

ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA Y FLUJO EN REFRIGERADORES

Cruz Corona Camilo (1), Gallegos Muñoz Armando (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Tecnológico Nacional de México: Campus Morelia] | Dirección de correo electrónico: camcruz@gmail.com

2 [Departamento Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: gallegos@ugto.mx

Resumen

En este trabajo se presenta la simulación de la distribución de temperaturas y el flujo en un refrigerador doméstico de tipo convección forzada. El análisis se hizo mediante CFD (dinámica de fluidos computacional) usando un software especializado. El trabajo consistió en dos partes: en la primera se llevó a cabo la medición de las temperaturas en el refrigerador de forma experimental analizando diferentes configuraciones en las posiciones de las parillas; la segunda parte es la simulación de la distribución de temperatura y flujo en el refrigerador doméstico utilizando CFD, aplicando parte de los resultados de la primera parte. Los resultados muestran una distribución de temperatura no homogénea en la cavidad y además una similitud con los datos obtenidos experimentalmente para cada una de las configuraciones.

Abstract

In this paper the simulation of the temperature distribution and flow was carried out in a domestic refrigerator of forced convection type. The analysis has been done through CFD (computational fluid dynamics) using a specialized software. The work consisted of two parts: the first was conducted measuring temperatures in the refrigerator experimentally analyzing different configurations in the positions of the shelves; the second part is the simulation of the temperature distribution and flow in the domestic refrigerator using CFD, using part of the results of the first half. The results show an inhomogeneous distribution of temperature in the cavity and also a similarity with experimentally obtained data for each of the configurations.

Palabras Clave

Convección forzada; Refrigerador doméstico; Análisis térmico; CFD; Localización de parillas;

INTRODUCCIÓN

Refrigeración

La función principal de un refrigerador doméstico es la de mantener en buen estado los productos perecederos y ello se logra con una buena distribución de la temperatura dentro del refrigerador.

Por lo que se han realizado algunos estudios y modelados con el fin de mejorar la distribución térmica y la eficiencia energética del ciclo. Como lo hizo J. K. Gupta. [1], que nos introdujo al modelado de un refrigerador doméstico sin escarcha mediante CFD para determinar el perfil de temperaturas, además han realizado las mediciones experimentales a fin de comparar dichos resultados. Hasan Avci. [2], han utilizado el análisis en dinámica de fluidos computacional (CFD) y redes neuronales artificiales (ANN) para optimizar y mejorar el rendimiento de un refrigerador doméstico de tipo estático, así mismo compararon dichos resultados con los obtenidos experimentalmente. Han realizado además un estudio de optimización de los parámetros mediante ANN.

En este trabajo, se instalaron un conjunto de termopares en el interior de un refrigerador para supervisar la distribución térmica en varios estantes del compartimento de alimentos frescos. Así mismo se generaron dos configuraciones para su simulación en CFD, en las que la posición de las parillas es diferente, esto con el fin de observar el comportamiento térmico y del flujo en el interior del refrigerador. Dada la justificación y considerando que el congelador se encuentra aislado del compartimento de alimentos frescos el análisis se lleva a cabo en este último únicamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis experimental

Modelo físico

En la imagen 1, se muestra el esquema interior del refrigerador únicamente para el compartimento de alimentos frescos. Este cuenta con dos parillas de cristal y compartimentos en el interior del refrigerador, en la imagen podemos ver las posiciones de las parillas que utilizaremos en este estudio. Este refrigerador funciona por medio de convección forzada y tiene una capacidad volumétrica total de 0.28 m^3 (10ft^3).

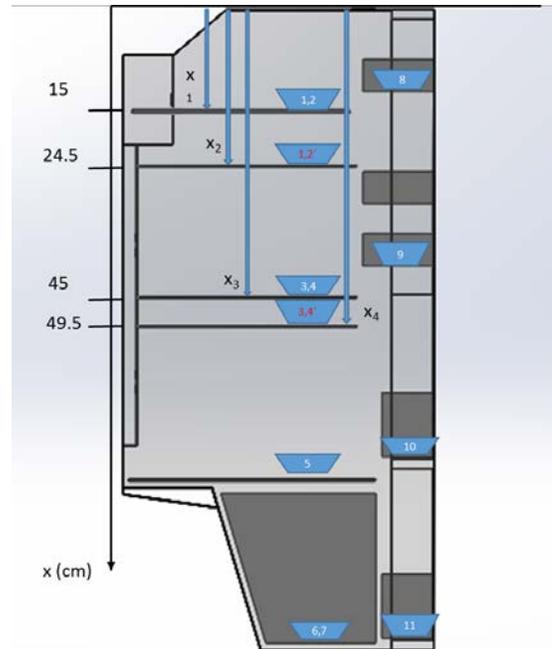


IMAGEN 1: Vista lateral del refrigerador doméstico donde se muestran las posiciones de las parillas analizar y la posición de los compartimentos.

Instrumentación y mediciones

En el compartimento de alimentos frescos se instalaron 14 termopares de tipo K y 1 termopar en el exterior del refrigerador para medir la temperatura atmosférica. De los cuales 12 se colocaron dentro de contenedores de 0.245 l con una composición de 50% agua y 50% glicol. Los contenedores se distribuyeron sobre las parillas de vidrio y dentro de los contenedores de la puerta y en contenedor de verduras. Finalmente se colocaron 3 termopares libres en las entradas de aire superior, intermedia e inferior.

Las señales de temperatura son registradas y almacenadas por un sistema constituido por una tarjeta de adquisición de datos National Instruments® y una PC con el software LabVIEW

SignalExpress®. Las posiciones de los contenedores se llevaron a cabo de forma que obstruyeran el flujo lo menos posible. Las pruebas tuvieron una duración de 8 horas aproximadamente que es el tiempo en el que se ha alcanzado la estabilidad térmica. Durante este periodo se realizaron mediciones en un intervalo de 30 segundos, esto con las puertas cerradas.

Análisis de CFD

Para el análisis de CFD se tienen dos modelos; la configuración de fábrica donde las posiciones de las parillas son 24.5 y 49.5 cm; y la configuración evaluada cuyas posiciones son 15 cm y 45 cm.

Suposiciones principales

Para el análisis de CFD se tienen las siguientes suposiciones:

1. Se considera un caso de estado estable al considerar una estabilidad térmica luego de 8 horas de funcionamiento, aunque esto no es así por la naturaleza transitoria debida al encendido y apagado del ciclo del compresor.
2. Se considera una condición de operación sin carga.
3. Se considera un sistema completamente hermético sin fugas aire.
4. No se considera la transferencia de calor por radiación dentro del refrigerador.
5. Se considera un flujo turbulento.
6. Se consideran las paredes cercanas al condensador con una temperatura constante.
7. Se considera que no existe transferencia de calor entre el compartimento de alimentos fresco y el congelador.
8. Se consideran uniformes los perfiles de temperatura y velocidad en las entradas.
9. Se considera un coeficiente de transferencia de calor de los alrededores con el sistema de $0.4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, así mismo

una temperatura ambiental constante de 26°C .

10. Se considera una presión atmosférica de 82000 Pa.

Basado en las suposiciones anteriores se considera el modelo de turbulencia K-épsilon ($k-\epsilon$).

Condiciones de frontera

En la tabla 1 se muestran las condiciones de frontera para el compartimento de alimentos frescos. Los valores de los coeficientes de convección externos se toman de la literatura de trabajos similares como una aproximación para este estudio.

En la imagen 3 se visualiza la geometría que se ha generado en el paquete de SolidWorks®, en ella se presentan las condiciones de frontera que se utilizaron. El mallado como la simulación se llevó a cabo en el módulo Flow Simulation®, se utilizaron 500,000 elementos hexaédricos, en la imagen 2 se pueden visualizar la distribución de los elementos.

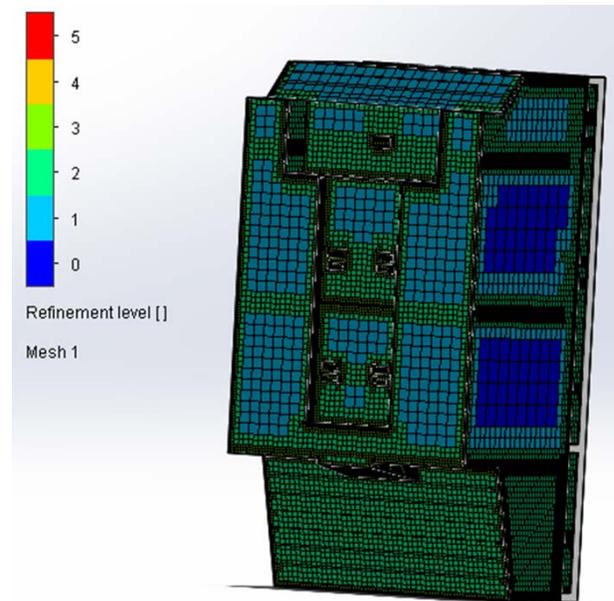


IMAGEN 2. Mallado generado en Flow Simulation®.

Tabla 1: Condiciones de frontera para el compartimiento de alimentos frescos.

Fronteras	Temperatura (k)	Velocidad (m/s)
Pared superior	Adiabática	Sin deslizamiento
Pared lateral 1,2	Convectiva, $T_{\infty}=300$ K, $h_0 =0.4$ W/m ² *K	Sin deslizamiento
Pared frontal, base y trasera	Convectiva, $T_{\infty}=300$ K, $h_0 =0.4$ W/m ² *K	Sin deslizamiento
Pared condensador	Convectiva, $T_{\infty}=307$ K, $h_0 =0.4$ W/m ² *K	Sin deslizamiento
Salida	Gradiente normal nulo	Gradiente normal nulo
Entrada superior	Perfil de temperatura uniforme, $T_{\infty}=273.15$ K	Velocidad de entrada con perfil uniforme, $V_{\infty}=1.1(1i+0j+0k)$ m/s
Entrada intermedia 1	Perfil de temperatura uniforme, $T_{\infty}=270.8$ K	Velocidad de entrada con perfil uniforme, $V_{\infty}=0.1(1i+0j+0k)$ m/s
Entrada intermedia 24	Perfil de temperatura uniforme, $T_{\infty}=270.8$ K	Velocidad de entrada con perfil uniforme, $V_{\infty}=0.5(1i+0j+0k)$ m/s
Entrada intermedia 3	Perfil de temperatura uniforme, $T_{\infty}=270.8$ K	Velocidad de entrada con perfil uniforme, $V_{\infty}=0.4(1i+0j+0k)$ m/s
Entrada inferior 134	Perfil de temperatura uniforme, $T_{\infty}=270.2$ K	Velocidad de entrada con perfil uniforme, $V_{\infty}=0.1(1i+0j+0k)$ m/s
Entrada inferior 2	Perfil de temperatura uniforme, $T_{\infty}=270.2$ K	Velocidad de entrada con perfil uniforme, $V_{\infty}=0.3(1i+0j+0k)$ m/s

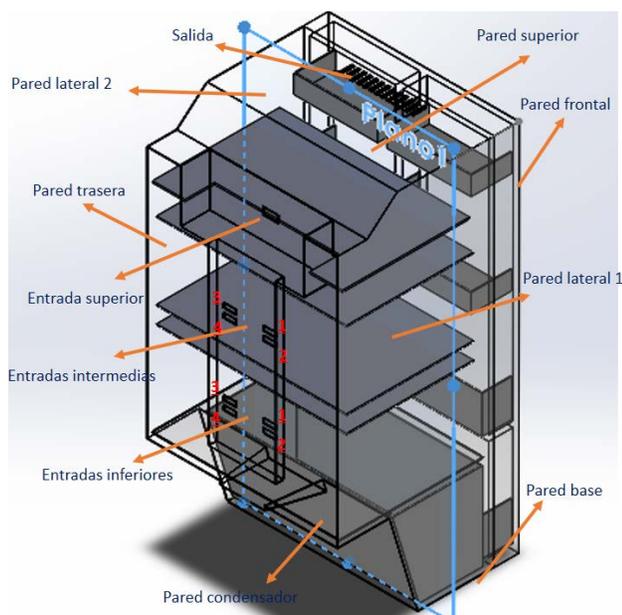


IMAGEN 3. Compartimiento de alimentos, donde se muestran las distintas posiciones de las parillas a analizar en este trabajo, así como la posición del resto de los compartimentos.

Materiales utilizados

Los materiales utilizados se presentan en la tabla 2, haciendo referencia a los compartimentos mostrados en la figura 3.

Tabla 2: Materiales utilizados en la simulación.

Material	Propiedades		
	Conductividad (W/m*K)	Calor específico (J/kg*K)	Densidad (Kg/m ³)
PP	0.147	1881	890
Acrílico	0.21	1500	1200
Vidrio	0.74976	834.61	2457.6
ABS	0.2256	1386	1020

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de las mediciones experimentales se muestran en la tabla 3, en donde hace una comparación con los resultados de la simulación. Además, en la imagen 4 y 5 se muestra el perfil de temperaturas para la configuración de fábrica y la configuración evaluada respectivamente, haciendo referencia al plano 1 mostrado en la imagen 3. Se puede visualizar como la temperatura es más caliente en la parte inferior y superior del refrigerador. Así mismo en las paredes laterales, esto resulta dado que el flujo en esas posiciones es casi nulo. También se visualiza como en el centro la temperatura pegada a la parrilla es la más baja. De ambas configuraciones la que presenta un enfriamiento más aceptable es la configuración de fábrica. En el análisis realizado podemos ver que la comparación de resultados en la configuración evaluada la diferencia no es muy grande, esto

podría suceder ya que para esta configuración se midieron los flujos y las temperaturas a las entradas, mientras que para la configuración de fábrica se tomó de pruebas anteriores realizadas bajo condiciones controladas de temperatura ambiental y humedad relativa. Así mismo la temperatura exterior del condensador se consideró constante. Por lo que vemos temperaturas muy altas en esta parte.

Se tiene una temperatura promedio realizadas total para la configuración de fábrica de 277.43 K y para la configuración evaluada de 278.19 K.

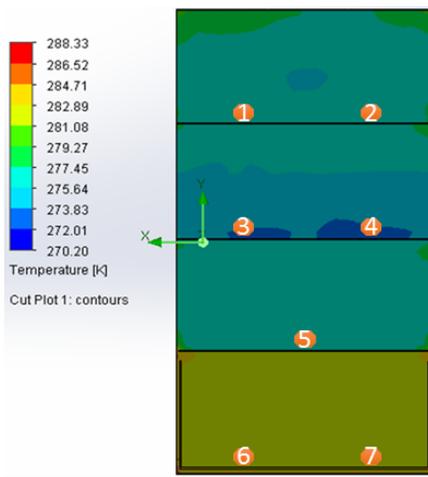


IMAGEN 4. Perfil de temperaturas para la configuración de fábrica de 24.5 y 49.5 cm, mostrada para el plano 1.

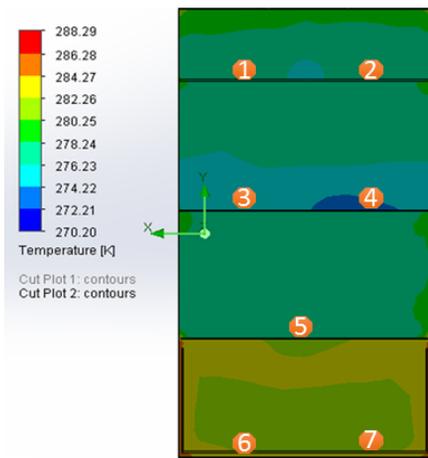


IMAGEN 5. Perfil de temperaturas para la configuración de evaluada de 15 y 45 cm, mostrada para el plano 1.

Tabla 3: Comparación de temperaturas obtenidas experimentalmente y por medio del análisis CFD.

Posición	Configuración fabrica		Configuración evaluada	
	Temperatura experimental (°C)	Temperatura CFD (°C)	Temperatura experimental (°C)	Temperatura CFD (°C)
Parilla 1:1	3.73	2.3	5.14	5.09
Parilla 1:2	3.74	2.3	5.06	5.09
Parilla 2:3	3.45	1.59	3.60	3.08
Parilla 2:4	2.84	1.13	2.27	2.075
Parilla 3:5	3.64	4.3	3.19	4.3
Estante 1:6	6.99	8.83	6.70	9.11
Estante 1:7	7.17	8.83	6.79	9.11
Estante 2:8	5.02	4.82	7.36	6.09
Estante 3:9	4.03	2.23	4.50	2.7
Estante 4:10	2.84	0.94	3.61	2.7
Estante 5:11	7.33	8.41	4.36	7.22

CONCLUSIONES

La distribución de temperatura concuerda con las zonas térmicas, pero no para los valores numéricos obtenidos. Se tienen diferencias de hasta 2.8 K. Sin embargo, se pueden buscar mejoras como la determinación del coeficiente de convección para cada una de las paredes del refrigerador, incluida la pared próxima al condensador. Así como el comportamiento del flujo dentro de los ductos, y parámetros como temperatura del evaporador y velocidad de funcionamiento del ventilador.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesor el Dr. Gallegos Muñoz y al Dr. Belman Flores por sus aportaciones a este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Gupta, Ram Gopal & Chakraborty. (2006). Modeling of a domestic frost-free refrigerator. International Journal of Refrigeration, 30, 311-322.
- [2] H. Avci, D. Kumlutaş, Ö. Özer & M. Özşen. (2016). Optimisation of the design parameters of a domestic refrigerator using CFD and artificial neural networks. International Journal of Refrigeration, 67, 227-238.