

# Resumen

La refrigeración es uno de los sectores del conocimiento que más aplicaciones tiene en el mundo. Sus áreas de aplicación van desde la conservación de los alimentos hasta los más sofisticados procesos industriales.

La tecnología de refrigeración más extendida es la de los sistemas por compresión de vapor. A lo largo de la historia estos sistemas han contribuido dos efectos negativos para el medio ambiente: la destrucción de la capa de ozono (que en la actualidad ha sido solucionado) y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera.

Una parte de las emisiones de GEI están relacionadas con los sistemas de refrigeración. Estas emisiones se deben principalmente a dos factores: las fugas de refrigerantes (emisiones directas) y la eficiencia energética de los sistemas (emisiones indirectas). Siendo las emisiones de GEI causantes en gran medida del cambio climático, si no se toman medidas para mitigarlas podrían causar muchas pérdidas a varios niveles (económico, ambiental, social). Así pues, la cantidad importante de emisiones de GEI relacionadas con la refrigeración comercial hace de este sector el objeto de estudio.

Muchos de los refrigerantes que han sido usados en sistemas de refrigeración presentan altos valores de potencial de calentamiento atmosférico (PCA) y esto determina que estas sustancias contribuyan en gran medida al calentamiento global. En el caso de la refrigeración comercial el más extendido es el R404A, con un PCA de 3922. Debido a su elevada utilización actual, este refrigerante es tomado como referencia para evaluar las nuevas alternativas. En los últimos años la Unión Europea expidió el Reglamento nº 517/2014 el cual establece que las sustancias fluoradas con  $PCA > 150$  deben ser reemplazadas en la mayor parte de los sistemas de refrigeración comercial. Es por ello por lo que el presente trabajo analiza y evalúa alternativas de reemplazo para el R404A.

Inicialmente se realiza una revisión del estado del sector de la refrigeración comercial, y de los fluidos refrigerantes que han sido usados hasta la actualidad. Se analizan parámetros de eficiencia energética, seguridad e impacto ambiental, entre otros. Como consecuencia, se determina que las alternativas más viables son el R454C y el R455A. Ambas mezclas presentan un PCA de 148 y son ligeramente inflamables.

Con el fin de analizar los rendimientos teóricos, se simula el comportamiento de los refrigerantes en un ciclo termodinámico de compresión de vapor básico, utilizando el programa REFPROP v.9.1 para el cálculo de las propiedades termofísicas de los refrigerantes. La simulación se realiza bajo varias condiciones de operación y analizando la posibilidad de trabajar con intercambiador intermedio (II). Para acercar los resultados de la simulación al comportamiento experimental, se efectúan varias suposiciones, asimilándolas a las presentes en el banco de ensayos objeto del trabajo experimental del presente trabajo.

La simulación muestra un decrecimiento tanto de los caudales máxicos como de las capacidades frigoríficas de las alternativas con relación al R404A, mientras que los valores del COP son mayores. Por otro lado, la temperatura de descarga se mantiene bajo el límite permitido para los ensayos sin II, pero se incrementa peligrosamente al trabajar con II a altas tasas de compresión.

Posteriormente, se realiza el análisis experimental en un banco de ensayos, el cual posee un circuito principal por el que circulan los refrigerantes y dos circuitos secundarios los que mantienen las condiciones estables en el condensador y evaporador. El banco de pruebas está dotado de una serie de instrumentos de medición de temperatura, presión, caudal y consumo eléctrico que son monitorizados y almacenados en un ordenador.

De los análisis experimentales, se determina que las alternativas presentan similares capacidades frigoríficas al R404A, pero también incrementa el rendimiento energético con relación a este fluido, por lo que los hace buenos candidatos para reemplazarlo. Así mismo, en ninguna condición al trabajar sin II la temperatura de descarga supera el límite establecido para evitar daños en el compresor.

Por otro lado, el R454C y el R455A presentaron ligeros incrementos en la capacidad frigorífica y en la eficiencia energética al trabajar con II. Sin embargo, las temperaturas de descarga se incrementan en gran medida y podrían superar la temperatura límite sobre todo en altas tasas de compresión, por lo que no es recomendable utilizar el II.

Debido a que el R454C y el R455A presentan bajos valores de PCA (que les permite cumplir con la normativa nº 517/2014), mayores valores de eficiencia energética que el R404A, y que se adaptan apropiadamente a su sistema, se convierten en buenas alternativas a corto plazo. Como consecuencia, se recomienda la utilización de estos refrigerantes para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes en sistemas de refrigeración comercial en aquellas aplicaciones que su carga no sobrepase la cantidad máxima permitida para refrigerantes ligeramente inflamables.