

Roadmap Energético de la Refrigeración Doméstica

Roadmap of the energy consumption of domestic refrigerator

Emmanuel Vargas-Altamira¹, Daniela Covarrubias-Azpeitia¹, Bibiana Vargas-Hernández²,
Juan M. Belman-Flores²

¹Escuela Superior de Apan, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, CP. 43920 Apan, Hidalgo, México.

²Grupo de Investigación IRSE, División de Ingenierías, Campus Irapuato – Salamanca, Universidad de Guanajuato, CP. 36885, Salamanca, Guanajuato, México.

va357556@uaeh.edu.mx (E. V.-A.), co352257@uaeh.edu.mx (D. C.-A.), b.vargas.hernandez@ugto.mx (B. V.-H.),
jfbelman@ugto.mx (J. M. B.-F.)

Resumen

Este estudio aborda el desarrollo inicial de una hoja de ruta (roadmap) energética de un refrigerador doméstico mediante el uso del Excel. La herramienta debe permitir el análisis y manipulación de datos que simulen cualquier condición de operación del refrigerador, así como su propio diseño, lo cual reflejará el consumo energético en equipos de refrigeración doméstica. Para la obtención de datos de operación se utilizó un banco experimental, lo cual también ayuda a realizar una aproximación del consumo teórico y real del refrigerador. La integración de datos experimentales y teóricos ha proporcionado una visión aproximada del comportamiento energético del refrigerador en diversas condiciones operativas y de diseño.

Palabras clave: roadmap; refrigerador doméstico; consumo energético; Excel.

Introducción

En la actualidad, el electrodoméstico con mayor presencia en los hogares, después de la televisión, es el refrigerador. Debido al incremento de población mundial y a su demanda para la conservación de alimentos, el uso de los refrigeradores se ha disparado hasta obtener ventas por más de 200 millones de unidades desde el 2012 y con una proyección hasta el 2025 [1]. La mayoría de estos refrigeradores domésticos funcionan mediante la tecnología por compresión de vapor, la cual en su operación consume una gran cantidad de energía. Según el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), el 30% de la energía eléctrica de un hogar es consumida por este electrodoméstico. Por otro lado, el amplio uso de los sistemas de refrigeración por compresión de vapor en diversas aplicaciones origina un consumo del 17% de la energía demandada a nivel mundial; por lo que dichos sistemas son focos de investigación con la finalidad de obtener un gasto menor de energía durante su operación [2].

Entre las alternativas aplicadas a la reducción del consumo energético se centran en la mejora del electrodoméstico. En ese sentido, los estudios actuales se enfocan al rediseño de los componentes principales como lo son el compresor e intercambiadores de calor, el análisis de las propiedades termofísicas de los materiales con los que están diseñados los refrigeradores, el cumplimiento de normatividad [2], entre otros. El uso incorrecto de este electrodoméstico también puede incrementar el consumo de energía eléctrica, dentro de estas malas prácticas se encuentra dejar las puertas abiertas, ajuste inadecuado del termostato, ensuciamiento de intercambiadores de calor (condensador), tiempos prolongados de apertura de puertas [3], etc.

Por lo tanto, los altos consumos de energía eléctrica tienen un impacto ambiental [4], debido a que la mayor parte de la energía que se produce en México a cargo de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) utiliza recursos no renovables (73.5%) [5].

Por otra parte, el gas refrigerante es el fluido implementado en los sistemas de refrigeración como medio de transporte para transferir el calor. Estos gases contienen mezclas de compuesto químicos de clorofluorocarbonos (CFC) o hidrofluorocarbonos (HFC) [6]; debido a su alto potencial de calentamiento global (GWP) tiene un papel importante dentro del efecto invernadero. Por ejemplo, el refrigerante R134a es uno de los refrigerantes más utilizados a nivel global dentro de la refrigeración, pero tiene un gran impacto ambiental al tener un GWP de 1300 [7]. Entre los diferentes tipos de gases refrigerantes también puede variar el consumo de energía en el refrigerador, por lo cual también es un área de investigación actual.

Así, es importante mencionar que el funcionamiento adecuado de un refrigerador doméstico depende de una gran variedad de factores, lo cual se puede ver reflejado en el comportamiento térmico de los compartimentos, así como en su consumo de energía. De esta manera, en este estudio se propone la estructura inicial de una herramienta que contemple el diseño del refrigerador y condiciones de operación que ayude a simular el consumo energético del refrigerador, con lo cual se permita al ingeniero de diseño hacer una mejor propuesta de diseño.

Metodología

En esta sección se describe la metodología empleada para llevar a cabo el proyecto de investigación, se describe brevemente la herramienta desarrollada en Excel, así como el banco experimental (refrigerador) bajo estudio.

Excel

Para el presente estudio se empleó el Excel, con el propósito de proponer una herramienta que ayude a proyectar el consumo energético de un refrigerador doméstico acorde al diseño inicial. Entre los aspectos que debe contener la herramienta son: geometría del diseño del refrigerador, componentes principales, materiales de construcción y condiciones ambientales y de operación. La hoja de Excel se deberá diseñar meticulosamente permitiendo la modificación de dichos parámetros de entrada que permitan simular diseños de refrigeradores que contribuyan a reducir el consumo energético.

Banco experimental

Como complemento de esta investigación y parámetros de entrada a la hoja de Excel, se utilizó un refrigerador de marca DAEWOO, las mediciones del refrigerador fueron tomadas con un vernier y un flexómetro, se midieron los espesores de las paredes, *liner* y lámina, para obtener de esta manera el espesor del agente espumante. En la Figura 1 se muestra la pared compuesta del refrigerador de referencia.

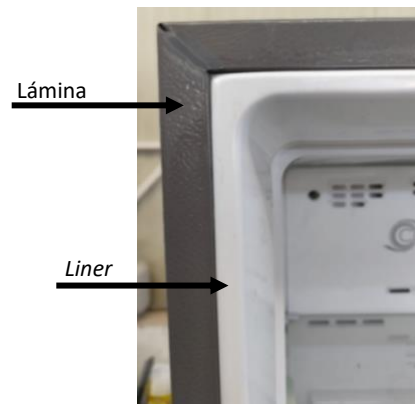


Figura 1. Pared del refrigerador de referencia.

Las cargas térmicas para analizar en la hoja Excel serán aquellas relacionadas a la ganancia a través de las paredes del refrigerador (Figura 1), así como los sellos magnéticos. Para la cuantificación de estas cargas se realizó una prueba con el refrigerador en funcionamiento, para esto se utilizaron 11 termopares tipo K de las siguientes maneras: 5 para el compartimento de los alimentos frescos, 2 en el congelador, 1 en la parte superior del compresor, 1 a la mitad del espacio que se encuentra en la parte superior del compresor (carcasa) y en el espacio alrededor del compresor, 1 sobre la parte superior del condensador, 1 a la mitad del espacio formado por el espiral del condensador y 1 para la temperatura ambiente.

Para la medición de temperatura, los termopares se introdujeron en recipientes con una proporción del 50% de agua y 50% de glicol dentro de los compartimentos del refrigerador, y para el congelador el termopar se colocó dentro de un cubo de madera.

Para la adquisición de los datos, se conectaron los termopares a una tarjeta NI-9213 adjunta al chasis NI cRIO-9030. A través de una conexión Universal Serial Bus (USB) a una computadora, fue posible una visualización en tiempo real con el software SignalExpress programado en LabView.

Para medir el consumo energético del refrigerador se utilizó un registro de energía Fluke 1735 (Fluke, Everett, WA, USA) calibrado con un error de medición del 1.5%. Las mediciones de temperatura y energía se programaron cada 10 segundos. En la Figura 2 se muestra el banco experimental donde se colocaron las medias pintas, termopares y equipos de adquisición de datos.



Figura 2. Banco experimental de referencia.

Resultados

En la Figura 3 se muestra la hoja “condiciones operacionales”, donde se ingresan los datos de las dimensiones del refrigerador, materiales de fabricación, temperatura ambiente, temperatura de operación, velocidad del aire dentro del refrigerador, tiempo de encendido y apagado, resistencia de deshielo, ventiladores y compresor. Los resultados de la prueba experimental descrita anteriormente permitieron obtener los valores de las temperaturas de operación, temperatura ambiente, tiempo de encendido y apagado del compresor y de la resistencia de deshielo.

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda Acrobat													
T11													
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		
Freezer (FZ)			Fresh Food (FF)			Materiales de Fabricación			Conductividad (K)				
Front	Long	0.61	Front	Long	0.61	Agente Espumante	R141b/R22	0.0174399		W/m°C			
	High	0.52		High	1.08	Plastico	Polipropileno	0.22		W/m°C			
	Width	0.045		Width	0.045	Lámina	Aluminio	205		W/m°C			
	Long	0.61		Long	0.61	Temperatura Ambiente							
	High	0.52		High	0.795	T amb =			23.79820765	°C			
	Width	0.138		Width	0.138	Temperaturas de Operación							
	Long	0.613		Long	0.613	T FZ =			-16.85410328	°C			
	High	0.52		High	0.795	T FF =			1.881139985	°C			
	Width	0.035		Width	0.025	T CS =			28.80332024	°C			
	Long	0.613		Long	0.613	Velocidad del Aire dentro del Refrigerador							
	High	0.52		High	0.795	V FF 1 =			0.8	m/s			
	Width	0.035		Width	0.025	V FF 2 =			0.3	m/s			
	Long	0.607		Long	0.555	V FF Prom =			0.55	m/s			
	High	0.55		High	0.06	Tiempo Encendido/Apagado							
	Width	0.035		Width	0.00635	ON =			11.81805556	h			
	Leaf	0.00635		Leaf	0.00635	OFF =			12.04361111	h			
	Foaming Agent top	thickness	0.0223	Foaming Agent top	thickness	0.05365	Total =			23.86166667	h		
	Foaming Agent right	thickness	0.0223	Foaming Agent right	thickness	0.0123	Compresor						
	Foaming Agent left	thickness	0.0223	Foaming Agent left	thickness	0.0123	Potencia =			123.3495902	W		
	Plastic inside top	thickness	0.00635	Plastic inside top	thickness	0.00635	Tiempo de Operación =			11.81805556	h		
	Plastic inside down	thickness	0.00635	Plastic inside down	thickness	0.00635							
	Plastic inside left	thickness	0.00635	Plastic inside right	thickness	0.00635							
	Plastic door top	Long	0.61	Plastic inside left	thickness	0.00635							
	Plastic door down	Long	0.61	1 y 5 Plastic door	Long	0.017							
	Plastic door right	Long	0.43		High	0.985							
	Plastic door left	Long	0.43	3 Plastic door	Long	0.017							
	Door	Width	0.045		High	0.436							
	Foaming Agent Door	Thickness	0.0323	2 y 4 Plastic door	Long	0.22							
	Plastic door	Width	0.058		High	0.017							
	Plastic door	High	0.017	Door	Width	0.045							
	Magnetic Seal Width	0.016		Foaming Agent Door	Thickness	0.0323							
	Magnetic Seal High	0.028		Plastic door	Width	0.065							
	Magnetic Seal High	0.038			Long	0.61							
				Compressor Space	High	0.285							
					Width	0.228							
				Magnetic Seal Width		0.016							
				Magnetic Seal High		0.028							

Figura 3. Pantalla principal de datos de entrada de la herramienta.

La Figura 4 corresponde a la hoja "coeficientes de convección". Mediante el uso de las temperaturas obtenidas se estimaron las propiedades termodinámicas del aire en el congelador y en el compartimento de alimentos frescos, con lo cual se estimaron los coeficientes convectivos.

The spreadsheet shows the following data for the four convection scenarios:

Scenario	h_0 (W/m ² ·°C)	h_{FF} (W/m ² ·°C)	h_{FZ} (W/m ² ·°C)	h_{CS} (W/m ² ·°C)
1	0.47175838	0.21886783	0.90040593	3.11968153
2	0.47175838	0.21886783	0.90040593	3.11968153
3	0.47175838	0.21886783	0.90040593	3.11968153
4	0.47175838	0.21886783	0.90040593	3.11968153

Figura 4. Cálculo de coeficientes de convección.

La hoja "transferencia de calor FZ", representada en la Figura 5, relaciona los datos proporcionados en la hoja "condiciones operacionales" y "coeficientes de convección" para obtener la transferencia de calor a través de las paredes en el congelador.

The spreadsheet shows the following data for the heat transfer calculations:

Part	Resistance (R) (°C/W)	Area (A) (m ²)	Heat Transfer Rate (Q) (W)
Top	6.34946039	0.33385	2.990753659
Left & Right	6.44992212	0.31876	5.711143545
Front	204.409757	0.01037	0.02763195
Back	7.52103738	0.28184	2.24158777
Total	13.59266445	14.23613699	18.1354982

Figura 5. Transferencia de calor en el congelador.

De igual modo, la hoja "transferencia de calor FF" estima la transferencia de calor por paredes en el compartimento de alimentos frescos. Los resultados se muestran en la Figura 6.

Figura 6. Transferencia de calor en el compartimento de alimentos frescos.

Finalmente, en la Figura 7 se muestran los resultados del consumo energético del refrigerador de manera analítica.

	A	B	C
1		W	KWh
2	Q FZ =	12.2252779	0.29171551
3	Q FF =	5.25257433	0.12533518
4	Q CS ON =	0.8250205	0.00975014
5	Q CS OFF =	0.56538034	0.00680922
6	Q Subtotal =	18.8682531	0.43361004
7	Q Sellos =	7%	7%
8	Q total =	20.1890308	0.46396275
9	W Compressor =	123.34959	1.45775231
10	Consumo Total =	1.92171506	
11			

Figura 7. Resultados del consumo energético.

Este resultado se comparó con el consumo energético obtenido de manera experimental, el cual mostró un valor de 1.45 kWh. Ambos valores no son iguales debido a que hay factores que se tomaron de la literatura como es el caso del tipo de agente espumante, lámina y plástico con el que está diseñado el refrigerador; esta aproximación indica que la hoja dinámica se elaboró de manera correcta.

Conclusiones

Durante el desarrollo del estudio, la utilización del Roadmap generado mediante Excel ha sido fundamental para analizar de manera cercana el consumo energético del refrigerador bajo las condiciones específicas. La implementación de una hoja dinámica ha ofrecido la ventaja de cambiar y manipular fácilmente los datos de entrada, lo que nos ha permitido simular diversas operaciones del refrigerador y obtener estrategias para reducir de forma considerable el consumo de energía, lo cual se puede depurar en un trabajo posterior.

Uno de los aspectos destacables del estudio fue el uso de un refrigerador doméstico para recopilar datos de operación reales. Esto ha proporcionado una base sólida para el análisis aproximado del consumo energético, lo que ha permitido obtener datos cercanos al consumo real observado experimentalmente. Esta aproximación resulta crucial para la toma de decisiones y el desarrollo de estrategias de eficiencia energética.

Bibliografía

- [1] Rico Escudero, L. A., García Yera, M., Ramírez Hernández, H. G., Sánchez Cruz, F. A., & Martínez Martínez, S. (2022). Determinación del coeficiente global de transferencia de calor para un refrigerador doméstico, tipo “top – mount”, mediante la técnica de “Reverse Heat Loss”. *XXIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM* (págs. 292-299). Bogotá: SOMIM.
- [2] Belman Flores, J. M., Pardo Cely, D., Gómez Martínez, M. A., Hernández Pérez, I., Rodríguez Valderrama, D. A., & Heredia Aricapa, Y. (2019). Thermal and Energy Evaluation of a Domestic Refrigerator under the Influence of the Thermal Load. *Energies*, 12(400), 1-16.
- [3] Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica. (05 de junio de 2023). Eficiencia Energética: El refrigerador. Recuperado el 05 de junio de 2023, de Soluciones Energéticas para la Vida Cotidiana: <https://www2.eie.ucr.ac.cr/~jromero/sitio-TCU-oficial/boletines/grupo04/numero-8/boletin8.html>
- [4] Díaz Guerrero, T., Osuna, E. I., & Bermúdez Contreras, A. S. (05 de junio de 2023). Efecto ambiental y socioeconómico de la producción de energía eléctrica. Recuperado el 05 de junio de 2023, de Ciencia y Desarrollo CONACYT: <https://www.cyd.conacyt.gob.mx/?p=articulo&id=482>
- [5] Ramos Gutiérrez, L. d., & Montenegro Fragoso, M. (2012). La Generación de Energía Eléctrica en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(4), 197-211.
- [6] Freeo. (05 de junio de 2023). Conoce los diferentes tipos de Gas Refrigerante. Recuperado el 05 de junio de 2023, de FreeO Cold Industry: <https://freeo.com.mx/conoce-los-diferentes-tipos-de-gas-refrigerante/>
- [7] Belman Flores, J. M., Heredia Aricapa, Y., García Pablón, J. J., Pérez García, V., & Pérez Reguera, C. G. (2023). Drop-In Replacement of R134a in a Household Refrigerator with Low-GWP Refrigerants R513A, R516A, and R1234ze(E). *Energies*, 16(3422), 2-17.