

Organiza:



V ENCUESTRO Ingeniería de la Energía

Patrocinadores:



Asociación Nacional
de Productores
de Energía Renovable



Cátedra
Takasago Industria y
Mantenimiento 4.0



CÁTEDRA DEL AGUA
Y LA SOSTENIBILIDAD



UNA DÉCADA PROMOVENDO LA MOVILIDAD ELÉCTRICA



ACTAS DEL CONGRESO

V ENCUESTRO DE INGENIERÍA DE LA ENERGÍA DEL CAMPUS MARE NOSTRUM



Editores:

Mariano Alarcón García (Editor)

Manuel Seco Nicolás (Co-editor)

© Mariano Alarcón García

ISBN: 978-84-09-29971-3

Dirección web de congreso: V-EIECMN

Universidad de Murcia

Campus Mare Nostrum

Del 23 al 26 de
noviembre de 2020

Quinta edición del Encuentro orientado a servir de espacio de reunión para tratar las distintas facetas de las aplicaciones de la Energía en los ámbitos académico y profesional, así como de instituciones y empresas en el que compartir trabajos, se muestren avances creando un espacio virtual de debate y reflexión en el que plantear soluciones a los importantes retos que la Sociedad tiene en el ámbito de la Energía, englobado en el ODS-7, *Energía asequible y no contaminante*, desde una vocación tecnológica pero a la vez con sensibilidad social.





CARACTERIZACIÓN DE LA PRESIÓN ÓPTIMA DE OPERACIÓN EN UNA BOMBA DE CALOR AGUA/AGUA QUE OPERA CON CO₂ COMO REFRIGERANTE PARA GENERACIÓN DE AGUA CALIENTE

A. Martínez Simón; F. Illán Gómez; J.R. García Cascales;
F.J. Sánchez Velasco; V. Sena Cuevas;
alberto.upct@hotmail.com

Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos

RESUMEN

En el contexto actual, cambio climático y efecto invernadero mediante, el uso de bombas de calor se postula como una muy buena opción para la generación de energía térmica. Si la energía producida con estas bombas es considerablemente superior a la consumida, son consideradas una fuente de energía renovable (UE, 2009) [1]. Esto es un aspecto fundamental de cara a la introducción de estos sistemas en el mercado presente y futuro.

Diversos autores, entre los que destaca Kauf [2] (por ser el primero), advirtieron de la existencia en ciclos transcíticos (como es nuestro caso: recordar que el CO₂ es el refrigerante con el que actúa la bomba) de una presión de operación que maximiza el rendimiento de la instalación, conocida como *presión óptima*. Es decir, existe un valor de la presión del *gas cooler* para la cual el valor obtenido para el COP (*Coefficient of Performance*) es máximo, siendo este el cociente entre la potencia calorífica obtenida y la potencia consumida por el compresor eléctrico de la instalación.

El objetivo del presente estudio es la validación experimental de una correlación matemática de la presión óptima (como función de diferentes variables presentes en el ciclo termodinámico), obtenida a partir de un modelo numérico, mediante la realización de los *tests* pertinentes. La caracterización de esta presión óptima de operación da pie a futuros trabajos, ya que nos permite trabajar a máximo rendimiento para la realización, por ejemplo, de ensayos según norma de calefacción, refrigeración o generación de ACS (Agua Caliente Sanitaria). De esta forma, se puede estudiar experimentalmente la supuesta validez de la bomba de calor agua/agua como fuente de energía renovable.

Palabras clave: Eficiencia energética.

AGRADECIMIENTOS:

Este estudio ha sido realizado en el marco del proyecto ENE2017-83665-C2-2-P, financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad español, los fondos FEDER, y una beca doctoral del Ministerio de Educación Superior de República Dominicana, contrato BIM-0010-2018.

1. Introducción

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto de investigación “Maximización de la eficiencia y minimización del impacto ambiental de bombas de calor para la descarbonización de la calefacción/ACS en los próximos edificios de consumo energético casi nulo” desarrollado por el grupo de investigación de la UPCT “Modelado de sistemas térmicos y energéticos”.

El objetivo principal de este trabajo, el cual ha sido desarrollado con mayor profundidad en mi Trabajo Final de Grado, es la validación experimental de una correlación matemática (obtenida mediante un modelo numérico) para la presión óptima de funcionamiento (recordar que estamos en un ciclo transcrito) de una bomba de calor. La caracterización de la presión óptima ha sido objeto de estudio de muchos otros investigadores, desde que Kauf [1] publicara su primer artículo acerca de este tema en el año 1999.

2. Modelo numérico

En este apartado se va a presentar más en detalle el modelo numérico ya presentado.

2.1. Desarrollo del modelo numérico.

Un esquema simplificado de la instalación podría ser el presentado en la Figura 1:

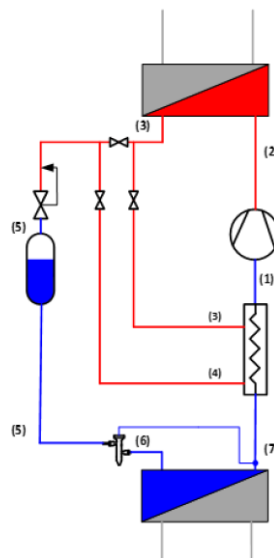


Figura 1. Esquema simplificado de la instalación.

El ciclo termodinámico que corresponde a este esquema es el presentado en la Figura 2:

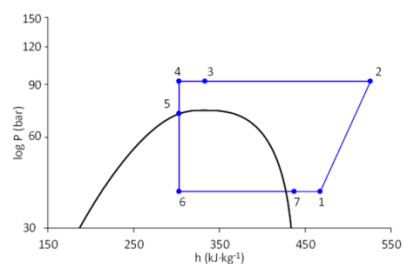


Figura 2. Ciclo termodinámico teórico.



Por otro lado, las variables a tener en cuenta en el modelo (con los rangos utilizados), debido a su contrastada influencia sobre el COP de la instalación, son presentadas en la Tabla 1:

Tabla 1. Variables del modelo.

T_{evap} (°C)	SH (K)	η_{IHX} (-)	$T_{gc,out}$ (°C)	P_{gc} (bar)
5-25	3-7	0-0.9	10-60	74-140

Para el cálculo del coeficiente de operación, es necesario el cálculo de una serie de entalpías. Para ello, se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$\dot{m}_r = C_1 + C_2 \cdot T_0 + C_3 \cdot p_c + C_4 \cdot T_0^2 + C_5 \cdot T_0 \cdot p_c + C_6 \cdot p_c^2 + C_7 \cdot T_0^3 + C_8 \cdot p_c \cdot T_0^2 + C_9 \cdot T_0 \cdot p_c^2 + C_{10} \cdot p_c^3$$

Ecuación 1

$$\dot{W}_r = C_1 + C_2 \cdot T_0 + C_3 \cdot p_c + C_4 \cdot T_0^2 + C_5 \cdot T_0 \cdot p_c + C_6 \cdot p_c^2 + C_7 \cdot T_0^3 + C_8 \cdot p_c \cdot T_0^2 + C_9 \cdot T_0 \cdot p_c^2 + C_{10} \cdot p_c^3$$

Ecuación 2

$$\dot{m}_{D,ad} = 1.04421184522382 \cdot \dot{m}_r - 0.00557668566163589 \cdot (\rho_r / \rho_e)$$

Ecuación 3

$$\dot{W}_{D,ad} = 0.720381369216144 \cdot \dot{W}_r + 0.329684050844214 \cdot (\rho_r / \rho_e)$$

Ecuación 4

Las ecuaciones 1 y 2 son las ecuaciones de comportamiento del compresor, cuyos coeficientes son proporcionados por el fabricante del mismo. Por otro lado, las ecuaciones 3 y 4 suponen ajustes de las dos primeras para sobrecalentamientos diferentes a 10K (valor de referencia).

A partir del modelo, se obtiene la siguiente gráfica:

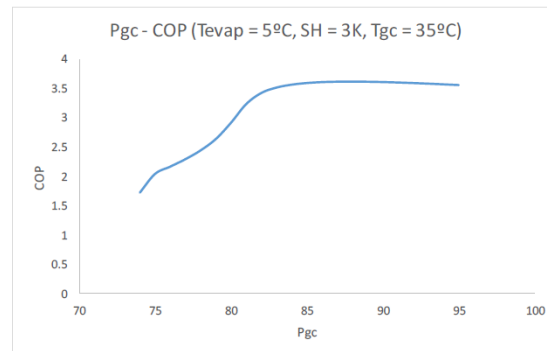


Figura 3. Pgc-COP

Como en la bibliografía estudiada, se observa un valor de la presión para el que el COP se hace máximo. La correlación matemática a validar es la siguiente:

$$P_{gc} = 13,333 - 0,13143 \cdot SH + 2,1857 \cdot T_{gc} - 4,9945 \cdot \eta_{IHX} - 0,063429 \cdot T_{evap}$$

3. Resultados experimentales y conclusiones

Tras la realización de los pertinentes ensayos, mostrados en la presentación, obtenemos los siguientes resultados:

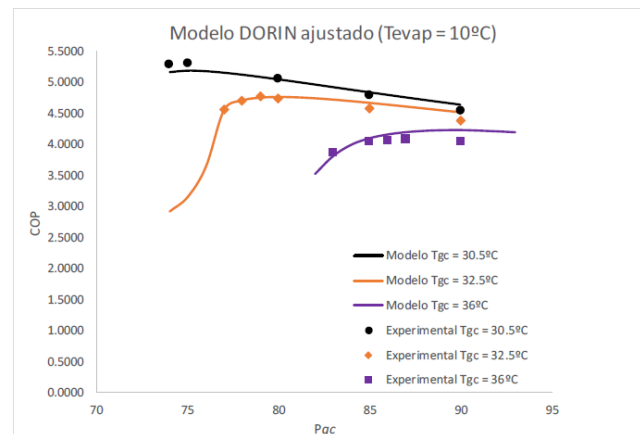


Figura 4. Valores experimentales del COP frente a los esperados numéricamente para diferentes presiones de trabajo, con diferentes temperaturas de salida del gas cooler.

Como se puede observar, los resultados experimentales se ajustan con gran precisión a los esperados numéricamente, por lo que se ha cumplido el objetivo del estudio.

4. Referencias

- [1] Consejo de la Unión Europea, "Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009," *D. Of. La Unión Eur.*, vol. 2008, no. 2, pp. 16-62, 2009.
- [2] F. Kauf, "Determination of the optimum high pressure for transcritical CO₂-refrigeration cycles," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 38, no. 4, pp. 325-330, 1999, doi:10.1016/S1290-0729(99)80098-2.



Comités del V Congreso Encuentro de Ingeniería de la Energía del Campus Mare Nostrum

Comité organizador

Mariano Alarcón García (Presidente)
Manuel Seco Nicolás
Francisco del Cerro Velázquez
Juan Pedro Luna Abad
Alfonso P. Ramallo González
Fernando Lozano Rivas

Comité científico

Alfonso P. Ramallo González (UM)
Antonia Baeza Caracena (UM)
Antonio González Carpena (UM)
Antonio Urbina Yeregui (UPCT)
Antonio Viedma Robles (UPCT)
Félix Cesáreo Gómez de León Hijes (UM)
Fernando Illán Gómez (UPCT)
Francisco del Cerro Velázquez (UM)
Francisco Vera García (UPCT)
Gloria Alarcón García (UM)
Gloria Villora Cano (UM)
Joaquín Zueco Jordán (UPCT)
José A. Almendros Ibáñez (UCLM)
José Miguel Martínez Paz (UM)
José Ramón García Cascales (UPCT)
Juan Pedro Luna Abad (UPCT)
Juan Pedro Montávez Gómez (UM)
Manuel Lucas Miralles (UMH)
Manuel Seco Nicolás (UM)
Mariano Alarcón García (UM)
Miguel Ángel Zamora Izquierdo (UM)
Pedro J. Vicente Quiles (UMH)
Teresa Maria Navarro Caballero (UM)
Teresa Vicente Vicente (UM)

ley. Dirijase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

**ACTAS DEL CONGRESO V ENCUENTRO DE
INGENIERÍA DE LA ENERGÍA DEL CAMPUS MARE
NOSTRUM**

**PROCEEDINGS OF THE V MEETING OF ENERGY ENGINEERING OF
CAMPUS MARE NOSTRUM**

Editor

Mariano Alarcón García

Co-editor

Manuel Seco Nicolás

Murcia 2021