

Título: Study of scroll compressors with vapor-injection for heat pumps operating in cold climates or in high-temperature water heating applications

Autor: Fernando Mauricio Tello Oquendo

Resumen

En la actualidad, uno de los desafíos más importantes en los sectores residencial e industrial es la mejora de la eficiencia de los equipos y los sistemas utilizados para calefacción y producción de agua caliente. El objetivo principal es reducir el consumo de combustibles fósiles y las emisiones de CO₂ en estas aplicaciones. En este contexto, las bombas de calor se consideran una tecnología eficaz como alternativa a las calderas para la producción de agua caliente y calefacción. Sin embargo, cuando las bombas de calor aire-agua trabajan en condiciones extremas, esto es, a bajas temperaturas de evaporación o a altas temperaturas de condensación, el rendimiento (COP) y la capacidad de las bombas se reducen debido, principalmente, a las limitaciones en el proceso de compresión. En estas condiciones, los rendimientos isentrópico y volumétrico del compresor se reducen significativamente, mientras que la temperatura de descarga se incrementa. Una de las principales soluciones para mejorar la capacidad y el COP de las bombas de calor son los ciclos de compresión de dos etapas con inyección de vapor. En dichos sistemas, se pueden utilizar compresores con inyección de vapor y compresores de dos etapas. Las tecnologías de compresores más utilizadas son el compresor scroll y los compresores de pistones.

Esta tesis doctoral presenta un estudio de compresores scroll con inyección de vapor (SCVI) para bombas de calor que operan en climas fríos o para aplicaciones de calentamiento de agua a alta temperatura. Para ello, en primer lugar, se comparó experimentalmente un SCVI con un compresor de dos etapas de pistones (TSRC) trabajando con R-407C en condiciones extremas. La comparación se realizó en términos de eficiencias del compresor, capacidad, COP y rendimientos estacionales tanto para el modo calefacción como para el modo refrigeración. Los resultados proporcionan una idea general sobre el rango de aplicación de los compresores estudiados y sobre las diferencias en los rendimientos de los compresores. Sin embargo, se identificaron varias limitaciones en la caracterización de los compresores y en el análisis del ciclo. Esto motivó a profundizar en el estudio del ciclo de compresión de dos etapas y sus componentes. El siguiente paso fue realizar un análisis teórico de los ciclos de compresión de dos etapas para aplicaciones de calefacción, en donde se identificó a la presión intermedia y a la relación de inyección como los parámetros del sistema más influyentes sobre el COP. La presión intermedia se optimizó para dos configuraciones de inyección (tanque de separación y economizador) utilizando varios refrigerantes. Basándose en los resultados de la optimización, se propuso una correlación que permite obtener la presión intermedia óptima del ciclo, considerando la influencia del subenfriamiento a la salida del condensador. Además, se realizó un análisis teórico de la influencia del diseño de los componentes del sistema sobre el COP del ciclo.

Una vez realizado el análisis termodinámico del ciclo de dos etapas, el estudio se profundizó a nivel de componentes. El factor más crítico en el sistema es el rendimiento del compresor. Por lo tanto, el siguiente paso fue evaluar la influencia de varios sistemas de compresión con inyección de vapor sobre el COP. Se tomaron en cuenta tres tecnologías de compresores, un SCVI, un TSRC y un compresor scroll de dos etapas (TSSC). Estas tecnologías de compresores fueron caracterizadas y modeladas para estudiar su rendimiento. Para ello, se propuso una nueva metodología para caracterizar compresores scroll con inyección de vapor. Esta

metodología permite evaluar el rendimiento del compresor independientemente del mecanismo de inyección que se utiliza en el ciclo. Se identificó una correlación lineal entre la relación de inyección de refrigerante y la relación de compresión intermedia. Esta correlación se utiliza para determinar el flujo másico de inyección en función de la presión intermedia. Posteriormente, se propuso un modelo semi-empírico de compresores scroll y una metodología para extender dicho modelo para compresores scroll con inyección de vapor. Los modelos fueron ajustados y validados usando datos experimentales de cuatro compresores scroll trabajando con R-290 y un SCVI trabajando con R-407C. Finalmente, se comparó un SCVI con dos compresores de dos etapas, un TSSC y un TSRC, trabajando en condiciones extremas. Se optimizó la relación de volúmenes de los compresores de dos etapas. Los resultados muestran que, en las condiciones nominales de funcionamiento ($T_e = -15\text{ °C}$, $T_c = 50\text{ °C}$), la relación de volúmenes óptima del TSSC es 0.58, y del TSRC es 0.57. El TSSC consigue un COP 6% mayor que el SCVI y un COP 11.7% mayor que el TSRC. Bajo un amplio rango de condiciones de operación, el SCVI presenta una mejor eficiencia y COP para relaciones de presión inferiores a 5. Para relaciones de presión más altas, el TSSC presenta mejor rendimiento y consigue una temperatura de descarga más baja. Se concluye que el SCVI es una solución fácil de implementar, desde el punto de vista del mecanizado, y que permite extender el mapa de trabajo de los compresores de una etapa. Sin embargo, los resultados muestran que la compresión en dos etapas consigue mejorar en mayor medida el COP del ciclo y la capacidad, con una mayor reducción de la temperatura de descarga en condiciones extremas de trabajo.