

Títol: 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

Resum

En l'actualitat, un dels desafiaments més importants en els sectors residencial i industrial és la millora de l'eficiència dels equips i els sistemes utilitzats per a calefacció i producció d'aigua calenta. L'objectiu principal és reduir el consum de combustibles fòssils i les emissions de CO₂ en aquestes aplicacions. En aquest context, les bombes de calor es consideren una tecnologia eficaç com a alternativa a les calderes per a la producció d'aigua calenta i calefacció. No obstant això, quan les bombes de calor aire-aigua treballen en condicions extremes, és a dir, a baixes temperatures d'evaporació o a altes temperatures de condensació, el rendiment (COP) i la capacitat de les bombes es redueixen degut, principalment, a les limitacions en el procés de compressió. En aquestes condicions, els rendiments isentròpic i volumètric del compressor es redueixen significativament, mentre que la temperatura de descàrrega s'incrementa. Una de les principals solucions per a millorar la capacitat i el COP de les bombes de calor són els cicles de compressió de dues etapes amb injecció de vapor. En aquests sistemes, es poden utilitzar compressors amb injecció de vapor i compressors de dues etapes. Les tecnologies de compressors més utilitzades són el compressor scroll i els compressors de pistons.

Aquesta tesi doctoral presenta un estudi de compressors scroll amb injecció de vapor (SCVI) per a bombes de calor que operen en climes freds o per a aplicacions d'escalfament d'aigua a alta temperatura. Per a això, en primer lloc, es va comparar experimentalment un SCVI amb un compressor de dues etapes de pistons (TSRC) treballant amb R-407C en condicions extremes. La comparació es va realitzar en termes d'eficiències del compressor, capacitat, COP i rendiments estacionals tant per al mode calefacció com per al mode refrigeració. Els resultats proporcionen una idea general sobre el rang d'aplicació dels compressors estudiats i sobre les diferències en els rendiments dels compressors. No obstant això, es van identificar diverses limitacions en la caracterització dels compressors i en l'anàlisi del cicle. Això va motivar a aprofundir en l'estudi del cicle de compressió de dues etapes i els seus components. El següent pas va ser realitzar una anàlisi teòrica dels cicles de compressió de dues etapes per a aplicacions de calefacció, on es va identificar la pressió intermèdia i la relació d'injecció com els paràmetres del sistema més influents sobre el COP. La pressió intermèdia es va optimitzar per a dues configuracions d'injecció (tanc de separació i economitzador) utilitzant diversos refrigerants. Basant-se en els resultats de l'optimització, es va proposar una correlació que permet obtenir la pressió intermèdia òptima del cicle, considerant la influència del subrefredament a l'eixida del condensador. A més, es va realitzar una anàlisi teòrica de la influència del disseny dels components del sistema sobre el COP del cicle.

Una vegada realitzat l'anàlisi termodinàmica del cicle de dues etapes, l'estudi es va aprofundir a nivell de components. El factor més crític en el sistema és el rendiment del compressor. Per tant, el següent pas va ser avaluar la influència de diversos sistemes de compressió amb injecció de vapor sobre el COP. Es van prendre en compte tres tecnologies de compressors, un SCVI, un TSRC i un compressor scroll de dues etapes (TSSC). Aquestes tecnologies de compressors van ser caracteritzades i modelades per a estudiar el seu rendiment. Per a això, es va proposar una nova metodologia per a caracteritzar compressors scroll amb injecció de vapor. Aquesta metodologia permet avaluar el rendiment del compressor

independentment del mecanisme d'injecció que s'utilitza en el cicle. Es va identificar una correlació lineal entre la relació d'injecció de refrigerant i la relació de compressió intermèdia. Aquesta correlació s'utilitza per a determinar el flux màssic d'injecció en funció de la pressió intermèdia. Posteriorment, es va proposar un model semi-empíric de compressors scroll i una metodologia per a estendre aquest model per a compressors scroll amb injecció de vapor. Els models van ser ajustats i validats utilitzant dades experimentals de quatre compressors scroll treballant amb R-290 i un SCVI treballant amb R-407C. Finalment, es va comparar un SCVI amb dos compressors de dues etapes, un TSSC i un TSRC, treballant en condicions extremes. Es va optimitzar la relació de volums dels compressors de dues etapes. Els resultats mostren que, en les condicions nominals de funcionament ($T_e = -15\text{ °C}$, $T_c = 50\text{ °C}$), la relació de volums òptima del TSSC és 0.58, i del TSRC és 0.57. El TSSC aconsegueix un COP 6% major que el SCVI i un COP 11.7% major que el TSRC. Sota un ampli rang de condicions d'operació, el SCVI presenta una millor eficiència i COP per a relacions de pressió inferiors a 5. Per a relacions de pressió més altes, el TSSC presenta millor rendiment i aconsegueix una temperatura de descàrrega més baixa. Es conclou que el SCVI és una solució fàcil d'implementar, des del punt de vista del mecanitzat, i que permet estendre el mapa de treball dels compressors d'una etapa. No obstant això, els resultats mostren que la compressió en dues etapes aconsegueix millorar en major mesura el COP del cicle i la capacitat, amb una major reducció de la temperatura de descàrrega en condicions extremes de treball.