

EVALUACIÓN DE HÁBITOS DE USO EN REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA

Gamba Ortíz Iván Sebastián (1), Rodríguez Valderrama David Alejandro (2), Belman Flores Juan Manuel (2)

¹[Facultad de Ingeniería mecánica, Universidad ECCI] | [ivans.gambao@ecci.edu.co]

²[Departamento de ingeniería mecánica, División de ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [jfbelman@ugto.mx]

Resumen

En este trabajo se realizó la evaluación de un hábito de uso de refrigeradores domésticos, que es el de simular la introducción de alimentos calientes en este electrodoméstico. Se analizó el comportamiento de la temperatura en el compartimento de alimentos y el consumo energético del refrigerador. El objetivo era realizar pruebas con el sistema de control ON-OFF y con el control por lógica difusa, dos métodos que permiten gobernar el funcionamiento del compresor. De este modo determinar con cuál de los dos controles se consume menos energía al momento de refrigerar bajo las condiciones del hábito de uso mencionado. Se concluyó que con control por lógica difusa el refrigerador consume en promedio un 10% más energía que con un control ON-OFF para las mismas condiciones de uso.

Abstract

This work presents the evaluation in the habit of domestic refrigerators consumers, which is to simulate the introduction of hot food in this appliance. The behavior of the temperature in the food compartment and the energy consumption of the refrigerator were analyzed. The objective was to perform tests with the ON-OFF control system and with fuzzy logic control, two methods that allow to govern the operation of the compressor. In this way determine with which of the two controls less energy is consumed at the time of cooling under the conditions of the aforementioned habit of use. It was concluded that with control by diffuse logic the refrigerator consumes an average of 10% more energy than with an ON-OFF control for the same conditions of use.

Palabras Clave

Lógica difusa; hábitos de uso; refrigeración doméstica; compresión de vapor; consumo de energía.

INTRODUCCIÓN

El refrigerador doméstico es una máquina térmica que posee una cavidad en la cual se puede extraer el calor por medio de un ciclo de compresión de vapor. Este aparato es usado para mantener a baja temperatura los alimentos, permitiendo así su conservación y almacenamiento en óptimas condiciones por periodos de tiempo más largos. El refrigerador es de por sí un dispositivo esencial en los hogares del mundo que, según estudios, es uno de los primeros dispositivos que adquiere un grupo familiar típico luego del televisor [1]. Debido a la gran cantidad de sistemas refrigeración en funcionamiento, cerca de 3000 millones, estos representan una cuota significativa en el consumo de energía a nivel mundial, llegando al 17% del total de energía eléctrica utilizada en todo el planeta [2].

Los refrigeradores domésticos, en su gran mayoría, funcionan por medio del ciclo de compresión de vapor, una tecnología que no ha cambiado mucho desde que se empezó a utilizar a principios del siglo pasado. En términos generales, este ciclo consta de cuatro componentes fundamentales: el compresor, que permite elevar la presión del refrigerante, es el subsistema vital del ciclo de compresión de vapor, por el cual se ingresa trabajo al sistema y además, es el principal responsable del consumo de energía eléctrica en el refrigerador; el condensador, permite la extracción del calor que lleva el refrigerante cambiando su estado a líquido saturado; una válvula de expansión, que permite bajar la presión al refrigerante; y un evaporador, por medio del cual el refrigerante absorbe calor, bajando de esta manera la temperatura del ambiente en el que se encuentre.

Como se menciona anteriormente, el compresor es el dispositivo que consume energía en un refrigerador por lo que de su estructura, control y óptimo funcionamiento dependerá en gran medida el ahorro de energía. Conocer el rendimiento transitorio del compresor es fundamental para tomar medidas que reduzcan el consumo energético. Las oscilaciones de la temperatura del aire en los compartimentos del refrigerador provocan, (debido al sistema de control que usan la mayor parte de refrigeradores ON-OFF), ciclos de encendido y apagado del compresor, lo que aumenta el consumo de electricidad [3].

Otros factores que tienen una influencia importante en el aumento del consumo de energía del refrigerador doméstico, son los hábitos de uso que tiene el usuario. Hábitos de uso como la frecuencia de apertura de puertas, la cantidad y temperatura de los alimentos que se ingresan, la ubicación del refrigerador cerca a fuentes de calor, la limpieza del interior, la edad del refrigerador y la posición del damper de control, son unos de los más comunes y que más influyen en la variación térmica y energética del refrigerador doméstico [1].

Existen varias estrategias que permiten ahorrar energía en un refrigerador doméstico entre ellas: la implementación de sistemas de control como variadores de frecuencia, redes neuronales y lógica difusa, que permiten variar la velocidad del compresor; la implementación de mejores hábitos de uso; el diseño de mejores componentes para el ciclo de compresión de vapor y la estructura del refrigerador. Es importante que el ahorro de energía no signifique un deterioro de las condiciones térmicas recomendadas en las cuales se establece una temperatura menor a los 7 °C en el compartimento de alimentos [4].

La lógica difusa se aplica en los refrigeradores para establecer un sistema de control de velocidad del compresor de acuerdo a la temperatura ideal para la conservación de los alimentos, tomando como variables de entrada las temperaturas que se presentan en los diferentes compartimentos del refrigerador [5]. La lógica difusa es un sistema que permite expresar matemáticamente los conceptos de incertidumbre que se presentan en problemas reales, para lo cual se establece que con un conjunto de variables de entrada se puede generar un conjunto de variables de salida deseado.

Para este trabajo de verano se ha implementado un sistema de control por lógica difusa en un refrigerador doméstico tipo bottom mount de 22 pies cúbicos. Con este mecanismo de control se realizaron pruebas experimentales para un hábito de uso: el ingreso de alimentos calientes al refrigerador, para lo cual se utilizó como variable a la temperatura, manteniendo el volumen de la carga térmica constante. Bajo las mismas condiciones se realizaron pruebas utilizando el sistema de control ON-OFF, para así realizar una evaluación del consumo de energía y comportamiento térmico presentado por el refrigerador con cada tipo de control.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la imagen 1 se muestra el banco experimental en el que se realizaron las pruebas para evaluar el hábito de ingresar alimentos calientes al refrigerador.



IMAGEN 1: Banco experimental utilizado en las pruebas.

Los dispositivos que componen el banco experimental son los siguientes:

1. **Computadora:** Con la cual se registraron y guardaron, mediante el software LabVIEW, los datos de temperaturas presentados en los compartimentos del refrigerador durante las pruebas.
2. **Registrador de energía FLUKE 1735:** Un dispositivo con el cual se registraron los datos de consumo energético, potencia, corriente, voltaje, del refrigerador durante las pruebas experimentales.
3. **Sistema de control de velocidad del compresor:** Este sistema se compone principalmente de una tarjeta Arduino MEGA 2560 y un adaptador de memoria micro de guardado de datos. El Arduino fue programado con lógica difusa para lo cual se establecieron tres reglas de funcionamiento que relacionan la temperatura que registra el termostato del refrigerador, con una temperatura establecida de set point produciendo así el valor de velocidad a la que debe ir el compresor. Las variables de entrada en el programa fueron las temperaturas y las de salida fueron los valores de velocidad del compresor.

Para el programa de lógica difusa se definieron tres funciones de membresía de temperatura, caliente, set point y frío, con las cuales se evaluaban las temperaturas medidas por el termistor interno del refrigerador. Dicha evaluación consiste en determinar un valor de pertenencia, a cada una de las funciones de membresía, de las temperaturas registradas, produciéndose así tres valores por cada medida de temperatura. Para la velocidad del compresor se definieron igualmente tres funciones de membresía que son rápido, lento y apagado. Las reglas establecidas en el programa, explicadas de manera breve, fueron: si el valor medido de temperatura indica “caliente”, entonces, velocidad de compresor máxima (rápido); si el valor de temperatura registrado indica “set point”, entonces, velocidad del compresor baja (lento); si el valor de temperatura registrado indica “frío”, entonces, compresor apagado. Los tres valores de pertenencia de cada temperatura registrada se evalúan, por medio de operaciones matemáticas, con respecto a las funciones de membresía de la velocidad del compresor, produciendo así una única función cuyo centroide es el valor numérico de velocidad que el control envía al compresor.

4. **Refrigerador doméstico:** El refrigerador utilizado fue un General Electric tipo botton mount (congelador en la parte inferior) de 22.1 pies cúbicos de capacidad. El compresor que posee es un Embraco modelo vemy 6H, en el cual se manejaron frecuencias de entre 55 Hz a 120 Hz bajo control de lógica difusa y frecuencia máxima de 80 Hz bajo control de ON-OFF. La carga térmica de las pruebas sólo se ingresó en el compartimento de alimentos, por tanto, solo se tuvo en cuenta la variación de las condiciones térmicas en dicha ubicación.

- 5. Instrumentación de medición:** Para la medición de las temperaturas se utilizaron once termopares tipo J distribuidos por todo el compartimento de alimentos del refrigerador, además, se usó otro para monitorear la temperatura ambiente. En doce pequeños recipientes (uno por cada sensor), se sumergieron los termopares en una mezcla de agua con etilenglicol, que es una sustancia que permite una distribución térmica uniforme y por tanto una medición más exacta de la temperatura. Las señales de los termopares son transmitidas por medio de un módulo NI9213 a un chasis de adquisición de datos NI cRIO9030 donde las señales son procesadas y filtradas, para finalmente ser enviadas vía puerto USB a la computadora donde son registradas.

Para la realización de las pruebas se permitió que el refrigerador alcanzara una estabilidad térmica, bajo control por lógica difusa, en la cual la temperatura interior llegó a un promedio de entre 4 y 5 °C, con cuyos datos se obtuvo un estimado de referencia de temperatura y energía consumida. Luego se ingresó la carga térmica al refrigerador, que consistía en 11 litros de agua a 50°C, distribuidos en 9 recipientes. Se realizaron dos pruebas bajo estas condiciones, cada una con una duración aproximada de 7 horas y 40 minutos. Bajo las mismas condiciones de carga térmica, temperatura y duración, se realizaron también dos pruebas controlando el refrigerador con el sistema ON-OFF.

Se realizaron pruebas con los dos sistemas de control con la finalidad establecer una comparación entre ambos al ingresar una carga térmica de volumen constante y a una temperatura determinada, teniendo en cuenta el comportamiento térmico en el compartimento de alimentos del refrigerador y los consumos de energía del compresor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de temperatura se registraron cada minuto, en cada prueba se estimó el promedio de la temperatura del total de datos recolectados por los 11 termopares. A partir de estos promedios se dibuja la gráfica de la imagen 2, donde se muestra el comportamiento de la temperatura durante el periodo de las pruebas. En la gráfica se muestran los datos de estabilidad térmica de 2.3 horas previas a la prueba, esto con la finalidad de resaltar el cambio de temperatura al ingresar las cargas térmicas. Esto también aplica para las gráficas de potencia y consumos de energía.

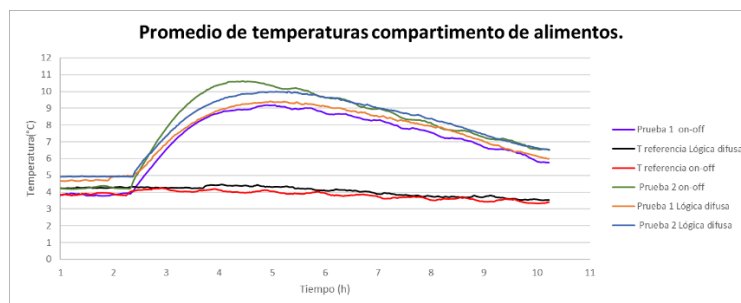


IMAGEN 2: Gráfica del comportamiento promedio de la temperatura en el compartimento de alimentos del refrigerador.

En la imagen 2 se observa que, tanto en la prueba de referencia para control ON-OFF como para la de control por lógica difusa, se presentó un comportamiento en la temperatura muy similar, estimando una temperatura promedio de 4°C. En el mismo orden de ideas la prueba 1 para control ON-OFF y lógica difusa presentaron promedios de temperatura parecidos a pesar de haber arrancado la prueba con 1°C de diferencia. En la prueba 2 se presentó una mayor variación de la temperatura durante las dos primeras horas de prueba, cuando el refrigerador está bajo el control ON-OFF, alcanzando temperaturas de 10.8°C en el compartimento de alimentos. Luego de ese lapso de tiempo el refrigerador presentó un comportamiento térmico similar al de la prueba 2 del control por lógica difusa. Para fines prácticos, se puede decir que el refrigerador para las diferentes pruebas mantiene una condición térmica aceptable.

Por otro lado, en la imagen 3 se muestra la gráfica de la potencia presentada por el compresor del refrigerador durante la prueba 1 bajo control ON-OFF y bajo control por lógica difusa. Se observa que bajo el control ON-OFF el compresor duraba más tiempo encendido que apagado y el ciclo de encendido y apagado se hacía más frecuente a medida que la temperatura interna del refrigerador se estabiliza. Bajo control por lógica difusa el compresor se apagaba o bajaba al mínimo de velocidad mayor número de veces.

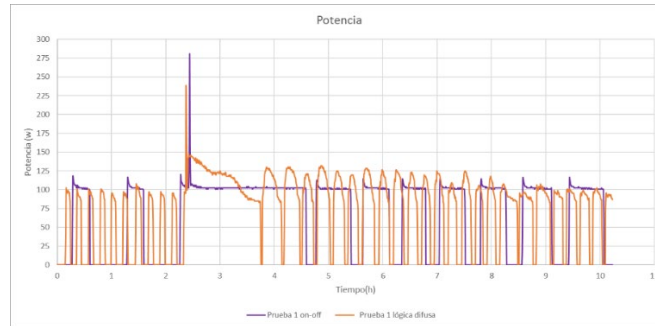


IMAGEN 3: Gráfica de potencia del compresor durante la prueba 1 con control on-off y lógica difusa.

En la imagen 4 se muestra el gráfico del consumo de energía del refrigerador en cada una de las pruebas. De referencia se tuvo un consumo de energía del refrigerador en un lapso de 7 horas y 40 minutos, bajo control ON-OFF, un promedio de 495 Wh; bajo control por lógica difusa se tuvo un consumo promedio de referencia de 432 Wh.

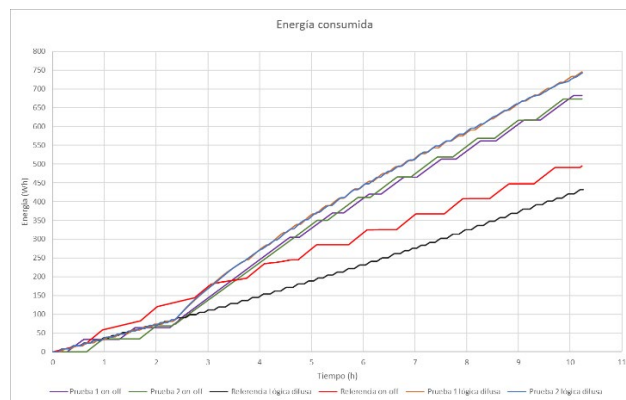


IMAGEN 4: Gráfica de la energía consumida por el refrigerador en cada prueba.

La energía consumida por el refrigerador en la prueba 1 y 2 bajo el control ON-OFF fue muy similar, siendo aproximadamente un 37% mayor con respecto a la prueba de referencia. El consumo energético bajo control por lógica difusa fue prácticamente el mismo en las dos pruebas, en promedio un 72% mayor al consumo de la prueba de referencia y alrededor de un 10% mayor al consumo de energía presentado con el control ON-OFF.

CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluó un mecanismo de control mediante lógica difusa para un refrigerador doméstico con compresor de velocidad variable. La evaluación se basó en un hábito de uso del consumidor como la introducción de alimentos calientes. Para esto se simuló una carga térmica de 11 litros a una temperatura de 50°C. El mecanismo de control mediante lógica difusa presentó un incremento de aproximadamente el 10% de energía respecto al sistema de control ON-OFF típico. En cuanto al comportamiento térmico del compartimento de alimentos, éste se mantuvo en condiciones térmicas adecuadas para la conservación de alimentos cuando el control de lógica difusa fue aplicado. Finalmente, se puede concluir que la búsqueda de mejoras energéticas

es lo bastante amplia, ya que habrá otro tipo de reglas en la lógica con las que se puedan conseguir ahorros significativos, además, hábitos de uso que impliquen un mayor consumo de energía.

REFERENCIAS

- [1] C. James, B. Onarinde y S. James, (2017) «The Use and Performance of Household Refrigerators: A Review,» *Comprehensive reviews in food science and food safety.*, nº 16, pp. 160-179.
- [2] D. Coulomb, J.-L. Dupont y A. Pichard, (2015) «The Role of Refrigeration in the Global Economy,» *29th Informatory Note on Refrigeration Technologies. IIR document.*
- [3] J. Belman Flores, J. Barroso Maldonado, A. Rodríguez Muñoz y G. Camacho Vázquez, (2015) «Enhancements indomestic refrigeration, approaching a sustainable refrigerator – A review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, nº 51, pp. 955-968.
- [4] M. Terpstra, L. Steenbekkers, N. Maertelaere y S. Nijhuis, (2005) «Food storage and disposal: consumer practices and knowledge,» *British Food Journal*, vol. 107, nº 7, pp. 526-533.
- [5] N. A. Baleghy y S. K.-e.-d. Mousavi, (2012) «Design and Implementation Fuzzy Controller in the Frost-free Refrigerator by Using Multivariate Regression,» *20th Iranian Conference on Electrical Engineering*, pp. 840-844.