masa y energía de un volumen de control con los volúmenes vecinos. Por este motivo es bastante utilizado

en problemas de mecánica de fluidos y transferencia de calor. El modelado del intercambiador se presenta en los siguientes 3 tópicos: modelo matemático, detalla las ecuaciones matemáticas que describen el comportamiento de los fluidos; modelo numérico, corresponde a las ecuaciones usadas para la implementación de la simulación; y ajuste del modelo, indica las suposiciones tenidas en cuenta en la construcción del modelo.

2.1. Modelo matemático

El modelo está basado en las estrategias formuladas por Fuentes [9] y adecuadas para el modelado del fluido de los intercambiadores de calor de aletas y tubos. Para esto se resuelve una aproximación numérica de las ecuaciones diferenciales ordinarias para un flujo medio unidimensional tanto para el flujo interno como externo. Además se usaron correlaciones empíricas para el cálculo de la caída de presión y el coeficiente de transferencia de calor.

Para el cálculo de la caída de presión en flujo monofásico interno se utilizaron las correlaciones de Kast [10], que es una recopilación de varias correlaciones, dependiendo del régimen de flujo. Para el flujo bifásico interno se utilizaron las correlaciones de Lockhart Martinelli [11], Bankoff [12], Chawla [12], Chisolm [12], Friedel [12], Grönnerud [12] y Möller-Steinhager [12]. En las correlaciones para el análisis del flujo externo se usaron las correlaciones de Chi-Chuan Wang para aletas planas [13], para aletas onduladas (*wavy*) [14] y para aletas tipo persiana (*slit*) [15]. Para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor en flujo monofásico interno se utilizaron las correlaciones de Dittus Boelter [16], Gnielinski [10] y Petukhov [17]. En el flujo bifásico interno, para condiciones de evaporación está la correlación de Shah [18] y la de Chen [19], y para la condensación se encuentran disponibles las correlaciones de Cavallini [18], Travis [18], Shah [18] y Ananiev [19]. En las correlaciones para el análisis del flujo externo se usaron las correlaciones de Chi-Chuan Wang ya presentadas.

2.1.1. Ecuaciones que rigen en el lado del refrigerante

En la figura 1 se muestra el diagrama usado para el análisis del fluido interno, donde \dot{m}_{ref} es el flujo másico del refrigerante, p_{ref} es la presión del refrigerante, h_{ref} es la entalpía del refrigerante, T_{ref} es la temperatura del refrigerante, T_{pared} es la temperatura media del tubo y \dot{Q} corresponde a la tasa de transferencia de calor.

Ecuación de conservación de la masa. El fluido interno solo tiene una entrada y una salida, aplicando la ecuación de la conservación de masa se obtiene la ec.(1)

$$\sum (\dot{m})_{ent} = \sum (\dot{m})_{sal} \quad (1)$$

$$\dot{m}_{ref,ent} = \dot{m}_{ref,sal} = \dot{m}_{ref}$$

Ecuación de conservación de la cantidad de movimiento. La caída de presión está dividida en 3 componentes: la friccional $(\Delta p)_f$, la estática $(\Delta p)_g$ y la debida a la aceleración $(\Delta p)_a$, como se muestra en la ec.(2)

$$\Delta p = (\Delta p)_f + (\Delta p)_g + (\Delta p)_a \quad (2)$$

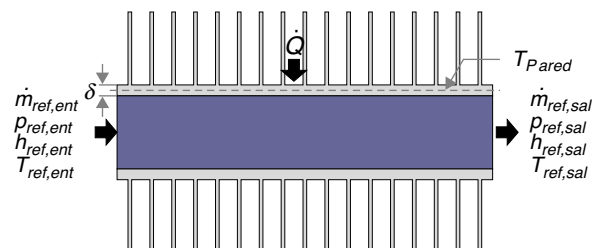


Figura 1. Análisis del fluido interno.

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702472>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702472>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)