



*Análisis termodinámico por componentes de un prototipo didáctico caso práctico:
Sistema de refrigeración doméstica*

*Thermodynamic analysis by components of a didactic prototype practical case:
Domestic refrigeration system*

*Sala de Análise termodinâmica por componentes de um caso prático de protótipo
didático: Sistema de refrigeração doméstica*

Edisson Fernando Calderón-Freire ^I
edisson.calderon@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3955-8162>

Stalin Eduardo Nuela-Sevilla ^{II}
stalin.nuela@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-9671-1998>

Cristian David Redroban-Dillon ^{III}
david.redroban@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3543-9390>

Correspondencia: edisson.calderon@esPOCH.edu.ec

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

***Recibido:** 14 de mayo de 2020 ***Aceptado:** 19 de junio de 2020 * **Publicado:** 22 de julio de 2020

- I. Máster Universitario en Ingeniería, Procesado y Caracterización de Materiales, Ingeniero Mecánico, Grupo de Investigación de Mantenimiento, Facultad de Mecánica, Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Magíster en Gestión del Mantenimiento Industrial, Magíster en Seguridad Salud y Ambiente Laboral, Ingeniero Industrial, Grupo de Investigación de Mantenimiento, Facultad de Mecánica, Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Magíster en Seguridad Industrial Mención Prevención de Riesgos y Salud Ocupacional, Ingeniero Automotriz, Grupo de Investigación de Mantenimiento, Facultad de Mecánica, Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

La refrigeración se sirve de la acumulación de energía térmica que puede ser monitorizada en cada uno de los componentes de un sistema de refrigeración. Para el re-diseño de los sistemas de refrigeración se debe encontrar un punto referencial térmico, en el cual se pueda proyectar acciones que desde un prototipo se pueda generar una solución enrumada a la eficiencia energética. La investigación tuvo como objetivo identificar el equilibrio térmico como punto de referencia mediante el análisis termodinámico en cinco experimentos. El análisis termodinámico fue desarrollado en el marco del desarrollo del prototipo y el monitoreo minucioso de las variables temperatura vs tiempo localizadas en puntos estratégicos de cinco experimentos en cada componente del sistema de refrigeración. Al identificar el punto referencial térmico y secuencial se puede presentar mejores alternativas de diseño de cada componente de un prototipo de refrigeración doméstica, diseñado y elaborado para fines didácticos dentro de la facultad de mecánica de la ESPOCH.

Palabras claves: Análisis termodinámico; sistema de refrigeración; refrigeración doméstica; prototipo didáctico.

Abstract

Refrigeration uses the accumulation of thermal energy that can be monitored in each of the components of a refrigeration system. For the re-design of the refrigeration systems, a thermal reference point must be found, in which actions can be projected so that a solution aimed at energy efficiency can be generated from a prototype. The research aimed to identify thermal equilibrium as a benchmark by thermodynamic analysis in five experiments. The thermodynamic analysis was developed within the framework of the development of the prototype and the careful monitoring of the temperature vs. time variables located at strategic points of five experiments in each component of the refrigeration system. By identifying the thermal and sequential reference point, better design alternatives can be presented for each component of a prototype of domestic refrigeration, designed and developed for didactic purposes within the ESPOCH faculty of mechanics.

Keywords: Thermodynamic analysis; refrigeration system; domestic refrigeration; didactic prototype.

Resumo

A refrigeração usa o acúmulo de energia térmica que pode ser monitorada em cada um dos componentes de um sistema de refrigeração. Para o redesenho dos sistemas de refrigeração, um ponto de referência térmico deve ser encontrado, no qual ações podem ser projetadas para que uma solução voltada à eficiência energética possa ser gerada a partir de um protótipo. A pesquisa teve como objetivo identificar o equilíbrio térmico como referência pela análise termodinâmica em cinco experimentos. A análise termodinâmica foi desenvolvida no âmbito do desenvolvimento do protótipo e do monitoramento cuidadoso das variáveis temperatura versus tempo localizadas em pontos estratégicos de cinco experimentos em cada componente do sistema de refrigeração. Ao identificar o ponto de referência térmico e sequencial, melhores alternativas de design podem ser apresentadas para cada componente de um protótipo de refrigeração doméstica, projetado e desenvolvido para fins didáticos na faculdade de mecânica da ESPOCH.

Palavras-chave: Análise termodinâmica; sistema de refrigeração; refrigeração doméstica; protótipo didático.

Introducción

“La refrigeración tanto domestica como industrial, mantiene valores estimados de presión de vapor, volumen líquido o de vapor, y entalpia, mismos que ayudan a calcular los valores en el efecto de refrigeración”, así como los efectos del cambio de fase en las sustancias utilizadas para el proceso de refrigeración, muy común en casos de edificios o zonas industriales.

Al describir los componentes en los sistemas de refrigeración doméstico e industrial, se refiere en primera instancia al condensador, el cual que intercambia calor en dos ciclos. En el mismo sentido el evaporador con la misma función de intercambiar el calor, produce la transferencia de energía térmica desde un medio a ser enfriado hacia un refrigerante.

Según los estudios especializados en la termodinámica en varios ámbitos, los efectos de un condensador sobre su efectividad y rendimiento en el proceso de refrigeración, son mejorados con el aumento de los ángulos de incidencia del refrigerante mediante análisis computacional de la dinámica de los fluidos (CFD); y con ello el control del aumento o disminución de la temperatura de una manera práctica y segura.

De igual forma el sistema de refrigeración puede aumentar su capacidad con la maximización de la volatilidad del refrigerante que utiliza, ya que no está condicionado por la presión de descarga del condensador por cuanto “la refrigeración tiene como función la acumulación de energía

térmica”. Sin embargo, el sector industrial en los últimos años se ve obligado a minimizar costos por concepto de energía es por esta razón que los sistemas de refrigeración industrial han sufrido una serie de variaciones en sus diseños acompañado de grandes inversiones.

“Tanto en sectores industriales como domésticos los sistemas de refrigeración son propensos a las emisiones de gases de invernadero nocivos para el medio ambiente”; en ese sentido la utilización de un condensador enfriado por aire, se ha convertido en una opción muy recomendable, principalmente en casos domésticos, con ello la eficiencia energética y cuidado del medio ambiente se puede manejar.

“En refrigeradores domésticos no se ha desechado al condensador, aunque utilicen gran cantidad de energía, pero es necesaria para la reducción de la fluctuación de la temperatura, es decir reducir la temperatura a valores neutrales”. Sin embargo “para optimizar los sistemas de refrigeración en general se debe contar con un número óptimo de ventiladores en el condensador para que la temperatura sea ambiente y de esta manera reducir la energía utilizada”.

Varias investigaciones especializadas en sistemas de refrigeración apuntan a que los condensadores tanto en sistemas industrial como domésticos han sido participes de avances tecnológicos, en ese marco es mencionada “la refrigeración mixta, como una alternativa eficiente de ahorro energético, caracterizada por el cambio del refrigerante y no del sistema en sí”.

Al referirse como alternativa eficiente se refiere en mayor escala a la estabilidad de temperatura. Sin embargo en casos domésticos no se podría “implementar sistemas de condensadores operativos con compresores como en casos industriales con fines de mejora de la eficiencia” y como problema evidente; el desconocimiento de un equilibrio térmico del sistema de refrigeración de modo que alcance una temperatura adecuada y común a cada componente, ya que al lograr lo mencionado en un tiempo conocido se podría tomar como referencia fehaciente para el diseño óptimo de un prototipo con fines didácticos.

Por tal virtud el presente artículo tiene por objetivo la identificación de un equilibrio térmico mediante el análisis termodinámico de cada componente de un prototipo de refrigeración doméstica diseñado y elaborado para fines didácticos, relacionado varios conceptos de la transferencia de calor, dentro de la carrera de Mantenimiento Industrial.

Para mencionado análisis se considera un estudio empírico descriptivo basado en medidas de temperatura tomadas a cuatro componentes en 5 experimentos diferentes, durante intervalos de tiempo similares en todos los casos. La determinación del tiempo de funcionamiento del

prototipo de refrigeración en el que la temperatura se estabiliza será considerada como punto de referencia para mejorar el diseño de los sistemas de refrigeración y cada vez aportar con las alternativas de eficiencia energética que aporten al cuidado medioambiental.

Materiales y Métodos

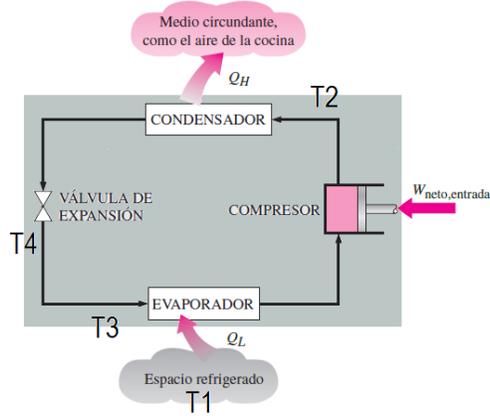
La investigación contempla dos (2) eventos: en primera instancia se elabora el prototipo de sistema de refrigeración con la descripción y características de sus componentes, y posteriormente fueron monitoreados cada uno de los experimentos, en ese sentido el análisis del comportamiento termodinámico, se basa en los principios que caracterizan un estado termodinámico, que se encuentra definido por la condición de estabilidad y cuantificado por las magnitudes de sus propiedades.

La metodología necesaria para transmitir el conocimiento, relacionado con los fenómenos asociados a los cambios de temperatura que inciden directamente sobre la materia, exigen al profesor valerse de diferentes recursos para hacer posible el entendimiento en los estudiantes. Sin embargo, el simple efecto de analizar teóricamente lo que sucede en un ciclo de refrigeración, genera varias inquietudes con respecto a esta temática.

El prototipo del ciclo de refrigeración doméstica influye directamente en la generación de conocimiento debido a que complementa la definición de estabilidad, con los principios relacionados con los conceptos de equilibrio termodinámico.

Para la descripción y caracterización del prototipo de sistema de refrigeración se considera un ejemplo muy propio del sector doméstico, con cuatro típicos de componentes (condensador, válvula de expansión, compresor y evaporador) con una disposición cerrada y con puntos de medición de temperatura localizados (ver figura 1).

Figura 1: Diagrama de localización de los componentes del sistema de refrigeración



El prototipo del sistema de refrigeración elaborado por estudiantes de la carrera de Mantenimiento Industrial de la Facultad de Mecánica posee una compuerta de 300mm * 120mm, con un motor para el compresor de 1/2 HP, la profundidad del evaporador es de 250mm, con una sola válvula de expansión o estrangulamiento. A continuación, se presentan las ilustraciones. Los parámetros del prototipo son establecidos de acuerdo al medio donde se fabrica el ejemplar, se dispone en el medio de un evaporador que genera la solidificación de la humedad presente dentro del mismo, así también el condensador se encuentra ubicado horizontalmente.

Figura 2: Evaporador y compartimiento de refrigeración



Figura 3: Compuerta del Evaporado



Figura 3 Prototipo de Refrigeración Doméstica



Para el monitoreo del funcionamiento en el caso de cinco experimentos por cada componente fue utilizado cuatro termocuplas tipo K de rango -50 a 180°C con recubrimiento de teflón de $1,5\text{m}$ y de error $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, con un punto crítico de medición de temperatura de tal modo que se exhibieron los resultados de temperaturas en función del tiempo de cada uno de los 5 experimentos, de modo que se identificó la estabilización en el cual ya es prudente el análisis de la energía que se consume para tomarlo en cuenta para el re-diseño del sistema. Las tendencias fueron identificadas mediante la estadística descriptiva de modo que se puntualizó un lapso en común, el cual se tomó como referencia.

Resultados

En la presentación de resultados las tendencias fueron enmarcadas en un rango definido de valores registrados de temperatura vs tiempo, entonces para el caso del espacio refrigerado del evaporador, misma que se caracteriza como espacio propenso a variaciones iniciales de valores de temperatura. En ese marco se identifica a los experimentos 3 y 4, como aquellos casos que requieren de mejor hermeticidad del sistema, que de seguro influye en un mejor diseño de los sellos de compuerta y encaje de la misma. Sin embargo, como se muestra en la figura 5 se puede identificar la estabilidad térmica en el caso del prototipo a un rango de -1 a -6°C luego de haber transcurrido 20 minutos.

Cuando se monitoreo el ingreso del condensador fue evidente un incremento de temperatura con tendencia exponencial de manera que se identificó la estabilidad térmica desde los 18 minutos a un rango muy definido de 33 a 35°C , ver figura 6. Los resultados mostrados pueden inferir a que el material de la parrilla podría mejorarse con la intención que se disipe el calor generado de mejor manera.

Figura 4: Datos medidos de 5 experimentos en espacio refrigerado del evaporador (Temperatura 1) Curva Temperatura vs. Tiempo

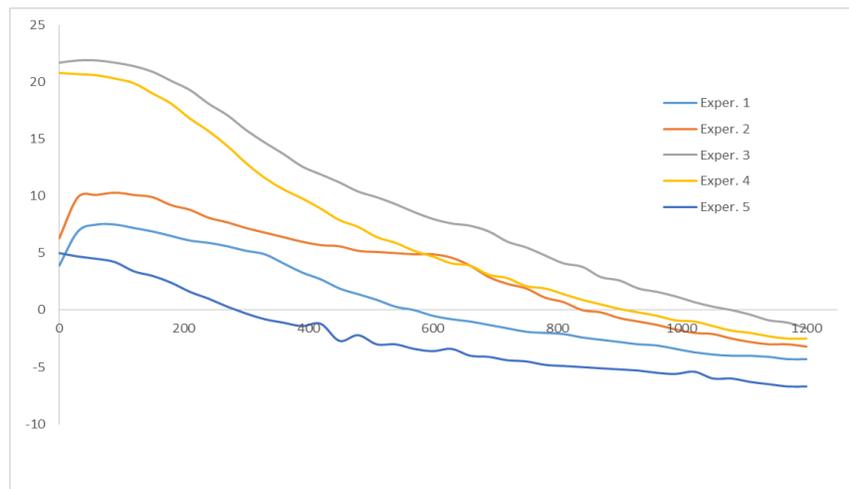
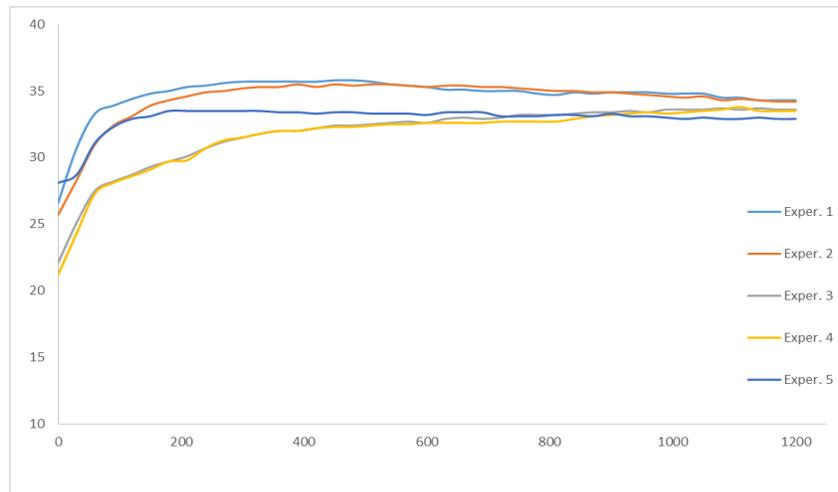
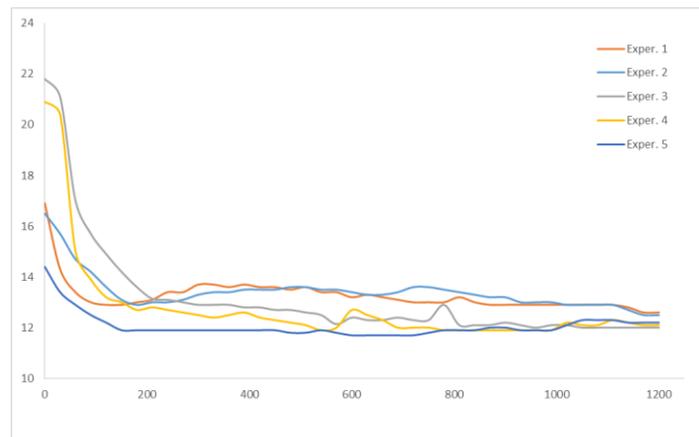


Figura 5: Datos medidos de 5 experimentos en el ingreso del condensador (Temperatura 2) Curva Temperatura vs. Tiempo



Para el caso del experimento de monitoreo en el ingreso del evaporador la tendencia se regularizó después de que hayan transcurrido los 20 minutos en un rango entre 12 a 13°C, mostrando que los casos del 3 y 4 experimento infieren a poco aislamiento térmico, ver figura 7.

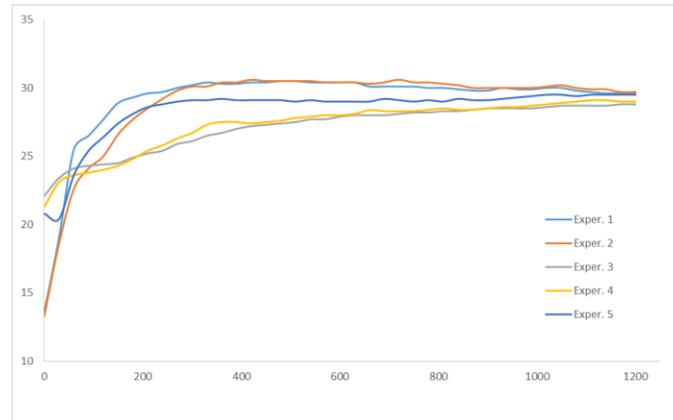
Figura 6: Datos medidos de 5 experimentos en el ingreso del evaporador (Temperatura 3) Curva Temperatura vs. Tiempo



Finalmente, para la válvula de estrategia lo más seguro con la intención de corregir errores mostrados con el experimento 2, se podría dimensionar la válvula de expansión en función del espacio proporcionado con una mejor ubicación, aunque cabe destacar que el rango de

temperatura en equilibrio fue logrado a los 17 minutos a un corto rango de temperatura de entre 28 a 30°C, ver figura 8.

Figura 7: Datos medidos de 5 experimentos en la salida de la válvula de expansión (Temperatura 4) Curva Temperatura vs. Tiempo



Mediante los experimentos antes realizados se puede definir las temperaturas de estabilización en la siguiente tabla 1, donde se describe las temperaturas de estabilización.

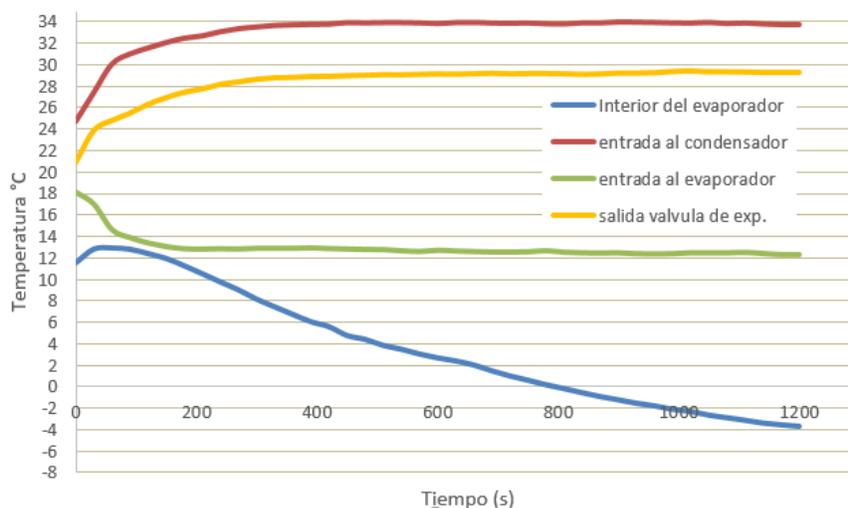
Tabla 1: Estabilización de temperaturas

	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)
	-4.3	34.3	12.6	29.6
	-3.2	34.2	12.5	29.7
	-1.6	33.6	12.0	28.8
	-6.7	33.5	12.1	29.0
	-2.5	32.9	12.2	29.5
Promedio	-3.6	33.7	12.3	29.5

Elaborado por: Autor

Fuente: origen de los datos

Se calculan los valores medios de cada uno de los experimentos y establecer una regresión no lineal para estimar el tiempo en que llega a estabilizarse el estado termodinámico y la temperatura que alcanza en este estado de equilibrio, estas temperaturas acompañadas con el valor de la presión absoluta, indican exactamente en qué fase se encuentra el fluido.

Figura 8: Curvas de estabilidad de los estados termodinámicos

Gráficamente se puede analizar, que de acuerdo como se encuentran ubicados los puntos de medición se llega a estabilizar el ciclo de refrigeración posterior a los 15 minutos como se muestra la figura 9. En lo que se refiere al interior del evaporador el tiempo para que llegue a su estabilización es más extenso debido a las condiciones geométricas y de funcionamiento del prototipo.

$$T(^{\circ}\text{C}) = 1,8964 \cdot \ln(t) + 16,704 \quad (1)$$

Mediante el análisis particular de la evolución de la temperatura, en la salida de la válvula de expansión, se puede desarrollar la regresión no lineal y estimar la función que permite estimar la temperatura de equilibrio después de un tiempo prudente, así, por ejemplo, después de 60 minutos la temperatura para este componente no supera los 33,5°C, reemplazando en la ecuación 1 los valores del tiempo en segundos. La efectividad del uso de esta ecuación supera el 80% y genera el mejor acercamiento con respecto a esta condición.

Conclusiones

El presente trabajo ofrece un prototipo didáctico, para que los estudiantes de la carrera de Mantenimiento Industrial puedan realizar sus experiencias analizando las propiedades termodinámicas que ocurren en un ciclo de refrigeración convencional, con la posibilidad de

efectuar variantes en tiempo real y calcular el consumo de energía. Los aspectos fundamentales de este estudio de caso se reflejan en la gran diferencia de temperaturas que existe entre la zona fría (interior del evaporador) y la zona caliente (alrededores de los tubos del condensador).

Las temperaturas mencionadas (T_1 y T_2), son parámetros que sirven para estimar el coeficiente de desempeño del refrigerador, y tomando en cuenta el enunciado de la segunda ley de la Termodinámica de Clausius: “Es imposible construir un dispositivo que opere en un ciclo sin que produzca ningún otro efecto que la transferencia de calor de un cuerpo de menor temperatura a otro de mayor temperatura.”, podemos calcular el COP y establecerlo en 7.22, suponiendo las consideraciones de una maquina ideal y pudiendo extraer calor de los productos en el interior del evaporador a una tasa 156,59 KJ/min.

Los parámetros termodinámicos de cualquier equipo pueden ser analizados mediante las expresiones matemáticas referenciadas en libros de texto, pero entender que puede pasar si no existe estabilidad en los sistemas o se está trabajando fuera de los límites óptimos de funcionamiento recae en un consumo energético ineficiente y probablemente podemos estropear los componentes de un equipo funcional.

Agradecimientos

Enorme agradecimiento a los estudiantes de la asignatura de Termodinámica de la carrera de Mantenimiento Industrial, que con su esfuerzo y dedicación colaboraron en la elaboración y ensamble del módulo prototipo didáctico de refrigeración doméstica.

Referencias

1. C. Aprea, A. Greco, A. Maiorino, C. Masselli, and A. Metallo, “HFO1234ze as Drop-in Replacement for R134a in Domestic Refrigerators: An Environmental Impact Analysis,” *Energy Procedia*, vol. 101, no. September, pp. 964–971, 2016.
2. G. Sonnenrein, A. Elsner, E. Baumhögger, A. Morbach, K. Fieback, and J. Vrabec, “Reducing the power consumption of household refrigerators through the integration of latent heat storage elements in wire-and-tube condensers,” *Int. J. Refrig.*, vol. 51, pp. 154–160, 2015.

3. M. A. Velasco Bautista, “Estudio de un banco de pruebas de refrigeración y su aplicación en sistemas agroindustriales en la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato,” 2011.
4. M. Tosun, B. Doğan, M. M. Öztürk, and L. B. Erbay, “Integration of a mini-channel condenser into a household refrigerator with regard to accurate capillary tube length and refrigerant amount,” *Int. J. Refrig.*, vol. 98, pp. 428–435, 2019.
5. A. K. Thota Radhakrishnan, J. B. van Lier, and F. H. L. R. Clemens, “Rheological characterisation of concentrated domestic slurry,” *Water Res.*, vol. 141, pp. 235–250, 2018.
6. S. Bakhshipour, M. S. Valipour, and Y. Pahamli, “Analyse paramétrique de réfrigérateurs domestiques utilisant un échangeur de chaleur à matériau à changement de phase,” *Int. J. Refrig.*, vol. 83, pp. 1–13, 2017.
7. D. S. Niyaj and S. N. Sapali, “Performance Evaluation of a Domestic Refrigerator with a Thermal Storage Arrangement Using Propane as a Refrigerant,” *Energy Procedia*, vol. 109, no. November 2016, pp. 34–39, 2017.
8. R. Liddiard, B. Gowreesunker, C. Spataru, J. Tomei, and G. Huebner, “The vulnerability of refrigerated food to unstable power supplies,” *Energy Procedia*, vol. 123, pp. 196–203, 2017.
9. S. De Antonellis, C. M. Joppolo, C. Leone, P. Liberati, and S. Milani, “Indirect evaporative cooling systems: An experimental analysis in summer condition,” *Energy Procedia*, vol. 140, pp. 467–474, 2017.
10. P. Liberati, S. De Antonellis, C. Leone, C. M. Joppolo, and Y. Bawa, “Indirect Evaporative cooling systems: Modelling and performance analysis,” *Energy Procedia*, vol. 140, pp. 475–485, 2017.
11. A. Pirvaram, S. M. Sadrameli, and L. Abdolmaleki, “Energy management of a household refrigerator using eutectic environmental friendly PCMs in a cascaded condition,” *Energy*, vol. 181, pp. 321–330, 2019.
12. Y. Yin, D. Zhu, J. Sun, L. Xiuzhen, and T. Aimen, “Experimental Investigation of Evaporative Condensed Refrigerating System by Variation of Heat Transfer Tube Types,” *Procedia Eng.*, vol. 205, pp. 175–182, 2017.
13. M. Fiorentino and G. Starace, “Experimental Investigations on Evaporative Condensers Performance,” *Energy Procedia*, vol. 140, pp. 458–466, 2017.

14. M. Fiorentino and G. Starace, "Sensitivity Analysis of Evaporative Condensers Performance Using an Experimental Approach," *Energy Procedia*, vol. 126, pp. 345–352, 2017.
15. L. Bardoulet, J. M. Corberán, and S. Martínez-Ballester, "How to achieve full liquid conditions at the capillary tube inlet of a household refrigerator," *Int. J. Refrig.*, vol. 100, pp. 265–273, 2019.
16. W. long Cheng, M. Ding, X. dong Yuan, and B. C. Han, "Analysis of energy saving performance for household refrigerator with thermal storage of condenser and evaporator," *Energy Convers. Manag.*, vol. 132, pp. 180–188, 2017.
17. Z. Zhang, D. Huang, R. Zhao, and Y. Leng, "Effect of airflow field optimization around spiral wire-on-tube condenser on a frost-free refrigerator performance," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 114, pp. 785–792, 2017.
18. Y. a. Çengel, "Thermodynamics: An Engineering Approach," McGraw-Hill, 2004.
19. Y. Cengel, "Heat Transfer: A Practical Approach," *J. Chem. Inf. Model.*, 2013.
20. C. D. E. I. Mecánica, "Estudio de los parámetros de operación de un refrigerador doméstico que opera con refrigerantes R600a," 2015.
21. I. Dincer and Y. A. Cengel, "Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering," *Entropy*, 2001.
22. Medio ambiente. 2018.
23. International Energy Agency, "World Energy Outlook: Executive Summary," Paris Int. Energy Agency, 2013.
24. Y. A. Çengel, M. A. Boles, and G. N. Cázares, *Termodinámica*, no. QC311 C4 1996. McGraw-Hill, 2006.

References

1. C. Aprea, A. Greco, A. Maiorino, C. Masselli, and A. Metallo, "HFO1234ze as Drop-in Replacement for R134a in Domestic Refrigerators: An Environmental Impact Analysis," *Energy Procedia*, vol. 101, no. September, pp. 964–971, 2016.
2. G. Sonnenrein, A. Elsner, E. Baumhögger, A. Morbach, K. Fieback, and J. Vrabec, "Reducing the power consumption of household refrigerators through the integration of

- latent heat storage elements in wire-and-tube condensers,” *Int. J. Refrig.*, Vol. 51, pp. 154–160, 2015.
3. M. A. Velasco Bautista, “Study of a refrigeration test bench and its application in agro-industrial systems in the Mechanical Engineering Degree at the Technical University of Ambato,” 2011.
 4. M. Tosun, B. Doğan, M. M. Öztürk, and L. B. Erbay, “Integration of a mini-channel condenser into a household refrigerator with regard to accurate capillary tube length and refrigerant amount,” *Int. J. Refrig.*, Vol. 98, pp. 428–435, 2019.
 5. A. K. Thota Radhakrishnan, J. B. van Lier, and F. H. L. R. Clemens, “Rheological characterization of concentrated domestic slurry,” *Water Res.*, Vol. 141, pp. 235–250, 2018.
 6. S. Bakhshipour, M. S. Valipour, and Y. Pahamli, “Analyse paramétrique de réfrigérateurs domestiques utilisant échangeur de chaleur à matériau à changement de phase,” *Int. J. Refrig.*, Vol. 83, pp. 1–13, 2017.
 7. D. S. Niyaj and S. N. Sapali, “Performance Evaluation of a Domestic Refrigerator with a Thermal Storage Arrangement Using Propane as a Refrigerant,” *Energy Procedia*, vol. 109, no. November 2016, pp. 34–39, 2017.
 8. R. Liddiard, B. Gowreesunker, C. Spataru, J. Tomei, and G. Huebner, “The vulnerability of refrigerated food to unstable power supplies,” *Energy Procedia*, vol. 123, pp. 196–203, 2017.
 9. S. De Antonellis, C. M. Joppolo, C. Leone, P. Liberati, and S. Milani, “Indirect evaporative cooling systems: An experimental analysis in summer condition,” *Energy Procedia*, vol. 140, pp. 467–474, 2017.
 10. P. Liberati, S. De Antonellis, C. Leone, C. M. Joppolo, and Y. Bawa, “Indirect Evaporative cooling systems: Modeling and performance analysis,” *Energy Procedia*, vol. 140, pp. 475–485, 2017.
 11. A. Pirvaram, S. M. Sadrameli, and L. Abdolmaleki, “Energy management of a household refrigerator using eutectic environmental friendly PCMs in a cascaded condition,” *Energy*, vol. 181, pp. 321–330, 2019.
 12. Y. Yin, D. Zhu, J. Sun, L. Xiuzhen, and T. Aimen, “Experimental Investigation of Evaporative Condensed Refrigerating System by Variation of Heat Transfer Tube Types,” *Procedia Eng.*, Vol. 205, pp. 175–182, 2017.

13. M. Fiorentino and G. Starace, "Experimental Investigations on Evaporative Condensers Performance," *Energy Procedia*, vol. 140, pp. 458–466, 2017.
14. M. Fiorentino and G. Starace, "Sensitivity Analysis of Evaporative Condensers Performance Using an Experimental Approach," *Energy Procedia*, vol. 126, pp. 345–352, 2017.
15. L. Bardoulet, J. M. Corberán, and S. Martínez-Ballester, "How to achieve full liquid conditions at the capillary tube inlet of a household refrigerator," *Int. J. Refrig.*, Vol. 100, pp. 265–273, 2019.
16. W. long Cheng, M. Ding, X. dong Yuan, and B. C. Han, "Analysis of energy saving performance for household refrigerator with thermal storage of condenser and evaporator," *Energy Convers. Manag.*, Vol. 132, pp. 180–188, 2017.
17. Z. Zhang, D. Huang, R. Zhao, and Y. Leng, "Effect of airflow field optimization around spiral wire-on-tube condenser on a frost-free refrigerator performance," *Appl. Therm. Eng.*, Vol. 114, pp. 785–792, 2017.
18. Already. Çengel, "Thermodynamics: An Engineering Approach," McGraw-Hill, 2004.
19. Y. Cengel, "Heat Transfer: A Practical Approach," *J. Chem. Inf. Model.*, 2013.
20. C. D. E. I. Mechanics, "Study of the operating parameters of a domestic refrigerator that operates with R600a refrigerants," 2015.
21. I. Dincer and Y. A. Cengel, "Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering," *Entropy*, 2001.
22. Environment. 2018.
23. International Energy Agency, "World Energy Outlook: Executive Summary," Paris Int. Energy Agency, 2013.
24. Y. A. Çengel, M. A. Boles, and G. N. Cázares, *Thermodynamics*, no. QC311 C4 1996. McGraw-Hill, 2006.

Referências

1. C. Aprea, A. Greco, A. Maiorino, C. Masselli e A. Metallo, "HFO1234ze como substituto para R134a em refrigeradores domésticos: uma análise de impacto ambiental", *Energy Procedia*, vol. 101, n. Setembro, pp. 964–971, 2016.

2. G. Sonnenrein, A. Elsner, E. Baumhögger, A. Morbach, K. Fieback e J. Vrabec, “Reduzindo o consumo de energia dos refrigeradores domésticos através da integração de elementos de armazenamento de calor latente nos condensadores de arame e tubo” *Int. J. Refrig.*, Vol. 51, pp. 154-160, 2015.
3. M. A. Velasco Bautista, “Estudo de uma bancada de testes de refrigeração e sua aplicação em sistemas agroindustriais no Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Técnica de Ambato”, 2011.
4. M. Tosun, B. Doğan, M. M. Öztürk e L. B. Erbay, "Integração de um condensador de mini-canal em um refrigerador doméstico no que diz respeito ao comprimento exato do tubo capilar e quantidade de refrigerante", *Int. J. Refrig.*, Vol. 98, pp. 428-435, 2019.
5. A. K. Thota Radhakrishnan, J. B. van Lier e F. H. L. R. Clemens, "Caracterização reológica da pasta doméstica concentrada", *Water Res.*, Vol. 141, pp. 235-250, 2018.
6. S. Bakhshipour, M. S. Valipour e Y. Pahamli, "Analyse parametrique de réfrigérateurs domestiques utilisant changer of chaleur to materialu to change of phase", *Int. J. Refrig.*, Vol. 83, pp. 1–13, 2017.
7. D. S. Niyaj e S. N. Sapali, "Avaliação de desempenho de um refrigerador doméstico com um arranjo de armazenamento térmico usando propano como refrigerante", *Energy Procedia*, vol. 109, n. Novembro de 2016, pp. 34-39, 2017.
8. R. Liddiard, B. Gowreesunker, C. Spataru, J. Tomei e G. Huebner, "A vulnerabilidade de alimentos refrigerados a fontes de alimentação instáveis", *Energy Procedia*, vol. 123, pp. 196-203, 2017.
9. S. De Antonellis, C. M. Joppolo, C. Leone, P. Liberati e S. Milani, "Sistemas de resfriamento evaporativo indireto: uma análise experimental em condições de verão", *Energy Procedia*, vol. 140, pp. 467-474, 2017.
10. P. Liberati, S. De Antonellis, C. Leone, C. M. Joppolo e Y. Bawa, "Sistemas de resfriamento evaporativo indireto: modelagem e análise de desempenho", *Energy Procedia*, vol. 140, pp. 475-485, 2017.
11. A. Pirvaram, S. M. Sadrameli e L. Abdolmaleki, “Gerenciamento de energia de um refrigerador doméstico usando PCM eutéticos ecologicamente corretos em condições de cascata”, *Energy*, vol. 181, pp. 321–330, 2019.

12. Y. Yin, D. Zhu, J. Sun, L. Xiuzhen e T. Aimen, "Investigação Experimental do Sistema de Refrigeração Condensado por Evaporação por Variação dos Tipos de Tubos de Transferência de Calor", *Procedia Eng.*, Vol. 205, pp. 175-182, 2017.
13. M. Fiorentino e G. Starace, "Investigações Experimentais sobre Desempenho de Condensadores Evaporativos", *Energy Procedia*, vol. 140, pp. 458-666, 2017.
14. M. Fiorentino e G. Starace, "Análise de Sensibilidade do Desempenho de Condensadores Evaporativos Utilizando uma Abordagem Experimental", *Energy Procedia*, vol. 126, pp. 345-352, 2017.
15. L. Bardoulet, J. M. Corberán e S. Martínez-Ballester, "Como obter condições completas de líquido na entrada do tubo capilar de uma geladeira doméstica", *Int. J. Refrig.*, Vol. 100, pp. 265-273, 2019.
16. W. Long Cheng, M. Ding, X. Dong Yuan e B. C. Han, "Análise do desempenho de economia de energia para refrigeradores domésticos com armazenamento térmico de condensador e evaporador", *Energy Convers. Manag.*, Vol. 132, pp. 180-188, 2017.
17. Z. Zhang, D. Huang, R. Zhao e Y. Leng, "Efeito da otimização do campo de fluxo de ar ao redor do condensador espiral fio-tubo no desempenho de um refrigerador sem geadas", *Appl. Therm. Eng.*, Vol. 114, pp. 785-792, 2017.
18. Já. Çengel, "Termodinâmica: Uma Abordagem de Engenharia", McGraw-Hill, 2004.
19. Y. Çengel, "Transferência de Calor: Uma Abordagem Prática", *J. Chem. Inf. Model.*, 2013.
20. C. D. E. I. Mecânica, "Estudo dos parâmetros operacionais de um refrigerador doméstico que opera com refrigerantes R600a", 2015.
21. I. Dincer e Y. A. Çengel, "Conceitos de energia, entropia e exergia e seus papéis na engenharia térmica", *Entropy*, 2001.
22. Meio Ambiente. 2018.
23. Agência Internacional de Energia, "World Energy Outlook: Summary Executive", Paris Int. Agência de Energia, 2013.
24. Y. A. Çengel, M. A. Boles e G. N. Cázares, *Thermodynamics*, n. QC311 C4 1996. McGraw-Hill, 2006.

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).