

DISEÑO DE COMPARTIMENTO VERSÁTIL DE TEMPERATURA CONTROLADA PARA REFRIGERADOR

CONTROLLED TEMPERATURE VERSATILE COMPARTMENT DESIGN FOR REFRIGERATOR

Kevin Abner Guillén Galicia

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
m1903038@itcelaya.edu.mx

César de Jesús Gutiérrez Pérez Reguera

Mabe Centro de Tecnología y Proyectos, México
cesar.gutierrez_perez@mabe.com.mx

Álvaro Sánchez Rodríguez

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
alvaro.sanchez@itcelaya.edu.mx

Recepción: 2/septiembre/2020

Aceptación: 10/noviembre/2020

Resumen

Este trabajo se realizó con el propósito de reportar mediciones experimentales realizadas en el desarrollo de un compartimento para refrigerador, el cual deberá trabajar a diferentes temperaturas para almacenar alimentos preestablecidos. Se utiliza un modelo térmico mediante analogías eléctricas, el cual requiere de resultados experimentales, para estimar temperaturas internas del compartimento. Utilizando prototipos sencillos y modelado CAD se comparan con pruebas experimentales. El prototipo proporciona una alimentación independiente de aire frío al compartimento, sin afectar la distribución de temperaturas en el FF (Fresh Food, donde se lleva a cabo la refrigeración) y FZ (Freezer, utilizado para la congelación de alimentos); utilizando y dividiendo el ducto para el descenso de aire frío del FZ hacia el FF. Los resultados muestran que es posible tener un compartimento capaz de almacenar alimentos sensibles a la temperatura, en un rango de -1 a 4 °C e incluso a menores.

Palabras clave: compartimento, freezer, fresh food.

Abstract

This work was carried out with the purpose of reporting experimental measurements carried out in the development of a refrigerator compartment, which must work at different temperatures to store pre-established foods. A thermal model is used through electrical analogies, which requires experimental results to estimate internal temperatures of the compartment. Using simple prototypes and CAD modeling they are compared with experimental tests. The prototype provides an independent supply of cold air to the compartment, without affecting the temperature distribution in the FF (Fresh Food, where refrigeration takes place) and FZ (Freezer, used for freezing food); using and dividing the duct for the descent of cold air from the FZ to the FF. The results show that it is possible to have a compartment capable of storing foods sensitive to temperature, in a range of -1 to 4 °C and even lower.

Keywords: *compartment, freezer, fresh food.*

1. Introducción

En la transición del ser humano de nómada a sedentario, el hombre se da cuenta de que puede vivir sin casa, desnudo, pero no sobrevivirá sin alimentos; así comienza a almacenar reservas de alimentos en cuevas frías y en la nieve. Después de mucha observación, pruebas y errores; es cómo surge la ciencia de la conservación de alimentos, ayudando al ser humano a sobrevivir hasta hoy día.

La conservación de alimentos utiliza dos técnicas principales: por calor y por frío. La conservación por frío se desarrolló hasta conseguir cámaras de refrigeración. La refrigeración es una de las principales áreas de aplicación de la termodinámica. Los dispositivos que producen ésta se conocen como *refrigeradores*. Actualmente son tan comunes que es fácil olvidar que comenzaron siendo pequeñas cajas con bloques de hielo para sustituir una fuente independiente de aire frío [1].

La mayoría de los refrigeradores domésticos, en realidad son una combinación de refrigerador-congelador y se diseñan para mantener el compartimento del refrigerador a 3 °C y el congelador a -18 °C [2].

Cuando queremos almacenar un alimento por varios días, recurrimos a la congelación. A menudo percibimos que un alimento congelado durante varios se ve

afectado en su calidad, sobre todo, en su sabor. Los alimentos son tan distintos como sus temperaturas ideales de conservación, pero si se conservan a estas temperaturas se consigue prolongar su vida en almacenamiento, manteniendo su calidad y sin recurrir forzosamente a la congelación. Aunque son muchas las causas que pueden influir de forma negativa sobre la calidad de un alimento y disminuir su grado de aptitud para el consumo humano, un refrigerador puesto a menos de 4.5 °C puede proteger la mayoría de los alimentos.

Una preservación idónea para alimentos sensibles requiere mayor flexibilidad dentro del refrigerador; ya que, la humedad y temperatura de conservación son diferentes para cada alimento. Por ello, marcas líderes en conservación de alimentos ofrecen soluciones para crear entornos idóneos para cada alimento mediante control de humedad y temperatura ajustable para proveer un ambiente para el almacenamiento óptimo de diversos alimentos, con el fin de alargar la vida de los alimentos y poder disponer de ellos en cualquier momento y cantidad incluso fuera de su temporada.

La temperatura y humedad correctas maximizan el tiempo de almacenamiento para carnes, lácteos, frutas, verduras y otros alimentos, logrando que se conserven por más tiempo del que lo harían en un refrigerador doméstico y también conservando perfectamente sus propiedades, nutrientes, vitaminas, minerales además de conservar todo el sabor [3].

El cómo dar una mejor conservación a los alimentos, utilizando diferentes temperaturas en el refrigerador, ha sido estudiado y desarrollado con el paso de los años, algunas de estas soluciones serán mostradas con sus patentes:

- Patente US4732014A (1988). Este compartimento cuenta con aberturas a su alrededor cerca de la pared frontal, provocando una corriente de aire acondicionado a temperatura, que fluye alrededor de la superficie exterior y dentro del compartimento [4].
- Patente US20060086126A1 (2006). Para variar la temperatura, se propone variar el tamaño de cada compartimento a través de separadores posicionables. Preferentemente, cada compartimento deberá tener su propio control de temperatura [5].

- Patente US7475562B2 (2009). Esta patente propone montar un componente de refrigeración adicional únicamente para enfriar el compartimento. Aunque es una buena propuesta, el refrigerador debe ser voluminoso para poder tener un sistema de refrigeración aparte [6].

Una correcta conservación de alimentos implica almacenar cada uno a su temperatura óptimas de conservación. Un espacio dentro del refrigerador capaz de controlar su temperatura interna, dependiendo de los distintos alimentos que ingresen dentro de él, ofrece al usuario organización, ahorro de recursos y practicidad a la hora de almacenar, sin perder su enfoque principal, la conservación ideal. Con el desarrollo de este proyecto se pueden reducir desperdicios alimenticios dentro del hogar y todas las pérdidas de recursos que esto conlleva.

El propósito de este artículo es el de exponer pruebas experimentales realizadas a prototipos de compartimento en un refrigerador “top mount”, comprobando su factibilidad y desempeño, realizando las modificaciones mínimas posibles para su diseño, garantizando que se cubran las necesidades del usuario y el correcto funcionamiento del refrigerador-compartimento-congelador. Se proponen dos posiciones para experimentar con el compartimento, intentando encontrar la posición idónea y el de mejor desempeño. El hecho de agregar un compartimento al refrigerador implica alteraciones no contempladas en el diseño original; por ello, al final del texto se realizan propuestas de solución para ser expuestas al equipo de diseño industrial, intentando mantener la distribución de temperaturas, afectando en lo mínimo al diseño comercial.

2. Métodos

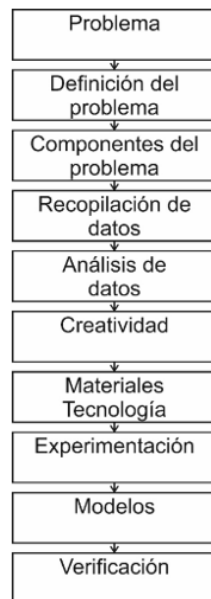
El proceso de diseño comienza cuando se reconoce una necesidad y se decide solventarla [7]. Las temperaturas de trabajo del compartimento dependen de los alimentos; estos alimentos además de ser los más susceptibles a los cambios de temperatura, son a los cuales se destina mayor porcentaje del gasto de un mexicano promedio. La tabla 1, muestra la temperatura ideal de conservación de los alimentos que se pretenden configurar en el compartimento, por lo tanto, son temperaturas

que deben ser alcanzadas en el interior. Es importante conseguir que el compartimento trabaje en armonía con todos los componentes del refrigerador doméstico, pero de manera muy concreta, debe trabajar con el refrigerador y el congelador, alcanzando las temperaturas internas deseadas, sin afectar la distribución de temperaturas en otras zonas.

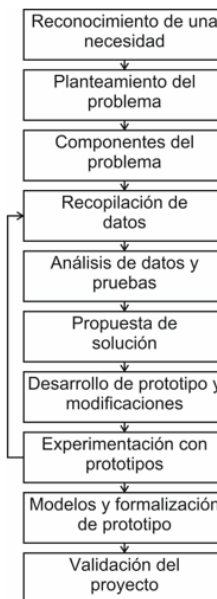
El compartimento cambiará su temperatura según el alimento almacenado en su interior que sea especificado; manteniendo una temperatura promedio de 3 °C en el FF y de -18 °C en el FZ. En la figura 1 se desglosan las etapas del proyecto, con base en la metodología de Bruno Munari [8]. La metodología de Munari es una metodología proyectual; donde la experiencia ordena de manera lógica una serie de operaciones necesarias. De este modo se consigue el máximo resultado, empleando el esfuerzo mínimo.

Tabla 1 Alimentos y temperaturas ideales de conservación.

Tipo de alimentos	Temperatura de conservación (°C)
Carnes	0
Lácteos	3
Bebidas	1
Embutidos	4



a) Metodología de diseño por Bruno Munari



b) Proceso de diseño desarrollado

Figura 1 Comparativa entre metodologías de diseño.

Necesidad y planteamiento del problema

La identificación y definición del problema estaban definidas al comenzar el proyecto, se requiere un espacio capaz de modificar su temperatura dependiendo del alimento que se desee almacenar. Su desarrollo viene dado por el deseo de tener alimentos almacenados por más tiempo, sin que pierdan calidad, incluso si están fuera de temporada.

Para encontrar la necesidad, se realizó un estudio llamado *Resonancia 2019*; este estudio se hizo con usuarios diferentes en costumbres, edades y situados en distintos lugares, donde se encontraron los problemas que enfrentan al querer conservar sus alimentos, de entre ellos se destacan los siguientes:

- Degradación más rápida en la calidad de alimentos preparados que en ingredientes individuales.
- Bebidas: Conservación de pulpas para preparar bebidas naturales y enfriamiento de bebidas sin utilizar hielos.
- Contaminación cruzada.
- Técnicas de congelado y descongelado conservando calidad de los alimentos.
- Conservación de frutas y verduras con calidad y practicidad.

La mayoría de estas dolencias se resuelven al conseguir la conservación ideal otorgada por el compartimento versátil.

Componentes del problema

Se podría decir que todo el refrigerador es en sí, el problema, pero hay componentes de los cuales no se puede disponer con libertad, como el compresor o el evaporador. Se destacan tres componentes principales del problema, el FZ, el FF y termistor que controla a todo el refrigerador, estos componentes deben trabajar en armonía con el compartimento que será anexado. Para evitar confusiones, en la figura 2, se aprecia mejor la ubicación del FZ y el FF en un refrigerador “top mount”. El termistor es un elemento que detecta la temperatura a través de cambios en su resistencia, según el frío o el calor detectado, generalmente, su resistencia disminuye cuando la temperatura aumenta.



Congelador o Freezer (FZ):

- Temperatura promedio: -18 °C
- Almacena alimentos por un largo período de tiempo
- Ayuda a enfriar el FF

Refrigerador o Fresh Food (FF):

- Temperatura promedio: 4.5 °C
- Almacena alimentos delicados de consumo frecuente
- Aquí se ubica el termistor

Figura 2 Esquema de refrigerador "top mount".

Recopilación y análisis de datos

El cómo variar temperaturas en diferentes sectores del refrigerador es un tema en el que se ha experimentado con antelación. La búsqueda de estos reportes de laboratorio resulta relevante para saber cómo lograr un cambio en la temperatura y qué valor de esta podríamos llegar a alcanzar; las bases de datos de refrigeradores comerciales sirven para conocer cómo están distribuidas las temperaturas internas en un refrigerador sin alteraciones. Estos reportes deben ser comparados con los resultados obtenidos en nuevas experimentaciones, de este modo, se identifica el momento para detener una prueba si no da los resultados esperados o cuando una modificación es un avance en el desarrollo.

Propuesta de solución y modificaciones

La parte creativa es puesta en práctica durante todo el proceso, pero toma forma en el desarrollo del prototipo y la experimentación. La experimentación nos muestra qué modificación fue funcional y si podemos seguir trabajando con ella; si la modificación no es funcional, se proponen y elaboran modificaciones necesarias para solventar los conflictos que vayan surgiendo. Los materiales tienen que ser de lo más similares a los que utiliza el refrigerador, en este caso, el prototipo debe ser elaborado de aislantes térmicos y materiales rígidos. Aunque la estética no sea la mejor, es importante tener resultados y prototipos rápidos.

Desarrollo de prototipos

En esta etapa, no se descartan posibles soluciones, se experimenta con prototipos sencillos que son elaborados de manera rápida. Considerando que el material debe ser un aislante térmico, capaz de mantener temperaturas internas estables sin verse afectado por temperaturas externas, se utiliza EPS de 2 centímetros de espesor para formar la estructura del compartimento.

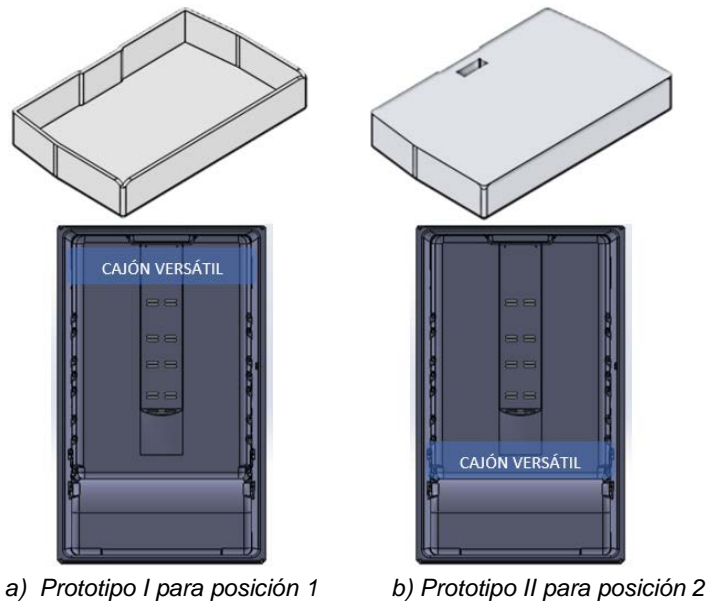
Los prototipos se prueban en cámaras que trabajan 24 horas al día; estas cámaras califican gran parte del funcionamiento del refrigerador al simular distintos ambientes, cuando hay apagones o entran en mantenimiento, no es posible seguir realizando pruebas. La cámara utilizada para probar el prototipo trabajó a una temperatura de 32 °C y una humedad relativa del 60%.

El informe de resultados de dichas pruebas puede ser de hasta dos días, ya que la prueba se centra en el estado estable del refrigerador, para alcanzar esta estabilidad la temperatura no debe variar más de 0.5 °C durante 5 horas o seis ciclos consecutivos del compresor, durante toda la prueba no se deben abrir las puertas. Adicionalmente, debemos tener en cuenta que el equilibrio térmico se alcanza después de 16 horas continuas de trabajo y la elaboración del reporte de pruebas dependerá del trabajo acumulado del ingeniero de evaluación. Por esta razón, es importante tener bien definidas las modificaciones en los prototipos, un pequeño cambio dará un resultado completamente distinto que tomará varias horas para verse reflejado en el reporte de pruebas.

Las medidas aproximadas de los prototipos son de 62 centímetros de ancho, 40 centímetros de largo y 10 centímetros de alto, tiene que ser lo suficientemente grandes para almacenar cajas de pizza, conos de huevo o recipientes de medio litro. La figura 3 muestra los prototipos realizados acorde a la posición que tendrán dentro del refrigerador.

Para el Prototipo II, el aire frío fue dirigido con dos ductos distintos, las cuales se mostrarán más adelante. Un ducto de mayor longitud fue utilizado para incrementar la cantidad de aire dirigida hacia el Prototipo II, repercutiendo directamente en la temperatura interna. Como ya se mencionó, cualquier cambio afecta en los resultados finales, aunque el compartimento sea el mismo. La segunda posición es

una recomendación con base en la simulación CFD, ésta indica que en esta posición está la zona más fría de todo el refrigerador, también se toma en cuenta que la implementación del compartimento en esa zona no implica muchos cambios al diseño original.



a) Prototipo I para posición 1 b) Prototipo II para posición 2

Figura 3 Representación de los prototipos realizados.

Al modificar la posición, las entradas y salidas de calor cambian, por ende, la temperatura interna final también se ve alterada, lo cual también debe ser considerado para un modelo teórico. A continuación, se muestran las posiciones en las que fueron probados los prototipos:

La figura 4 muestra las dos posiciones utilizadas para los prototipos del compartimento, pero también es posible apreciar cómo se da el flujo de aire dentro del refrigerador:

- Las líneas **azules** muestran el aire que sale directamente del evaporador y circula dentro del FZ.
- Las líneas **rojas** representan el aire que se deposita en la parte más baja del FZ, en esta zona se encuentra un ducto que conecta al FF con el FZ.
- Las líneas **naranjas** muestran de manera gráfica cómo se distribuye todo el aire que desciende del FZ (líneas **rojas**) y enfría todo el FF.

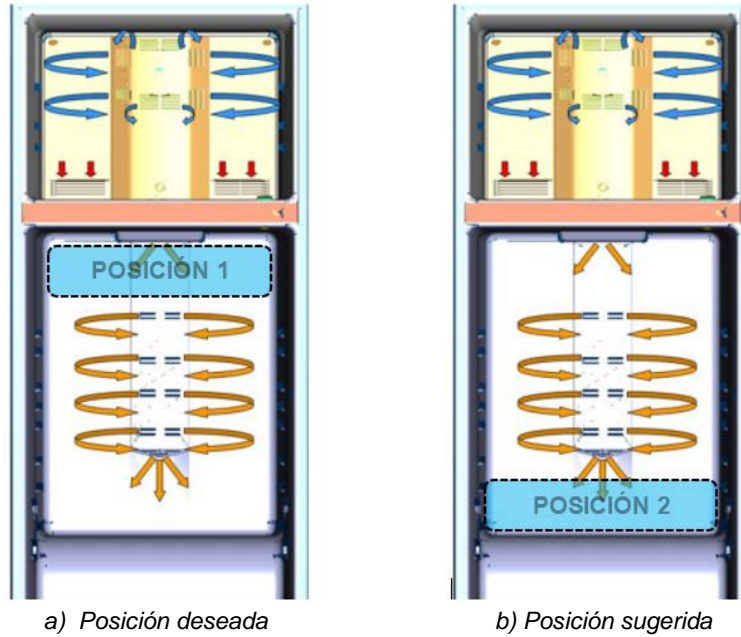


Figura 4 Posiciones utilizadas para pruebas de prototipos.

Modelo teórico

Un buen diseño va acompañado de teoría, se realiza un modelo térmico en estado estacionario, utilizando analogías eléctricas, para realizar cálculos predictivos y modelar el comportamiento físico del compartimento. El modelo utiliza datos obtenidos de manera experimental y calcula la temperatura interna del compartimento, habiendo hecho estos cálculos se verifica la temperatura interna del compartimento con el reporte de laboratorio de las pruebas experimentales. Realizar un modelo en estado estacionario es más simple de elaborar, pero un refrigerador funcionando es un modelo transitorio, para intentar modelarlo en estado estacionario, se debe sellar completamente el compartimento, sobre todo la descarga del FZ, evitando que existan transferencias de masa. Para la predicción de temperaturas, se utilizaron los siguientes mecanismos de transferencia de calor:

- Conducción: La razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa [9], ecuación 1.

$$\dot{Q}_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad (1)$$

Donde:

k : Conductividad térmica

A : Área

T_1 : Temperatura 1

T_2 : Temperatura 2

Δx : Espesor

\dot{Q}_{cond} : Razón de conducción de calor

- Convección: La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos [9], ecuación 2.

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (2)$$

Donde:

h : Coeficiente de transferencia de calor por convección

A_s : Área superficial

T_s : Temperatura de la superficie

T_∞ : Temperatura del fluido

\dot{Q}_{conv} : Transferencia de calor por convección.

Los datos para los coeficientes de convección h y las conductividades térmicas k varían dependiendo de la cara del refrigerador, las resistencias térmicas totales utilizadas para el modelo se muestran en la figura 5.

$R_1=18.24739 \text{ }^\circ\text{C/W}$

$R_2=790.9091 \text{ }^\circ\text{C/W}$

$R_3=1245.681 \text{ }^\circ\text{C/W}$

$R_4=1245.681 \text{ }^\circ\text{C/W}$

$R_6(FR)=3.3271 \text{ }^\circ\text{C/W}$

$R_5(FZ)=195.64 \text{ }^\circ\text{C/W}$

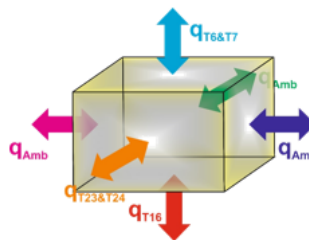


Figura 5 Resistencias térmicas y esquema del compartimento.

La ecuación 3 fue utilizada para determinar la transferencia de calor a través de las paredes planas de capas múltiples del compartimento, resolviendo para $T_{\infty x}$ es

posible estimar la temperatura interna del compartimento, y, comparada con pruebas experimentales, verificar que sea cercana. Esta temperatura es medida con la ayuda de un termopar soldado a una masa de cobre colocada dentro del compartimento.

$$\frac{T_{\infty 23\&24} - T_{\infty x}}{R_{Total\ 1}} + \frac{T_{\infty Amb} - T_{\infty x}}{R_{Total\ 2}} + \frac{T_{\infty Amb} - T_{\infty x}}{R_{Total\ 3}} + \frac{T_{\infty Amb} - T_{\infty x}}{R_{Total\ 4}} + \frac{T_{\infty 6\&7} - T_{\infty x}}{R_{Total\ 5}} + \frac{T_{\infty 16} - T_{\infty x}}{R_{Total\ 6}} = 0 \quad (3)$$

Las letras T representan temperaturas leídas por los diferentes termopares utilizados para monitorear las temperaturas dentro del refrigerador, los números que acompañan a la letra indican el número de termopar, se enumeran para facilitar su ubicación dentro del refrigerador. La letra R es el valor de la resistencia térmica de los diferentes materiales que componen las paredes. Aunque un refrigerador está compuesto de más materiales, el modelo se simplificó omitiendo algunos de éstos por su poca repercusión en el resultado final cuando eran añadidos.

Análisis experimental

Para verificar la funcionalidad del congelador-compartimento-refrigerador, se utilizan pruebas donde el refrigerador permanece cerrado desde que comienza, hasta que concluye la prueba. La temperatura es medida con termopares posicionados de manera ordenada en todo el interior del refrigerador; los termopares son elementos de medición formados por la unión de dos metales, capaces de convertir una energía de entrada, en otra de salida totalmente diferente. Intentando tener un estado estacionario para el compartimento durante las pruebas al refrigerador, se sellan todas las salidas y entradas de flujo másico para que no exista ningún tipo de intercambio de masas.

Los resultados obtenidos con las pruebas del conjunto se comparan con datos de una línea base, los cuales son obtenidos con antelación para verificar el desempeño de la unidad comercial.

El refrigerador trabaja en distintas configuraciones, se describen a continuación las más usadas para realizar experimentación:

- MID-MID: El damper empleado para enfriar FZ y FF está abierto en posición media para la distribución de aire frío.
- MIN-MIN: El damper empleado para enfriar FZ y FF está abierto en posición mínima, permitiendo el flujo mínimo de aire dentro de la unidad.
- MAX-MAX: El damper empleado para enfriar FZ y FF está abierto en posición máxima, el flujo de aire para el enfriamiento en ambos compartimentos es máximo.

Habiendo comparado resultados entre pruebas, se decide sobre las modificaciones que serán empleadas para conseguir los resultados esperados. Las modificaciones de mayor impacto son las que tienen que ver en cómo controlar la cantidad de aire frío para poder variar la temperatura y cómo dirigir esta cantidad hacia el compartimento y el FF. Lo ideal es tener una cantidad de aire fría destinada únicamente para el compartimento, manteniendo la cantidad dirigida al FF intacta.

Formalización y validación

Cuando se encuentra el prototipo que solventa la problemática, se puede modelar un prototipo formal utilizando un programa CAD, garantizando que se respeten geometrías y tolerancias para la estructura interna del refrigerador, con esta modelación, es posible realizar simulación CFD, permitiendo ahorrar tiempo y recursos en experimentación.

La ubicación en sí es un problema que hay que resolver; la primera suposición fue que, al tenerlo en la posición 1, sería más fácil alcanzar temperaturas menores.

La unidad de refrigeración, Sirius 510, cuenta con una descarga principal de aire frío para todo el FF, la cual estaría obstruida completamente por el compartimento, calentando el FF y haciendo que éste pierda su función. Además, la posición 1 del compartimento, coincide con la posición del termistor, generando un problema en para medir la temperatura dentro del FF y en el control.

En este refrigerador, el termistor controla las temperaturas del FF, cuando éste alcanza la temperatura deseada, la temperatura del FZ se ajusta en automático basada en la lectura tomada por el termistor ubicado en el FF. Tener el

compartimento en esa posición encierra y altera todo el control de la unidad, haciendo que el compartimento esté frío y que el resto de las zonas del refrigerador eleven su temperatura por no recibir la cantidad necesaria de aire frío para alcanzar temperaturas de conservación.

Se busca generar las modificaciones mínimas posibles, se propone realizar una alimentación independiente para el compartimento utilizando la única descarga con la que cuenta la unidad. Para enfriar completamente el FF se utiliza todo el aire frío que desciende del FZ a través del ducto que conecta a ambas zonas, por lo que utilizar toda esa cantidad de aire frío para un compartimento mucho más pequeño no es factible. Para dividir ese flujo, se realizó un ducto que tuviera dos salidas y una sola entrada; una salida alimentará el compartimento y la otra seguirá enfriando el FF. La figura 6 muestra el prototipo modelado en base a la estructura interna del refrigerador y el ducto encargado de su alimentación. Los modelos se simplificaron para las simulaciones presentadas más adelante, con el fin de permitirle a la máquina realizar los cálculos pertinentes con mayor facilidad.

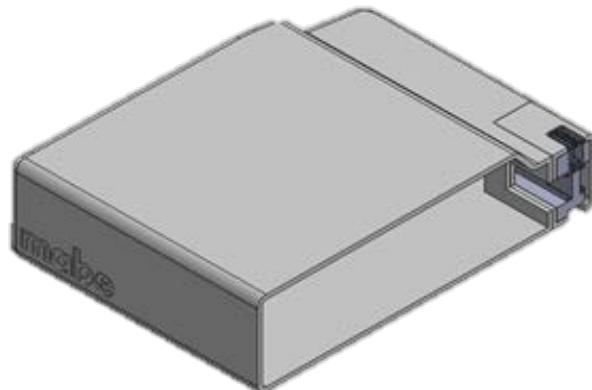


Figura 6 Vista isométrica con corte de sección de prototipo final.

En la figura 7 se puede apreciar el ducto ensamblado, su función es dividir el flujo de aire frío para alimentar tanto al FF como al compartimento, en distintos porcentajes. Para la experimentación, el prototipo tendrá un divisor de aire con tres configuraciones: $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{2}{3}$, dichas configuraciones pretenden dirigir el aire hacia el compartimento con una placa móvil para tener, ya sea 33, 50 o 66%, del aire frío total descendente del FZ dentro del compartimento, el resto será dirigido al FF.

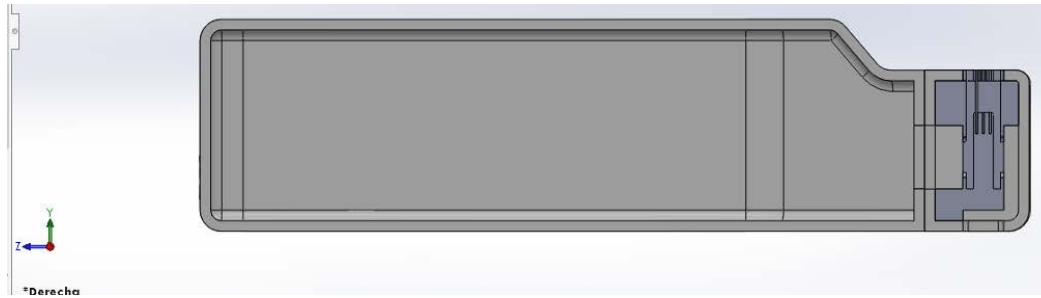


Figura 7 Vista lateral con corte de sección para apreciar el divisor de flujo.

Para facilitar la simulación, únicamente se simula el descenso y la distribución del aire frío descargado del FZ hacia el FF y el compartimento. La cantidad de aire frío que desciende al FF es un tanto incierta. Existen estimaciones imprecisas para esta cantidad, la simulación solo comprueba que el ducto sea capaz de dividir el flujo, ya que esa es la función para la que fue diseñado.

Los modelos CAD, utilizados para la producción de modelos comerciales, permiten realizar un modelo para el compartimento que ensamble de manera correcta con los demás componentes, ya que respeta las formas y dimensiones del refrigerador. Los prototipos rápidos fueron útiles, pero ninguno estaba adaptado para la geometría interna del refrigerador. La simulación mostrada en la figura 8 muestra cómo se dirige $\frac{1}{3}$ del aire frío proveniente del FZ hacia el compartimento, los $\frac{2}{3}$ restantes son dirigidos al FF.

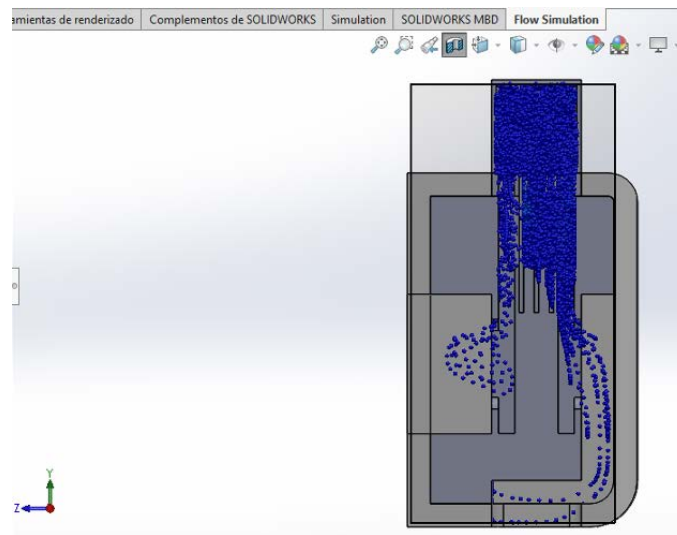


Figura 8 Simulación de flujo para dirigir $\frac{1}{3}$ de aire frío al compartimento.

La figura 9 muestra el flujo de aire frío simulado cuando la descarga está dividida a la mitad, esto quiere decir que 50% del aire frío será destinado al compartimento.

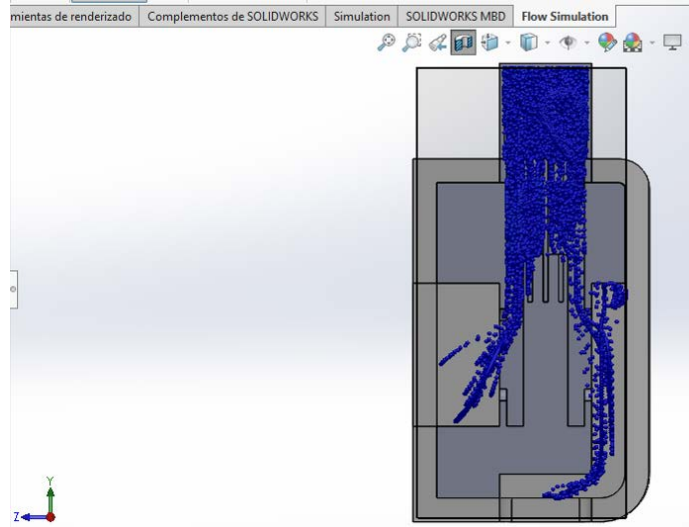


Figura 9 Simulación de flujo para dirigir $\frac{1}{2}$ de aire frío al compartimento.

3. Resultados

Las pruebas experimentales mostraron que la temperatura interna de los prototipos propuestos para el compartimento estuvo dentro del rango deseado. Para poder graficar el comportamiento de los prototipos, se abrió una ranura en todos, permitiendo el intercambio de masa. Posteriormente, el material retirado en la creación de la ranura fue dividido en cuatro partes iguales, con esto se fue obstruyendo el espacio libre creado, permitiendo controlar el intercambio de masa. En gráficos de comportamiento, se podrán apreciar las obstrucciones:

- 0: Ranura completamente abierta.
- $\frac{1}{4}$: Ranura obstruida por un cuarto de material.
- $\frac{1}{2}$: Ranura obstruida por un medio de material.
- $\frac{3}{4}$: Ranura obstruida por tres cuartos de material.
- 1: Ranura completamente obstruida.

En la figura 10, 11 y 12, se muestra gráficamente las temperaturas obtenidas de manera experimental en cada prototipo:

- **Prototipo I:** El rango de temperaturas alcanzado fue de: **[-1.87,-3.01] °C.**
- **Prototipo II:** El rango de temperaturas alcanzado fue de: **[0.41, -1.81] °C.**
- **Prototipo III:** El rango de temperaturas alcanzado fue de: **[-1.42,-6.43] °C.**

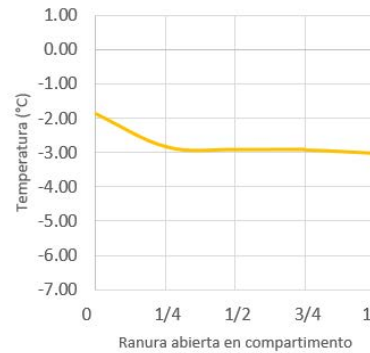
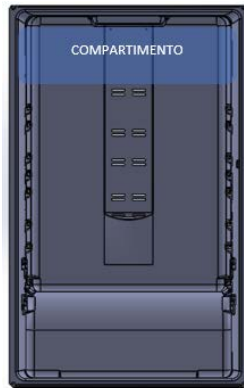


Figura 10 Prototipo I con gráfica de comportamiento.

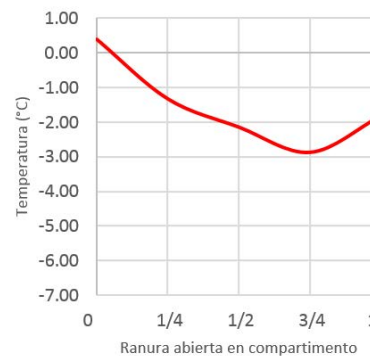


Figura 11 Prototipo II con gráfica de comportamiento.

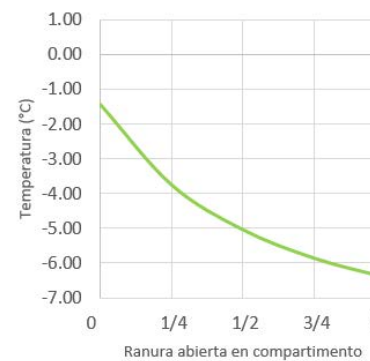


Figura 12 Prototipo III con gráfica de comportamiento.

Prototipo II y Prototipo III comparten ubicación, pero son alimentados de manera distinta. Las figuras 11 y 12 muestran con amarillo la diferencia en longitud entre los ductos que dirigen el aire hacia el interior del compartimento. El Prototipo III utilizó un ducto de mayor longitud, cubriendo más ranuras de enfriamiento, por lo tanto, se le dirigía mayor cantidad de aire; lo que lo llevó a alcanzar temperaturas menores en su interior, comparado con Prototipo II. Al estar ubicado en la zona más fría del FF y tener una buena cantidad de aire frío dirigido hacia su interior, también alcanzó temperaturas menores de las registradas en Prototipo I.

A pesar de tener temperaturas más bajas en el Prototipo III, se opta por trabajar con el Prototipo I porque es donde el usuario percibe un ahorro de espacio en su refrigerador. El producto final debe satisfacer no solo el rango temperatura para los alimentos, también deberá tener un enfoque al usuario y cumplir requisitos estéticos muy importantes para la decantación en la selección y adquisición del producto.

Hipótesis: La ubicación¹ del compartimento tendrá un alto impacto sobre el FF. Para enfriar el compartimento se requiere una fracción menor a la utilizada en el FF, enfriarlos de manera independiente ayudará a mantener la distribución de temperaturas y facilitará el control para la unidad.

Utilizando posición media y posición mínima del refrigerador, con la cámara simulando un ambiente a 32 °C y con una humedad relativa del 60%; se realizan pruebas experimentales, a Prototipo I, para corroborar el modelo teórico. La tabla 2, muestra los resultados obtenidos en las pruebas y los resultados estimados por el modelo teórico.

Tabla 2 Posiciones utilizadas para pruebas y resultados obtenidos.

MID-MID		MIN-MIN	
Calculado	4.20 °C	Calculado	6.71 °C
Real	4.52 °C	Real	6.26 °C

La figura 13 muestra los resultados obtenidos al finalizar las pruebas, además permite observar el grado de imprecisión del modelo teórico; como ya se mencionó, varias resistencias térmicas fueron despreciadas por el poco impacto que tenían en los resultados finales.

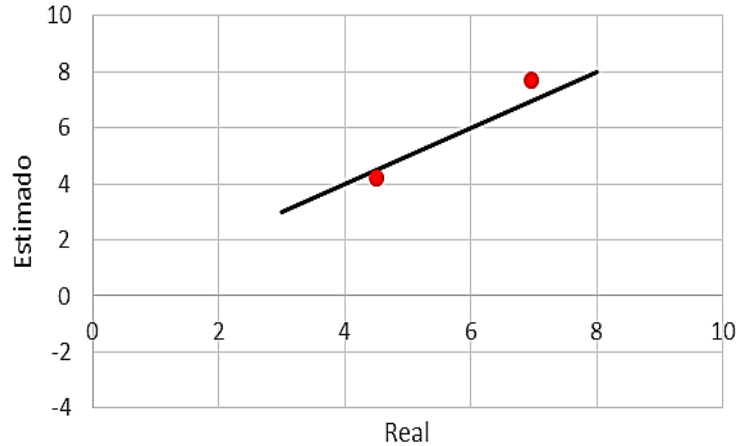


Figura 13 Gráfico de temperatura real contra estimada.

La temperatura ambiental simulada por las cámaras donde se realizan las pruebas puede ser modificada para graficar más puntos, pero esto implica trasladar la unidad a diferentes cámaras, extendiendo el tiempo entre pruebas y también la entrega de sus respectivos reportes.

En la tabla 3, se muestra una comparativa entre las actividades realizadas, con rojo se muestran los puntos débiles o resultados incorrectos; con verde se destacan los resultados correctos o las ventajas de dichas actividades. Las actividades realizadas son complementarias y necesarias para el correcto desarrollo del proyecto.

Tabla 3 Tabla comparativa de actividades realizadas.

Modelación teórica y diseño asistido por computadora		Modelación y pruebas experimentales	
Resultado			
Red de resistencias térmicas	MID: 4.20 °C	Prueba de NDO con masa de cobre	MID: 4.52 °C
	MIN: 6.71 °C		MN: 6.26 °C
Simulación CFD aire dentro del ducto	División correcta, controlable, medible y visible de caudal	Prototipo de ducto montado en el refrigerador	División y medición imprecisa de caudal

Muchos factores pueden influir en la temperatura final, sellar bien el compartimento también es parte fundamental en la experimentación para tener resultados precisos, también es importante que la masa de cobre se mantenga en la misma posición durante toda la prueba, su sujeción debe ser idónea.

4. Conclusiones

Propuesta de diseño: Un compartimento fabricado de un material aislante térmicamente, el más utilizado es el EPS, debe ser modelado con base en la estructura interna del refrigerador, además contará con un ducto para dividir la descarga del FZ, consiguiendo enfriar el FF y el compartimento al mismo tiempo.

Los prototipos rápidos realizados con EPS son funcionales, pero no están acoplados a la compleja geometría interna del refrigerador, se requieren filetes y chaflanes que son difíciles de replicar de forma manual en prototipos rápidos. Aunado a ello, si se quiere tener trabajando al FZ-compartimento-FF, se debe incorporar el ducto divisor de caudal y aunque se pueden tomar medidas con instrumentos de medición para hacer un prototipo rápido, el grado de dificultad es elevado. La complejidad del ducto es mayor en el ensamble, con un prototipo rápido es muy complicado ensamblarlo dentro del FF y saber en qué porcentaje dividió la descarga del FZ.

El diseño asistido por computadora potenció y facilitó el ensamble, además, verificó el correcto funcionamiento del compartimento cuando tiene incorporado el ducto. Tomando las bases de datos existentes, el dibujo, la medición de dimensiones y las modificaciones resultan sencillas. El ensamble y la simulación CFD nos permiten ver cómo se da la distribución de aire frío y cómo dirigirlo para satisfacer el rango de temperaturas necesario, sin la asistencia por computadora resulta muy complicado elaborar, ensamblar y verificar todas estas modificaciones de manera manual y visual. Se deben realizar modelos respetando todas las medidas, ya que, deben ser ensamblados y cumplir su función de manera correcta.

La ubicación del compartimento demanda reubicar el termistor principal; para definir su nueva mejor ubicación, se debe ubicar en posiciones donde pueda medir la temperatura del refrigerador sin recibir de manera directa el aire frío del FZ, este proceso puede ser tardado; colocarlo cerca de la descarga de aire dirigida hacia el FF como lo encontramos en la versión comercial será un buen punto de inicio. Para encontrar la posición adecuada, se deben realizar pruebas de NDO, verificando y comparando las lecturas de los termopares entre pruebas realizadas con la línea base, esto se hará con cada nueva ubicación que el termistor pudiese tomar. Además, se debe aumentar la cantidad de cfm (cubic feet per minute) disponibles

en la versión comercial para no afectar el desempeño del refrigerador con el compartimento adicional. El ducto se encargará de dividir y dirigir el volumen de aire frío descargado por el FZ hacia el FF y el compartimento; pero se debe disponer una cantidad extra determinada de aire frío para uso exclusivo del compartimento, de este modo no será restado volumen del utilizado por el FF y el desempeño de la unidad podrá mantenerse estable, enfriando todas las zonas y compartimentos del refrigerador.

Es necesario realizar una simulación CFD con todos los elementos del refrigerador y del compartimento, utilizando la cantidad exacta de aire descargado del FZ, con el fin de determinar la cantidad necesaria utilizada por el compartimento para alcanzar las temperaturas de conservación requeridas. Con estos resultados se conocerá cuánto volumen de aire frío tendrá que ser añadido.

Para ayudar a la estimación de temperaturas, se debe considerar un modelo en estado transitorio, agregando al modelo en estado estacionario la descarga de aire frío hacia el FF y el perfil de temperaturas que tuvo el refrigerador durante toda la prueba. Los datos para complementar el modelo serán conseguidos de manera experimental o con simulación. Las modificaciones son necesarias e indispensables, no es posible únicamente montar el compartimento, si se quiere mantener el desempeño de la unidad hay que modificar el prototipo y la unidad. Aunque estas adecuaciones buscan ser mínimas, desarrollar el prototipo implica muchos más cambios, sobre todo si se le quiere llevar a una versión comercial. Desarrollar el compartimento conlleva mucho trabajo de ingeniería. Sin embargo, al ser implementado en refrigeradores con las características ya mencionadas, se beneficiarán familias que no pueden adquirir tecnología de alta gama; ayudando a conservar sus alimentos en óptimas condiciones para su consumo durante más tiempo y reduciendo desperdicios; esto se traduce en un beneficio económico gracias al completo aprovechamiento de los alimentos perecederos.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Çengel, Y. (2012). *Termodinámica* (7ª edición). México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, SA de CV.

- [2] Mora Ranera S. (2019). UF-1356 Control de la conservación de los alimentos para el consumo y distribución comercial (3ª edición). España: Editorial Elearning, S.L.
- [3] Muñumel J. (2007). Cocina y Pastelería. Sistemas y Métodos de Conservación (2ª edición). Madrid: Ediciones NORMA-CAPITEL.
- [4] Frohbieter E. (1988). Temperature Controlled Compartment for a Refrigerator PatentE EE.UU. US4732014A. Benton Harbor, Mich (US): Oficina de Patentes y Marcas de EE.UU.
- [5] Montuoro L. (2006). Convertible Refrigerator/Freezer Patente EE.UU. US20060086126A1. Cedar Rapids, IA (US): Oficina de Patentes y Marcas de EE.UU.
- [6] Jackovin G. (2009). Ice Storage Drawer for a Bottom Mount Refrigerator Patente EE.UU. US7475562B2. Akeny, IA (US): Oficina de Patentes y Marcas de EE.UU.
- [7] Budynas R. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (9ª edición). México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. DE C.V.
- [8] Munari B. (2016). ¿Cómo nacen los objetos? Apuntes para una metodología proyectual (2ª edición). Barcelona: Editorial Gustavo Gilí.
- [9] Çengel, Y. (2007). Transferencia de Calor Y Masa. Un enfoque práctico (3ª edición). México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, SA de CV.