

Instalaciones para el estudio del proceso de ebullición y condensación en mini y microcanales.

Alejandro López Belchí*, Ramón A. Otón Martínez, José R. García Cascales
 Dpto. Ingeniería Térmica y de Fluidos. ETSII, Universidad Politécnica de Cartagena. C/ Doctor Fleming s/n.
 30202. Cartagena, Murcia, España.
 Tel.: +34 968 325 991, Fax: 34 968 325 999
 E-mail: albelchi@gmail.com

Resumen. En este artículo se describen dos instalaciones para el estudio de los procesos de evaporación y condensación en mini y microcanales. En concreto el tipo de tubos que se quiere estudiar son del tipo multipuerto. Se estudiarán diferentes secciones con orificios triangulares y rectangulares de diámetro hidráulico de 1 mm aproximadamente. En los ensayos a realizar se pretende obtener el coeficiente de convección y la pérdida de presión en los tubos. Las instalaciones se han diseñado y construido para poder variar la presión de saturación, el flujo de calor y el caudal másico. Estas variables son las que en la literatura resultan ser más influyentes en el coeficiente de transferencia de calor y en la caída de presión. Este artículo además presta atención a las geometrías objeto de análisis.

1 Introducción

La incorporación de los micro y minicanales a los sistemas de refrigeración es una realidad desde hace algunos años, hay algunas empresas fabricantes de intercambiadores que tienen desarrollos adaptados al sector de la automoción. En los últimos años la incorporación de esta tecnología a equipos de aire acondicionado domésticos en un intento de desarrollar sistemas más compactos, de menor consumo y coste es una realidad. Esto ha hecho que un buen número de grupos de investigación internacionales estén estudiando la transferencia de calor y la pérdida de presión en estos sistemas. Ejemplo de ellos son [1,2,3,4,5,6]. En este trabajo en concreto los intercambiadores de estudio están formados por tubos de aluminio que pueden ser de distintas geometrías con secciones rectangulares, triangulares y circulares y con diámetros hidráulicos en torno a 1 mm. A la vista de esto y considerando que se trata de una tecnología totalmente emergente cuyo progreso asistirá a la fabricación de sistemas de aire acondicionado más eficaces, se han ejecutado dos instalaciones para el estudio de la transferencia de calor y la caída de presión en los tubos mencionados tanto en el caso de evaporación como de condensación. En este trabajo se describen las instalaciones que se han desarrollado en la Universidad Politécnica de Cartagena para el estudio de la ebullición y condensación de refrigerantes en mini y microcanales. El trabajo aquí descrito presenta las instalaciones y las geometrías de tubos que se van a estudiar.

2 Descripción de las instalaciones

En esta sección se describen las características de cada una de las instalaciones.

2.1 Instalación de evaporación

La instalación está formada por dos lazos principales. En el lazo primario circula el refrigerante y es donde está ubicada la sección de ensayo. Teniendo en cuenta el esquema de la Figura 1, el refrigerante en estado líquido es bombeado a través de una bomba Micropump de pequeño caudal. Entra en un calentador con el que se pueden ajustar las condiciones de entrada a la sección de ensayo. El fluido es evaporado por efecto Joule haciendo pasar una corriente eléctrica por el tubo. Debido a la reducida sección de los tubos y a la naturaleza de los mismos, son de aluminio, la intensidad que recorre el tubo es bastante elevada. El fluido deja la sección de ensayo y es enviado a un intercambiador de placas donde condensa cediendo calor a una mezcla de agua y propilenglicol que circula por el circuito secundario. El refrigerante en estado líquido es enviado desde el intercambiador a un depósito intermedio del que succiona la bomba. El sistema es controlado por un sistema de control que busca mantener la presión constante en el circuito. Para ello actúa sobre el variador de frecuencia de la bomba del circuito secundario que envía agua con glicol en suficiente cantidad para disipar toda la energía que se le ha suministrado al refrigerante. Después de la bomba del circuito de refrigerante se ha colocado una válvula reguladora de caudal para poder reducir el caudal manualmente en caso de que se considerase necesario. En el circuito primario por donde circula el refrigerante, el caudal es medido con un caudalímetro de efecto Coriolis, la presión a la entrada de la sección de ensayo y en el depósito es medida con dos sensores de presión absoluta. La caída de presión se mide mediante un sensor de presión diferencial. La temperatura en los distintos puntos del tubo es medida mediante termopares tipo T. A la entrada y a la salida del tubo se mide la temperatura con dos sondas PT100.

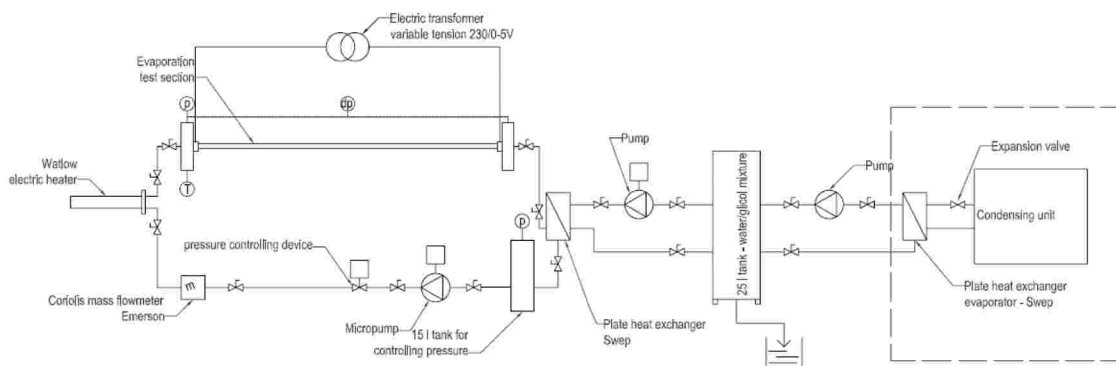


Fig. 1. Instalación de evaporación.

2.2 Instalación de condensación

La instalación está formada por cuatro lazos principales. En el lazo primario circula el refrigerante y es donde está ubicada la sección de ensayo. Teniendo en cuenta el esquema de la Figura 2, el refrigerante en estado líquido es bombeado a través de una bomba Micropump de pequeño caudal, posteriormente es evaporado total o parcialmente en un intercambiador de placas de Swep (HE2). En la zona de ensayo el refrigerante es condensado total o parcialmente mediante el agua fría que viene de una enfriadora que hay para este fin en la instalación. El fluido en estado de mezcla líquido-vapor o de líquido subenfriado es enviado a un intercambiador donde con agua de la enfriadora es totalmente condensado y/o enfriado según el caso hasta una temperatura que garantice el equilibrio del sistema. Finalmente el fluido en estado líquido es enviado al depósito del que succiona la bomba inicialmente mencionada. Como se ha mencionado, para garantizar la presión en el depósito y absorber el calor suministrado al fluido se emplea una enfriadora de 4 kW tal y como se muestra en la Figura 2.

El lazo secundario circula el agua destinada a la refrigeración de la sección de ensayo. Éste evacúa la energía necesaria para hacer que el refrigerante condense total o parcialmente. Una bomba succiona agua del depósito cuya temperatura mantiene constante la enfriadora y la hace a circular a contracorriente a través de la camisa de la sección de ensayo. En el tercer lazo, otra bomba conecta el depósito de agua con un segundo intercambiador de placas de Swep (HE1) retirando el calor necesario para mantener estable la presión del sistema.

El cuarto lazo es el encargado de suministrar la energía necesaria al sistema. En este, se eleva la temperatura al agua mediante un calentador eléctrico con el fin de evaporar total o parcialmente el refrigerante utilizando el intercambiador de placas Swep (HE2).

La instalación es gobernada por un sistema de control que actúa sobre los variadores de frecuencia de las bombas de los lazos secundarios y terciarios, manteniendo constantes el calor retirado de la sección

de ensayo y la presión del sistema y por lo tanto las condiciones de ensayo.

Todas las bombas están conectadas a variadores de frecuencia permitiendo así poder regular el caudal, bien mediante el sistema de control o de forma manual. En el circuito primario, por donde circula el refrigerante, el caudal es medido con un caudalímetro de efecto Coriolis, la presión de entrada en la sección de ensayo y del depósito es medida con dos sensores de presión absoluta. La caída de presión en la sección es medida con un sensor de presión diferencial.

En el lazo secundario destinado a la refrigeración de la sección de ensayo, el caudal es medido mediante otro caudalímetro de efecto Coriolis.

La temperatura en los distintos puntos de la instalación es medida mediante sondas PT100.

3 Geometría de los tubos a estudiar

Los tubos que se van a estudiar en los ensayos son del tipo multipuerto, con secciones triangulares y rectangulares. En la Figura 3 se muestran dos ejemplos del tipo de tubos que se van a estudiar. Han sido suministrados por la empresa Modine Manufacturing Company.

En la Tabla 1 se incluyen los perímetros mojados de los tubos que se estudiarán en los ensayos. Los dos primeros tubos (8E2292tri y 8E2293sc) corresponden a los de la Figura 3. El último tipo de tubo es también con orificios rectangulares pero su ancho es 27 mm (8E295sc).

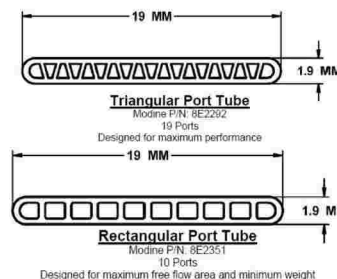


Fig 3. Sección transversal de los tubos de estudio

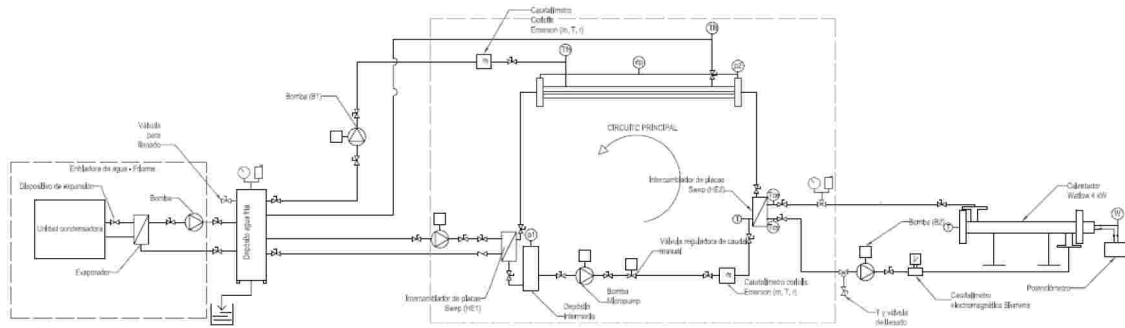


Fig. 2. Instalación de condensación.

4 Variables monitorizadas

Para caracterizar la transferencia de calor y la caída de presión en el interior del tubo, en el lado del refrigerante se realizan una serie de ensayos para los cuales se dispone de distintos sensores con los que se registran de una serie de variables de interés.

4.1 Instalación de evaporación

Tal y como muestra la Figura 1, en la sección de ensayo se dispone de termorresistencias a la entrada y salida del tubo además de termopares tipo T para la determinación de las temperaturas en puntos intermedios de la sección de ensayo. Para la obtención del gasto másico se dispone de un caudalímetro de efecto Coriolis Elite de Emerson. También hay instalados un transmisor de presión absoluta a la entrada que nos permite caracterizar la entrada al tubo y otro de presión diferencial de Emerson para medir la caída de presión en la sección de ensayo.

4.2 Instalación de condensación

Tal y como muestra la Figura 2, la instrumentación es muy parecida a la que hay en la instalación de ebullición. A diferencia del caso anterior, aquí no hay termopares superficiales. La energía cedida por el refrigerante en la sección de ensayo es determinada gracias a las dos termorresistencias a la entrada y salida de la camisa de agua para medir la temperatura del agua de refrigeración de la sección de ensayo. El gasto másico de agua se obtiene de un caudalímetro de efecto Coriolis Elite de Emerson.

5 Conclusiones

En el presente trabajo se han descrito las instalaciones construidas para el análisis y caracterización de la pérdida de presión y transmisión de calor en mini y microcanales. Las instalaciones se han diseñado para estudiar diferentes rangos de presión, flujos de calor, caudales másicos y geometrías de tubos similares a los que se pueden encontrar en instalaciones convencionales de aire acondicionado.

Modelo tubo	Área de paso Refrig.(mm ²)	n° orificios	Per. Int. (mm)	Per. Ext. (mm)	Dh hidráulico (mm)
8E2292tri	12,03	18	64,94	40,17	0,74
8E2293sc	14,81	9	46,44	40,17	1,28
8E295sc	22,06	14	68,73	56,17	1,28

Tabla 1. Especificaciones de los tubos de estudio

Referencias

- [1] Agostini, B., Bontemps, A., Vertical flow boiling of refrigerant R134a in small channels, International Journal of Heat and Fluid Flow 26 (2005) pp. 296–306.
- [2] Bandhauer, T.M., Agarwal, A., Garimella, S., 2006. Measurement and modeling of condensation heat transfer coefficients in circular microchannels, Journal of Heat Transfer, 128, pp. 1050 – 1059.
- [3] Cavallini, A., Doretti, L., Matkovic, M., Rossetto, L., 2006a. Update on Condensation Heat Transfer and Pressure Drop inside Minichannels, Heat Transfer Engineering, 27, pp. 74–87.
- [4] Coleman, J.W., Krause, P.E., Two phase pressure losses of R134a in microchannel tube headers with large free flow area ratios, Experimental Thermal and Fluid Science 28 (2004) pp. 123–130.
- [5] Garimella, S., Killion, J. D., Coleman, J. W., An Experimentally Validated Model for Two-Phase Pressure Drop in the Intermittent Flow Regime for Circular Microchannels, Journal of Fluids Engineering Copyright, 124, (2002) pp. 205-214.
- [6] Koyama, S., Kuwahara, K., Nakashita, K., Yamamoto, K., 2003a. An experimental study on condensation of refrigerant R134a in a multi-port extruded tube, International Journal of Refrigeration, 24, pp. 425–432.