

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Estudio comparativo de métodos para medición de eficiencia energética en los refrigeradores domésticos por medio de análisis en documentos científicos y pruebas documentadas.

Jaime Duván Herrera
Johan Duvalier Velásquez Castaño
Domingo Carlos Vergara Arrieta

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título
de:
Ingeniero Electromecánico

Asesor(es)
I.M Adrián Felipe Martínez Pérez

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM
Facultad de Ingenierías
Departamento de Mecatrónica y Electromecánica
Medellín, Colombia
2021

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

RESUMEN

Los estudiantes de ingeniería electromecánica del Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM); presentamos el siguiente trabajo de grado en un estudio comparativo de métodos para medición de eficiencia energética en los refrigeradores domésticos por medio de análisis en documentos científicos y pruebas documentadas. Se pretende con este análisis demostrar como en los hogares el refrigerador es el elemento de mayor consumo de energía, este la utiliza para conservar los alimentos y al ser empleada de manera eficiente en los equipos genera ahorro en dinero. Se realizó una revisión bibliográfica sobre métodos para medición de eficiencia energética en los refrigeradores domésticos con las tendencias y aplicaciones a niveles residenciales en diferentes bases de datos, analizando artículos científicos, tesis de grados y textos que se relacionan con el tema que brindan estudios y pruebas las cuales serán citadas más adelante. Su objetivo fue describir con diversas pruebas realizadas a los refrigeradores, la eficiencia y el mejor consumo energético para un equipo nuevo y/o usado. Un mejor consumo de energía está conectado a la eficiencia energética. De esta forma, a mayor consumo energético, menor es la eficiencia, y, por lo tanto, menor es también el ahorro en las facturas. Los resultados obtenidos sobre las pruebas demuestran que el modelo básico ha sido extensamente investigado y se logró profundizar en la gran variedad de métodos de prueba para medir la pérdida de eficiencia en aperturas de puertas del 22%, paredes del 36% y sellos magnéticos del 7% en los equipos y como mejorar el uso de estos sistemas a nivel mundial.

Palabras clave: Eficiencia Energética, Refrigeradores Domésticos, Consumo Energético, pérdida eficiencia.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

RECONOCIMIENTOS

“Adrián Felipe Martínez Pérez. Ingeniero Mecánico. Sin usted y sus virtudes, su paciencia y constancia en este trabajo no lo hubiésemos logrado. Sus consejos fueron siempre útiles cuando no salían los pensamientos, las ideas para escribir lo que hoy hemos logrado. Usted formó parte importante de esta historia con sus aportes profesionales que lo caracterizan. Muchas gracias por sus múltiples palabras de aliento; por estar allí cuando nuestras horas de trabajo se hacían confusas. Gracias por sus orientaciones”

A nuestros docentes; sus palabras fueron sabias, sus conocimientos rigurosos y precisos, a ustedes les debemos nuestros conocimientos. Donde quiera que vayamos, los llevaremos en nuestra vida profesional. Gracias por su paciencia, por compartir sus conocimientos de manera profesional e invaluable, por su dedicación, perseverancia y tolerancia.

A nuestros padres, esposas e hijos; Ustedes han sido siempre el motor que impulsa nuestros sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a nuestro lado en los días y noches más difíciles durante horas de estudio. Siempre han sido nuestros mejores guías de vida. Les dedicamos a ustedes este logro amados seres queridos, como una meta más conquistada. Orgullosos que estén a nuestro lado en este momento tan importante.

Mis amigos y compañeros de ingeniería, hoy culminamos esta maravillosa aventura y no puedo dejar de recordar cuantas tardes y horas de trabajo nos juntamos a lo largo de nuestra formación. Hoy nos toca cerrar un capítulo maravilloso en esta historia de vida y no podemos dejar de agradecer por su apoyo y constancia, al estar en las horas más difíciles.

¡Gracias!

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ACRÓNIMOS

°F Grados Fahrenheit.

°C Grados Centígrados.

Q Calor.

W Trabajo.

CFC Clorofluorocarburos.

HCFC Hidroclorofluorocarbonos.

HFC Hidrofluorocarburos.

HC Hidrocarburo.

COP Coeficiente de rendimiento.

PCM Powertrain Control Module. (Módulo de control del tren motriz).

CO₂ Dióxido de Carbono.

VSLC Compresores lineales de velocidad variable.

VCC Compresores lineales capacitivos.

LCCP Life cycle climate performance. (Rendimiento climático del ciclo de vida).

kWh Kilovatios hora.

TWh Tera vatios hora.

NTC Norma Técnica Colombiana.

ITM Instituto Tecnológico Metropolitano.

RETIE Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.

RETIQ Reglamento Técnico de Etiquetado.

VIP Paneles de aislamiento al vacío.

mm Milímetros.

m Metros.

M-M Macho- Macho.

V Voltios.

ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

SAE Sociedad de Ingenieros Automotrices.

RMS Root mean square. (Valor Cuadrático Medio).

DANE Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

UNAL Universidad Nacional de Colombia.

UdeA Universidad de Antioquia.

ISO Organización Internacional de Normalización.

IEC Comisión Electrotécnica Internacional.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	6
2.	OBJETIVOS	8
2.1	Objetivo general	8
2.2	Objetivos específicos	8
3.	MARCO TEÓRICO	9
3.1	Historia de la refrigeración:	9
3.2	Refrigeración doméstica	11
3.3	Componentes del sistema de refrigeración doméstico	13
3.3.1	Compresor	14
3.3.2	Condensador	15
3.3.3	Evaporador	16
3.3.4	El tubo capilar o Dispositivo de expansión	16
3.3.5	Líquido refrigerante	17
3.3.6	Elementos Secundarios	17
3.4	Pruebas de rendimiento térmico en refrigeradores	21
3.5	Normas de etiquetado de consumo eléctrico en refrigeradores	23
3.5.1	RESOLUCIÓN 0859 DE 2006	23
3.5.2	RETIQ	24
3.6	Métodos comparativos para desempeño energético de refrigeradores	27
4.	METODOLOGÍA	28
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
6.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	63
7.	REFERENCIAS	64

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

1. INTRODUCCIÓN

Como estudiantes de ingeniería electromecánica del ITM, se quiere ampliar el conocimiento sobre los métodos de prueba para medir la eficiencia en los refrigeradores domésticos nuevos y/o usados, todo esto con el fin de medir la eficiencia en el funcionamiento con fines de aprendizaje práctico y que los resultados sean visibles para los estudiantes de la universidad e instituciones técnicas que deseen leerlo.

En el presente trabajo de grado se realiza una búsqueda bibliográfica de diferentes artículos científicos y trabajos de investigación sobre refrigeradores domésticos con las tendencias y aplicaciones a nivel residencial con el objetivo de describir su principio de funcionamiento dando a conocer un método adecuado de como medir su eficiencia.

El análisis de la eficiencia y el ahorro de energía en los refrigeradores domésticos ha sido un tema importante de investigación debido al alto porcentaje en el consumo energético que representa este electrodoméstico en el sector residencial, además, las normas internacionales y de cada país como el nuestro, Colombia, han regulado el consumo máximo de energía que los fabricantes deben lograr en sus productos. Estas normas han llevado a la generación de nuevos diseños y a la elaboración de estudios y pruebas para la identificación de las posibles mejoras en los sistemas de refrigeración doméstica que conlleven a medir la eficiencia y el ahorro de energía. En el presente estudio o análisis de pruebas se proponen unas metodologías para la evaluación y cuantificación de pérdidas energéticas y eficiencia en los sistemas de refrigeración doméstica, entre las cuales se encuentran las pérdidas de calor a través de las paredes del gabinete, las infiltraciones a través del sello magnético de las puertas, apertura de puertas y el efecto de la carga de refrigerante en el sistema.

Estas metodologías consisten en plantear las mediciones necesarias de las variables más relevantes en todo el circuito de refrigeración, y establecer las condiciones en las cuales se llevaron a cabo la elaboración de las pruebas o ensayos experimentales. Las metodologías propuestas cuantifican cada una de las pérdidas planteadas teniendo en cuenta los porcentajes en el aumento del consumo energético que aporta cada una de estas. Nattawut et al, a partir de los resultados obtenidos se ha encontrado que el consumo energético relacionado con la apertura de puertas representa entre el 22 % y 48 % en función del número de aperturas; las pérdidas a través de las paredes del gabinete representan un 36 % en el consumo, la variación de la carga de refrigerante

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

conduce a variaciones entre el 14 % y 34 %, respecto al consumo que se obtiene con la carga óptima para el equipo y las infiltraciones a través de los sellos magnéticos representan el 7 %.

En este trabajo de grado se encontrara en el primer capítulo , la introducción; en el segundo capítulo se traza un objetivo general y específicos para darle una orientación al trabajo de grado; en el tercer capítulo encontramos el soporte y una breve descripción de la refrigeración doméstica, encontrando los componentes del sistema de refrigeración que son el compresor, el condensador, el evaporador, el tubo capilar o dispositivo de expansión, liquido refrigerante y unos elementos secundarios; pruebas, normas y métodos que rigen la refrigeración domestica; en el cuarto capítulo encontramos la metodología la cual se implementó en todo el trabajo y que ayuda a dar alcance a los objetivos específicos; en el quinto capítulo vamos a encontrar los resultados del análisis del trabajo de grado; en el sexto capítulo damos las conclusiones y recomendaciones encontradas en el análisis del trabajo de grado y por ultimo citamos un historial de referencias bibliográficas que fueron soporte para la investigación del trabajo de grado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Establecer un método para la medición de la eficiencia de los refrigeradores en aplicaciones domesticas por medio de artículos científicos y pruebas documentadas de sistemas alternativos.

2.2 Objetivos específicos

1. Implementar búsquedas bibliográficas de artículos científicos y pruebas documentadas en bases de datos institucionales y demás que suministren datos.
2. Identificar el procedimiento a aplicar en los refrigeradores domésticos para medir la perdida de eficiencia y ahorro energético de uno nuevo o con años de uso.
3. Utilizar el método recomendado en el estudio realizado de los artículos científicos, para la medición de eficiencia y ahorro energético de los refrigeradores domésticos.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Historia de la refrigeración:

La conservación de alimentos mediante sistemas de refrigeración es una necesidad fundamental para el ser humano, debido a que la mayoría de los alimentos que se mantienen a temperatura ambiente se descomponen rápidamente como resultado del desarrollo de bacterias. A temperaturas de refrigeración de aproximadamente 40°F (4.4 °C) las bacterias se desarrollan lentamente, por lo cual los alimentos a estas condiciones se preservan por más tiempo. (George & Briley, 2004)

La industria de la refrigeración se vuelve importante en el siglo XVIII. La refrigeración en sus inicios se conseguía con el uso de hielo, el cual era cortado de lagos y estanques para ser almacenado en invierno en cuartos con algún tipo de aislamiento para su conservación y así poderlo utilizar en verano. Durante la década de 1800 se inventaron muchos sistemas de refrigeración mecánicos y se utilizaron refrigerantes como dióxido de azufre, cloruro de metilo, dióxido de carbono, etc. El hielo fue hecho artificialmente por primera vez en 1820 como un experimento. En 1834 la fabricación de hielo artificial se hace práctica. Jacobo Perkins; un ingeniero americano, invento la máquina que sería la predecesora de los sistemas de compresión modernos. Michael Faraday descubrió el principio de la refrigeración por absorción para 1824. El primero de los sistemas herméticos de refrigeración fue fabricado por la General Electric en 1828. Este fue llamado el monitor de tope. (P. C. Koelet , 1992)

Se considera que la primera máquina de refrigeración que funciono comercialmente con éxito fue la elaborada por John Gorrie que difería de la de Perkins. En 1852, William Thomson invento el principio de la refrigeración, creo un circuito frigorífico hermético basado en la absorción del calor a través de un gas refrigerante. Para ello, se basó en 3 principios: El calor se transmite de la temperatura más alta a la más baja; una sustancia necesita absorber calor para cambiar de fase líquida a gas; la presión y la temperatura están directamente relacionadas. (George & Briley, 2004)

Durante 1890, un invierno caliente resultó en una escasez de hielo natural. Esto acelero el desarrollo de la industria mecánica de la fabricación de hielo. (Perkins., 1943)

En 1902 Willis Carrier sentó las bases de la maquinaria de refrigeración moderna y al intentar aplicarla a los espacios habitados, se encontró con el problema del aumento de la humedad relativa del aire enfriado y al estudiar cómo evitarlo, desarrolló el concepto de climatización de verano, pero fue hasta el año 1906 que se patentó el primer equipo de aire acondicionado en los Estados Unidos de América, como un equipo para tratar el aire.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

La refrigeración mecánica doméstica apareció por primera vez para 1910, J.M. Larsen produjo en 1913 una máquina doméstica operada manualmente. Para 1918 Kelvinator produce el primer refrigerador automático doméstico para el mercado americano. Ese año vendieron 67 máquinas. Para comienzo de 1920, la refrigeración doméstica se volvió una industria importante. La Electrolux, que fue una de las unidades automáticas de absorción, apareció en 1927. La congelación rápida para la preservación de alimentos por periodos prolongados comenzó en 1923; esto marcó el inicio de la industria moderna para alimentos congelados. Las unidades automáticas para confort de aire acondicionado aparecieron en 1927. A comienzos de 1960, el mercado del acondicionamiento de aire ha experimentado un gran desarrollo. La energía era barata y de ahí que los acondicionadores de aire se volvieron comunes en muchos hogares. Debido al desarrollo en la tecnología para 1990, todas las áreas relacionadas a la refrigeración y aire acondicionado utilizan microprocesadores para controlar sus funciones de operación; el propósito de estos sistemas es mejorar su eficiencia y funcionamiento. (Kim, Sim, & Ha., 2011)

Los materiales de cambio de fase PCM; aplicados en los refrigeradores y congeladores domésticos, han influido con un gran impacto en la gestión térmica, mejorando el rendimiento, indicando que los PCM tienen gran potencial para mejorar el COP y la diferencia energética en los sistemas de refrigeración, reduciendo el consumo energético y mejorando las emisiones de CO₂, conservando la fluctuación de temperatura en el compartimento dentro del frigorífico. (Omaraa & Mohammedali, 2020)

Los PCM, revelan un potencial de ahorro de energía que ayudan a mejorar los costos de operación y generando un cambio positivo para el medio ambiente en la reducción de emisiones de CO₂, conduciendo todo esto a la mejora constante de la calidad de operación y conservación de los alimentos; donde estos estudios encuentran un único limitante que es el almacenamiento de los PCM ya que tienen reacciones corrosivas, pero son ideales para la refrigeración doméstica por sus características de alta fusión térmica, alta conductividad térmica y baja inflamabilidad; sin mencionar otras mejoras que impactarían de manera positiva los sistemas de refrigeración como lo son los aislamientos avanzados que incluyen paneles de aislamiento al vacío (VIP) y paneles tipo deflectores llenos de compuestos de baja conductividad, pero con la desventaja en la aplicación manufacturera y aumentando el costo de operación por su mano de obra adicional. (Omaraa & Mohammedali, 2020)

Los PCM podrían ser apoyados por compresores lineales de velocidad y capacidad variable (VSLC) (VCC), proporcionando técnicas efectivas para controlar la capacidad frigorífica y disminuyendo pérdidas cíclicas, pero a un alto costo de adquisición. (Omaraa & Mohammedali, 2020)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3.2 Refrigeración doméstica

El uso de la refrigeración doméstica, cada día se va incrementando y encuentra más aplicaciones. Hace algunos años, el uso principal de la refrigeración era la producción de hielo, ahora la refrigeración es esencial en la producción, distribución y conservación de alimentos y para el funcionamiento de servicios vitales se vive más confortable y saludablemente, muchos procesos industriales se efectúan de manera más eficiente. (Kim, Sim, & Ha., 2011)

Hoy en día, los equipos de refrigeración son inteligentes y funcionales, un refrigerador de uso doméstico es un artefacto que anualmente se produce a nivel mundial por más de 80 millones de unidades de manera que cientos de millones son utilizados de forma continua actualmente y por tanto el impacto mundial del consumo de energía eléctrica que estos sistemas requieren es significativo. Un refrigerador típico consume aproximadamente 1 kWh/día de energía eléctrica, siendo un consumo unitario relativamente bajo, sin embargo, los refrigeradores domésticos y comerciales son responsables de aproximadamente el 11% de la energía total consumida anualmente en los países como Brasil, lo que equivale a 2,86 TWh/año. (Hermes & Melo, 2008).

Por otro lado, si se considera la eficiencia de un refrigerador, la cual es intrínsecamente baja, apenas llega al 15%, debido fundamentalmente a las pérdidas energéticas irreversibles ocasionadas por la mayor parte de los componentes del sistema (Hermes & Melo, 2008), como el condensador, el evaporador, tubo capilar y en especial el compresor que es el elemento que consume en gran parte la energía, alrededor del 80%. (Björk & Palm, 2006)

Por otro lado, el uso de refrigerantes como los CFC, HCFC, HFC contribuye al agotamiento de la capa de ozono y el aumento en el calentamiento global, razón por la cual su producción y uso han sido regulados según el Protocolo de Montreal. Optando por utilizar los HFC debido a que no destruyen el ozono, sin embargo, se ha encontrado que estos poseen alto potencial de calentamiento global, el mismo que es controlado por el Protocolo de Kioto, siendo necesario buscar refrigerantes alternativos que además de ser amigables con el medio ambiente tengan excelentes propiedades termodinámicas, tales características han sido encontradas en los HC, siendo la razón de estudio en los últimos años. Los resultados de amplias investigaciones apuntan a los HC como posibles sustitutos para los sistemas de refrigeración, de tal forma que se mejoraría la eficiencia del sistema de refrigeración y permitiría reducir el consumo de energía y ahorrar recursos. (Afonso & Manuel, 2010)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Estos estudios demostraron que dichas anomalías, alteraciones o afectaciones que existen en el refrigerador doméstico, son trabajos de interés mundial para buscar avances de eficiencia energética y alternativas para reducir el problema en todo el sistema. Afirmando de esta manera que tener una alta eficiencia en el refrigerador de uso doméstico es posible, al reducir el consumo de energía en el sistema, además del uso de refrigerantes naturales que poseen buenas propiedades termodinámicas, no tóxicos, y sobre todo eficientes en su desempeño, de manera que logren disminuir el tiempo de encendido del compresor, la carga del refrigerante y otras características que permiten ahorrar energía y dinero en el sistema de refrigeración. (Afonso & Manuel, 2010)

Una de las principales causas en el aumento del consumo de los refrigeradores domésticos son las infiltraciones del aire exterior hacia el interior del refrigerador a través de los sellos magnéticos de las puertas, debido a que estos mediante el constante uso se deterioran disminuyendo así las condiciones de sellado. Es importante saber cuantificar el aumento en el consumo de energía debido a la cantidad de infiltraciones. Algunos autores han realizado varios métodos para la evaluación de estas pérdidas. La técnica de gas trazador se usó para medir la tasa de infiltración de aire en un refrigerador comercial domestico de doble puerta. A través de varias pruebas realizadas, fue posible analizar la influencia de la condición de conservación del sello magnético en las tasas de intercambio de aire del refrigerador. (Afonso & Manuel, 2010)

Existen métodos estandarizados para la evaluación del consumo energético de los refrigeradores domésticos en los cuales se requiere que el equipo funcione de acuerdo con un sistema de control, en los que se define las condiciones de operación que van a estar sometidos. Algunos autores han utilizado métodos alternativos para la evaluación energética de los refrigeradores en el cual se requiere un tiempo de prueba más corto en comparación a los estándares internacionales. Además, permite el cálculo de parámetros de diseño importantes, como la carga térmica, la capacidad de enfriamiento y el COP del refrigerador, que no se consideran en los procedimientos de prueba estandarizados. (Bansal., 2003)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3.3. Componentes del sistema de refrigeración doméstico

Los elementos que componen el circuito de refrigeración doméstica corresponde a un conjunto de diferentes dispositivos mecánicos y térmicos los cuales operan conjuntamente, ver figura 1. Todos los elementos están interconectados en sí y forman el ciclo de refrigeración por compresión con el fin de generar espacios a baja temperatura.

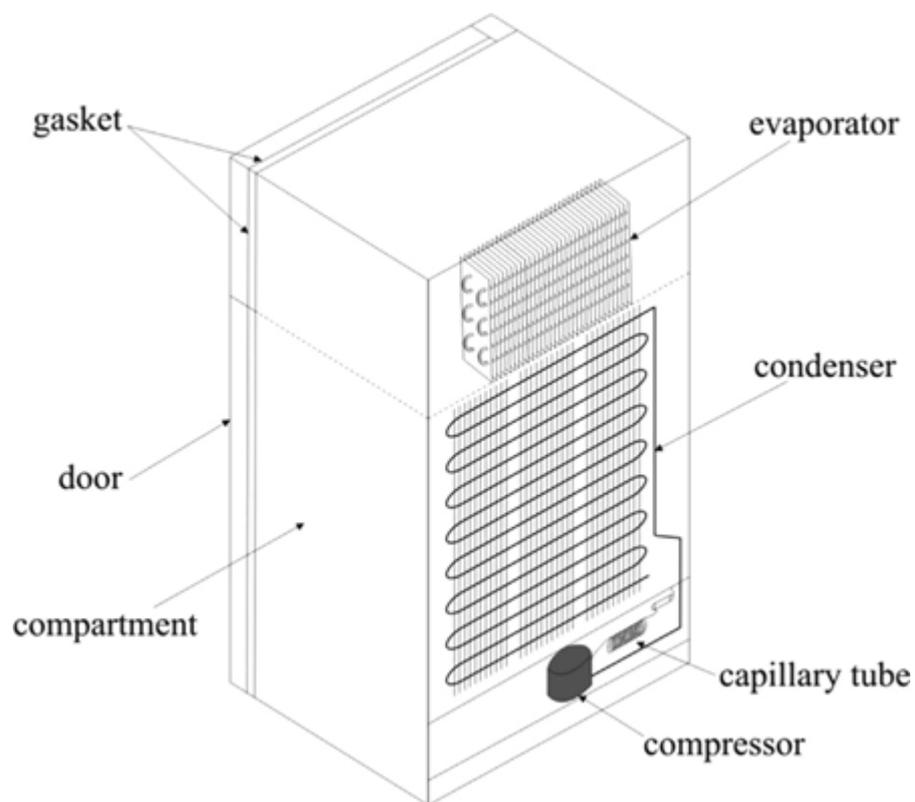


Figura 1. Representación esquemática de un refrigerador doméstico típico.

Tomada de (Belman, Barroso, Muñoz, & Vázquez, 2015)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3.3.1 Compresor

Se encarga de comprimir el gas que consiste en forzar mecánicamente la circulación del líquido refrigerante en un circuito cerrado por el cual entra vapor sobrecalentado a baja presión y sale vapor sobrecalentado con alta temperatura y presión con el propósito de que el fluido absorba calor en un lugar y lo disipe en el otro.

Los compresores alternativos son el tipo más utilizado de compresor en sistemas de baja y media potencia. Este componente es el corazón de un sistema de refrigeración, el más complejo y el de mayor consumo de energía. (Belman, Barroso, Muñoz, & Vázquez, 2015)

Es el principal componente del ciclo de refrigeración y el más complejo, ver figura 2. Tiene la mayor responsabilidad por el consumo de energía del sistema; tiene como función dentro del ciclo aspirar el refrigerante, en forma de vapor, que proviene del evaporador, aumentando así su presión y su temperatura para ser transportado al condensador.



Figura 2. Representación esquemática de un Compresor hermético recíprocante.

Tomada de (Danfoss, <https://assets.danfoss.com/>, 2021)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3.3.2 Condensador

Este intercambiador de calor es responsable de expulsar todo el calor absorbido en el proceso por el refrigerante hacia el medio ambiente; el fluido entra en fase de vapor y mediante el paso por este intercambiador se va removiendo calor para así llegar a la salida como líquido saturado. El diseño de este componente tiene gran influencia en la eficiencia del ciclo debido a la tasa de eliminación de calor. Los condensadores más utilizados en la industria de la refrigeración son los de alambre y tubo, ver figura 3. Aunque actualmente están siendo reemplazados por los intercambiadores de aleta y tubo.

Es un componente que se encarga de expulsar el calor absorbido por el refrigerante en el medio ambiente. El condensador es un componente importante del refrigerador doméstico, y su diseño tiene un efecto significativo en el desempeño del sistema global. Por lo tanto, en esta área, las mejoras van de la mano de la eficiencia energética, reduciendo los costos de fabricación e introduciendo nuevos diseños de intercambiadores de calor. (Belman, Barroso, Muñoz, & Vázquez, 2015)

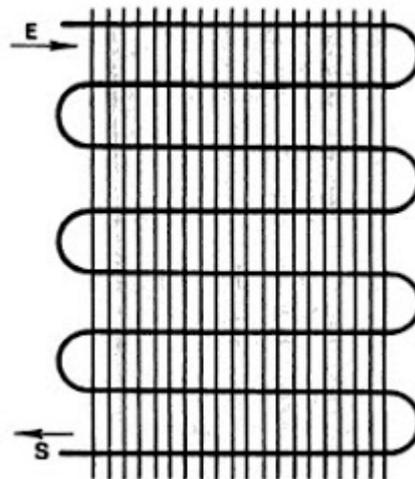


Figura 3. Representación esquemática de un Condensador.

Tomada de (Aldana, 2012)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3.3.3 Evaporador

Este dispositivo desempeña un papel importante en la eficiencia del ciclo al igual que el condensador. Es aquí donde se produce el intercambio térmico entre el refrigerante y el medio a enfriar, conservando las temperaturas para preservar los alimentos en condiciones adecuadas de consumo. Los evaporadores más utilizados en la actualidad en la refrigeración domestica son los de aleta y tubo, ver figura 4.

El evaporador juega un papel igualmente importante, como el condensador, en el rendimiento del refrigerador, es responsable de proporcionar capacidad de enfriamiento requerida para conservar los alimentos en condiciones óptimas. (Belman, Barroso, Muñoz, & Vázquez, 2015)



Figura 4. Representación esquemática de un Evaporador.

Tomada de (Belman, Barroso, Muñoz, & Vázquez, 2015)

3.3.4 El tubo capilar o Dispositivo de expansión

Es un dispositivo que controla el flujo del refrigerante por caída de presión. Es un tubo de cobre con el interior calibrado a un tamaño muy pequeño, alrededor de 2 mm el diámetro y la longitud del tubo determinan la cantidad de líquido refrigerante que pasará a través del tubo a una determinada caída de presión, ver figura 5. El tubo capilar no controla el calentamiento o presión; es simplemente un dispositivo con una

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

perforación que fija el paso y no posee partes móviles. (Belman, Barroso, Muñoz, & Vázquez, 2015)



Figura 5. Representación esquemática de Tubo Capilar.

Tomada de (Danfoss, <https://store.danfoss.com/>, 2021)

3.3.5 Líquido refrigerante

Sustancia que se evapora en el refrigerador creando bajas temperaturas. Y se condensa a presión constante (líquido), cediendo calor al medio exterior, (se encuentra al interior de la tubería y fluye a través de los componentes). (Belman, Barroso, Muñoz, & Vázquez, 2015)

3.3.6 Elementos Secundarios

Además de estos cuatro componentes, los cuales se consideran los más importantes en el funcionamiento del ciclo, también se cuenta con los siguientes elementos que complementan el sistema:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3.3.6.1 Filtro deshidratador.

El filtro deshidratador es un dispositivo que contiene material desecante y material filtrante para proteger de la humedad y otros contaminantes en un sistema de refrigeración, ver figura 6. Dispone de un tamiz molecular 100%, que permiten mantener una cantidad muy reducida de humedad en el sistema. Aplicable a refrigerantes HCFC / HFC, son fabricados en versión unidireccional: M-M roscas SAE de 1/4 a 1/2 y para Soldar 1/4 a 1/2 en distintas capacidades de volumen. Su rango de temperatura de trabajo -40°C/+120°C y su presión máxima de trabajo es de 42 bar. El acabado con pintura en polvo de alta resistencia a la corrosión. (Grupo HECA, 2021)



Figura 6. Representación esquemática de Filtro deshidratador.

Tomada de (Grupo HECA, 2021)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3.3.6.2 Separador de aceite.

Como su nombre indica, su función es la de separar el aceite mezclado con el refrigerante. Una vez separados devuelve el aceite al compresor. Si no se utiliza un separador de aceite, en ocasiones el compresor puede llegar a quedarse sin aceite, lo que conllevaría a una avería (Macias, 2014). Originalmente, su propósito era mantener el nivel de aceite correcto en el cárter del compresor, pero con el tiempo se han encontrado otros beneficios al prevenir la circulación libre de pequeñas cantidades de aceite en el sistema, ver figura 7. La eficiencia global de un sistema mejora mucho donde se utiliza un separador de aceite, sobre todo para las temperaturas que se ven con más frecuencia en los refrigeradores de autoservicios y supermercados, que manejan temperaturas de evaporación alrededor de los -35 a -40 °C. (Maciel, 2016)



Figura 7. Representación esquemática de Separador de Aceite.

Tomada de (Macias, 2014)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3.3.6.3 Acumulador de líquido o de succión

Un acumulador de succión es básicamente, un recipiente a presión, diseñado para evitar daños al compresor a causa de una inundación repentina de refrigerante o aceite líquidos, la cual puede llegar por la línea de succión hacia el compresor. (Ubaldo, 2019)

Un acumulador de succión es un depósito temporal para retener el exceso de esta mezcla de aceite y refrigerante líquidos, ver figura 8. Posteriormente enviarla en forma de gas, a una proporción que el compresor pueda manejar de manera segura. (Ubaldo, 2019)



Figura 8. Representación esquemática del Acumulador de líquido o de succión

Tomada de (Ubaldo, 2019)

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3.3.6.4 Válvula solenoide.

La válvula solenoide es un elemento que se utiliza para cerrar el paso del refrigerante en el sistema, por lo general se encuentra instalada en la línea de líquido y su uso o utilización en los equipos de refrigeración, es para hacer parar o cortar el funcionamiento del compresor para evitar que el refrigerante líquido a alta presión impacte en el compresor después de que este se detenga, se utilizan como protección, ver figura 9, especialmente si el equipo tiene sistema de descongelación por resistencia y para que esto sea posible el equipo debe tener un control de presión por baja; pero igual se utiliza cuando el equipo tiene sistema de descongelación por gas caliente. (BARRERA, MEJÍA, & DAVID, 2018)

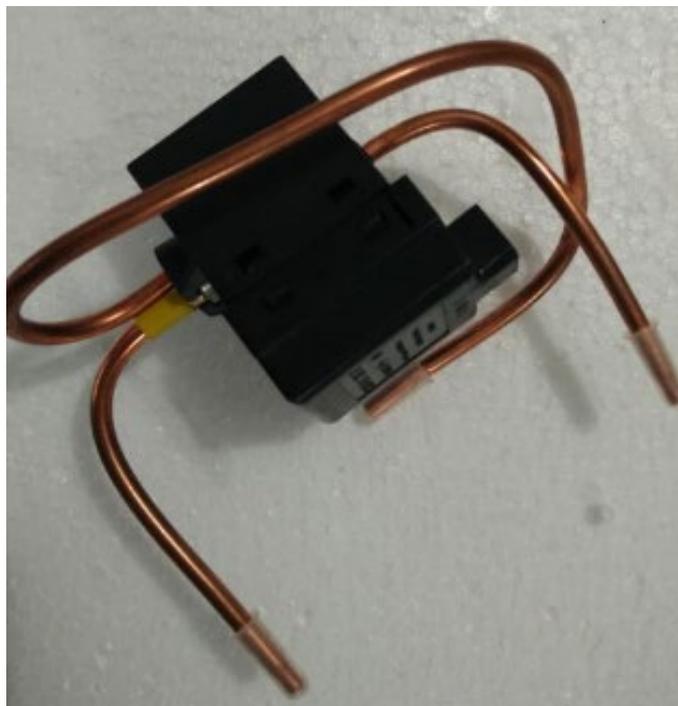


Figura 9. Representación esquemática de Válvula Solenoide.

Tomada de (BARRERA, MEJÍA, & DAVID, 2018)

3.4. Pruebas de rendimiento térmico en refrigeradores

Este análisis utiliza las normas ICONTEC que tienen un aporte importante dando a conocer las pautas básicas en la elaboración de un proyecto de investigación, ya que las normas ICONTEC tiene por objeto, por una parte, apoyar al Gobierno Nacional en su

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

función de Organismo Nacional de Normalización y por otra parte, promover en las organizaciones la transformación cultural, productividad, competitividad, sostenibilidad, seguridad, confianza y calidad de los productos y servicios, además de facilitar el intercambio comercial, y proteger la salud y la vida del consumidor y la del medio ambiente. (ICONTEC, 2018).

Permitiendo dar estándares de lineamiento, convirtiéndose en una herramienta para la presentación de documentos y fabricación de productos, esto permite establecer criterios para la construcción de conocimientos desde diferentes enfoques con el fin de obtener resultados y estructuras utilizando métodos acordes, con parámetros exigidos después de investigaciones confiables, con la presentación de criterios y estándares exigidos.

En la actualidad se pueden encontrar múltiples pruebas para evaluar el rendimiento de los sistemas de refrigeración doméstica, debido a que en el país el organismo encargado de reglamentar las pruebas a los electrodomésticos es el ICONTEC, se tienen como referencia una serie de disposiciones, como pueden ser:

- NTC 4838-1 - EQUIPOS DE REFRIGERACION COMERCIAL. METODOS DE ENSAYO. PARTE 1: CALCULO DE DIMENSIONES LINEALES AREAS Y VOLUMENES

Define los términos y especifica los métodos para determinar las dimensiones lineales, áreas y volúmenes para artefactos de refrigeración comercial.

- NTC 2911 - REFRIGERACION. GUIA PARA LA PRESENTACION DE LOS DATOS DE RENDIMIENTO DE COMPRESORES DE REFRIGERACION.

Las pruebas de esta norma se aplican únicamente a compresores de refrigeración de una etapa y del tipo de desplazamiento positivo. Los métodos de prueba seleccionados describen la forma de determinar la capacidad refrigerante, la potencia, la eficiencia.

- NTC 3291 - REFRIGERACION. PRUEBA DE SISTEMAS DE REFRIGERACION.

Contiene unidades, definiciones y datos de prueba, determinación del desempeño técnico, organización de los ensayos, medición de la capacidad refrigerante, medición del consumo de energía, instrumentos de medición, tolerancias.

- NTC 5852 NORMA DE SEGURIDAD PARA SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

Esta norma especifica diseño, construcción, instalación y funcionamiento con seguridad de los sistemas de refrigeración.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- NTC 2252 NORMA DESEGURIDAD DE ARTEFACTOS ELECTRODOMÉSTICOS Y ARTEFACTOS SIMILARES. PARTE 2: REQUISITOS PARTICULARES PARA REFRIGERADORES, FABRICADORES DE HELADO Y FABRICADORES DE HIELO

Esta norma se aplica a la seguridad de los siguientes artefactos, cuya tensión nominal no sea superior a 250 V para los artefactos monofásicos, 480 V para los demás artefactos y 24 V corriente continua para los artefactos alimentados por baterías.

- NTC 2183 NORMA DE ARTEFACTOS ELECTRODOMÉSTICOS Y SIMILARES. SEGURIDAD. PARTE 1: REQUISITOS GENERALES

Aplica a la seguridad de los artefactos eléctricos para uso doméstico y propósitos similares, y cuya tensión nominal no sea mayor de 250 V para artefactos monofásicos y 480 V para otros artefactos.

3.5 Normas de etiquetado de consumo eléctrico en refrigeradores

3.5.1 RESOLUCIÓN 0859 DE 2006

Por la cual se expide el Reglamento Técnico aplicable a los artefactos Refrigeradores, Congeladores, combinación Refrigeradores-Congeladores para uso doméstico, tanto de fabricación nacional como importados, para su comercialización en Colombia.

Esta resolución reglamenta principalmente todo lo de refrigeración doméstica y toma las normas NTC 2252 y NTC 2183, estas normas se hacen de completo cumplimiento para todos los refrigeradores domésticos que se fabriquen en el país y los que se importan, indican que pruebas de seguridad se le deben realizar y la información del producto para el cliente como el etiquetado.

La información del etiquetado que suministre el fabricante deberá ser legible a simple vista, estar colocada en un sitio visible del artefacto y debe contener al menos los siguientes datos, que podrán estar en una o más etiquetas como lo indica el reglamento técnico RETIQ (Energía, 2015):

- 1) País de Origen: Es el país en donde fue fabricado el artefacto.
- 2) Nombre del Fabricante y/o Importador: Correspondiente al nombre comercial de la empresa fabricante y/o importadora del artefacto.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3) Modelo o Referencia Comercial: Correspondiente al modelo o referencia comercial dada por el fabricante para el artefacto.

4) Tensión nominal de operación: Correspondiente al valor eficaz o RMS (a menos que se especifique valor diferente) de la tensión eléctrica expresada en Voltios de corriente alterna con la cual funciona el artefacto.

5) Corriente nominal de operación: Correspondiente al valor eficaz o RMS (a menos que se especifique valor diferente) de la corriente eléctrica expresada en Amperios de corriente alterna con la cual funciona el artefacto; o la Potencia Nominal siguiente.

6) Potencia nominal de operación: Correspondiente al valor eficaz o RMS (a menos que se especifique valor diferente) de la potencia eléctrica expresada en Watios que consume el artefacto en condiciones normales de funcionamiento.

7) Frecuencia nominal de operación: Correspondiente al valor de la frecuencia de la corriente eléctrica expresada en Hertz con la cual funciona el artefacto.

8) Diagrama Eléctrico: Es el diagrama de circuitos general de conexiones eléctricas del artefacto.

9) Temperatura de Operación: Es la temperatura de trabajo a la cual funciona el artefacto en condiciones normales de funcionamiento.

10) Instrucciones para el consumidor: Que serán las de uso y/o instalación, restricciones, prohibiciones, cuidados especiales, así como los fines de uso previstos por el fabricante, correspondiente al modelo o referencia comercial dada por el fabricante para el artefacto. Estas instrucciones podrán informarse mediante guía o manual de usuario, diferente a la etiqueta, que debe entregarse al consumidor.

3.5.2 RETIQ

El Reglamento Técnico de Etiquetado RETIQ es la normatividad que impulsa el uso de la etiqueta de eficiencia energética en el país, que responde a los siguientes objetivos legítimos del país:

Prevenir prácticas que puedan inducir a error a los consumidores, brindándoles oportunamente información útil relacionada con el desempeño energético de los equipos de uso final de energía que pretendan adquirir. (Energía, 2015).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

La seguridad nacional en términos de garantizar el abastecimiento energético mediante uso de sistemas y productos que apliquen el uso racional de la energía por medio de un rótulo de color amarillo, que contiene información sobre un equipo específico, neveras, lavadoras, aires acondicionados, calentadores de agua, equipos de cocción, balastos y motores industriales. Proporciona información al comprador acerca del consumo e indicador de desempeño energético, clasificación de desempeño y características técnicas del equipo como se muestra en la figura 10, para que este pueda compararlo con otros equipos similares y elegir el que más se ajuste a sus necesidades. (Energía, 2015).

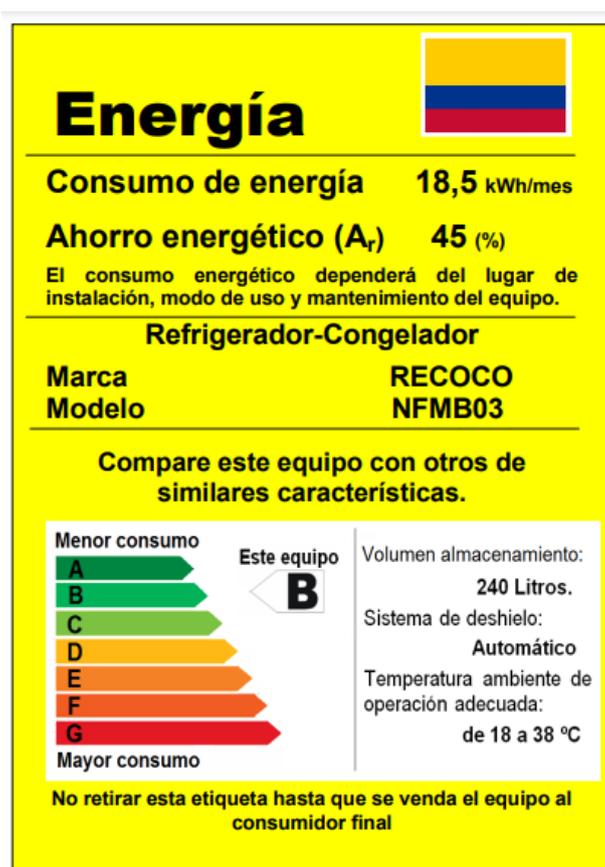


Figura 10. Representación de etiquetado de consumo eléctrico en refrigeradores.

Tomada de (<https://www.minenergia.gov.co/>, 2015)

La información contenida en la etiqueta de cada equipo incluido en el Reglamento Técnico de Etiquetado RETIQ tendrá variaciones de acuerdo con las características de este. Los datos contenidos se consideran de naturaleza estándar, pero el desempeño

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

del equipo dependerá del lugar de instalación, modo de uso y mantenimiento del equipo.

El RETIQ ha establecido unos rangos mínimos de eficiencia energética para los equipos que se comercialicen en el país, de manera que los colombianos puedan tener acceso a equipos de mayor calidad y mejor tecnología. (Energía, 2015).

La etiqueta es un instrumento de política pública gratuito, de fácil acceso y con información veraz, que sirve para promover la eficiencia energética. De esta manera, a través de la información se ayuda a los consumidores a conocer atributos de los productos que pueden ayudarle a consumir menos energía -electricidad o gas-, y por lo tanto a ahorrar dinero.

La etiqueta energética será de obligatoria exhibición en Colombia a partir del 31 de agosto de 2016. Debe permanecer expuesta de manera visible en el equipo o en el empaque si este es muy pequeño hasta el momento de su venta y siempre estará en español. (Energía, 2015)

El etiquetado de eficiencia energética en Colombia es una iniciativa gubernamental que busca fomentar el uso racional y eficiente de la energía en productos que usan energía eléctrica y gas combustible, mediante el establecimiento y uso obligatorio de etiquetas que informen sobre el desempeño de los equipos en términos de consumo energético e indicadores de eficiencia.

De forma complementaria, el etiquetado impulsa el uso de tecnología eficiente en el país; orienta la preferencia de los usuarios hacia equipos de mejor desempeño energético, e incrementa en el mercado la oferta y la demanda de equipos eficientes en uso final de energía.

El Gobierno colombiano a través de la Ley 697 de 2001 declaró el uso racional y eficiente de la energía como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para garantizar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de fuentes no convencionales de energía. (<https://www.minenergia.gov.co/>, 2015).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3.6 Métodos comparativos para desempeño energético de refrigeradores

Los efectos ambientales que causan los ciclos de refrigeración han llevado a diferentes métodos de estudio para evaluarlo en refrigeradores domésticos y su influencia en términos de desempeño climático en su ciclo de vida (LCCP). (Seyoung Choi, 2020)

El método que se observa para el consumo energético del frigorífico es de un solo evaporador; siendo este, fundamental para calcular el consumo energético en los refrigeradores domésticos.

Los resultados obtenidos del rendimiento climático del ciclo de vida muestran un rendimiento del sistema y **las emisiones de fabricación de frío** de estos equipos, son factores que se observan en la emisión de CO₂ durante su vida útil en cada hogar del mundo. Por ello se investigan mejoras en el uso de la energía eléctrica y los materiales de fabricación en los refrigeradores domésticos que se espera ayuden a mejorar el ciclo de refrigeración.

Día a día se mejoran los procedimientos de refrigeración para impactar en el ahorro energético por medio de los componentes de fabricación y los refrigeradores en su sistema, que impactan el medio ambiente, el calentamiento global y la capa de ozono; por lo cual el protocolo de Kioto controla la eficiencia de los sistemas de refrigeración, reduciendo el consumo energético y los recursos.

Observando el área de la refrigeración domestica es evidente la necesidad de realizar estudios que ayuden a reducir el consumo eléctrico y mejoren la eficiencia, y así poder reducir los niveles de emisiones contaminantes que se producen de una u otra manera en la generación y utilización de la energía.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

4. METODOLOGÍA

El sector residencial en Colombia tomando como referencia las 5 ciudades principales (Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Ibagué) presenta uno de los consumos de energía más representativos, como se puede observar en la Figura 11. (DANE, 2018) el refrigerador es uno de los electrodomésticos que presenta mayor consumo en el hogar con un 26 % (DANE, 2018), por lo tanto, la reducción del consumo energético juega un papel importante en el desarrollo de equipos que presenten bajo consumo energético y sean amigables con el medio ambiente. De acuerdo con las estadísticas presentadas por el DANE en Colombia, el uso de refrigeradores en los hogares ha presentado un crecimiento desde el año 2000 hasta el 2015 de 13.6 %, teniendo por ende un aumento en la producción y demanda de este electrodoméstico. Dada la importancia de este electrodoméstico, en este trabajo se pretende identificar los principales factores que influyen en la eficiencia de los sistemas de refrigeración. Se pretende establecer método para la medición de la eficiencia de los refrigeradores, y mediante ello realizar la cuantificación de pérdidas o consumos innecesarios en el sistema, para así plantear posibles soluciones o mejoras del sistema que contribuyan a la disminución del consumo de energía.

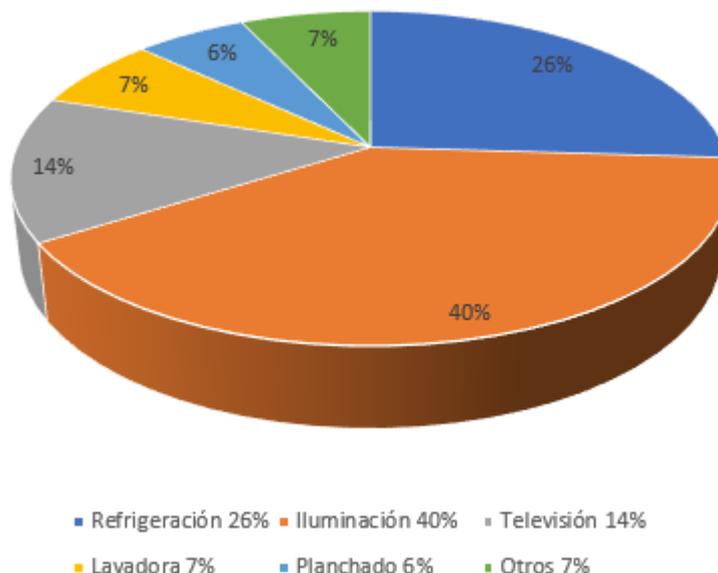


Figura 11. Consumo estimado de electricidad por electrodoméstico.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos tomados del DANE

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Se realizó una revisión de literatura especializada en las bases de datos institucionales; se utilizó Science Direct como base de datos de búsqueda y se consideraron publicaciones en revistas como: The International Journal, ThermoFisher Scientific, International Journal Refrigeration, uso racional: A fonte energética oculta, The internationalization of component design, Domestic automatic Ice Make component design; en relación con la identificación de pérdidas que se presentan en la refrigeración doméstica. Se revisaron los métodos de prueba que se han desarrollado para la evaluación de la eficiencia energética en un refrigerador doméstico, mediante el análisis del comportamiento de cada uno de los componentes del ciclo. Se realizó la revisión de las normas que se deben tener en cuenta en la elaboración de cada prueba, además, el repositorio de trabajos de grado del ITM y otras instituciones como UNAL, UdeA, etc.

Para la búsqueda se comenzó con utilizar la palabra clave efficiency, domestic refrigerators, energy consumption, operation of domestic refrigerators, Use of refrigerators worldwide, tomando y seleccionando los artículos y revistas que aborden el tema y resultados obtenidos de eficiencia y consumo energético en los refrigeradores domésticos, teniendo en cuenta las pruebas documentadas que suministraban datos que ayuden a tener un ahorro energético, un mejor uso y desempeño de los refrigeradores.

Los criterios que permitieron analizar el método por el cual se hace la medición por medio de sensores de cada uno de los compartimientos en el refrigerador como la temperatura adecuada en cada uno de ellos, también lleva a conocer el consumo de energía, con este se llevó a cabo la clasificación de las pérdidas encontradas en los sistemas de refrigeración doméstica, basados en los resultados encontrados en los artículos científicos analizados. Priorizando cada una según su aporte al aumento de la eficiencia del consumo energético en los refrigeradores domésticos y su importancia en los hogares de todo el mundo, mejorando el consumo energético por medio de su mejoramiento y funcionamiento de sus componentes de fabricación y recomendaciones de uso con fines científicos de cada artículo.

Todas las áreas relacionadas con la refrigeración y aire acondicionado utilizan controles modernos que de manera efectiva supervisan y muestran las funciones de operaciones (temperatura, puerta abierta) y estando en vanguardia de los nuevos sistemas eléctricos, con el propósito de mejorar la eficiencia y funcionamientos en ciclos innecesarios. (Nattawut, Flick, Denis, & Laguerre, 2019)

(Tosun & Mert, 2020) Analizaron la infiltración de aire exterior por medio del deterioro de los sellos magnéticos de las puertas de los refrigeradores que se ven deteriorados

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

con el pasar de los años disminuyendo el sellado y comprometiendo la hermeticidad del equipo. Evaluaron los componentes de fabricación y aislantes utilizados y así mejorar los sistemas de refrigeración y nuevos métodos de control por medio de sistemas bypass hallando un evaporador que mejore el desempeño del refrigerador y su categoría de consumo de energía, hay evaporadores con 13 y 19 pasos obteniendo la mayor transferencia de calor, área y volumen interno para que fluya el refrigerante. (Tosun & Mert, 2020)

El procedimiento que mejor se adapta a los objetivos es el del artículo Alternative test method to assess the energy performance of frost-free refrigerating appliances de Christians et al; por la forma de tener una medición en cada uno de los compartimientos del refrigerador doméstico y poder controlar de una manera óptima el control del frío en cada uno de ellos, por eso nuestro análisis fue sobre este artículo.

Este método o procedimiento por aplicar en los refrigeradores domésticos se puede medir la pérdida de eficiencia y el ahorro energético de un refrigerador nuevo o usado con varios años de uso por medio de la temperatura en cada espacio del refrigerador, reconociendo que la refrigeración en los electrodomésticos juega un papel importante en el consumo de energía residencial.

En general, las pruebas de energía estandarizadas requieren que el producto sea probado utilizando su sistema de control a bordo, que generalmente se compone de un termostato que enciende y apaga el compresor de acuerdo con un patrón de ciclo para hacer coincidir la capacidad de enfriamiento con las cargas térmicas del refrigerador. Cabe mencionar que el primero es generalmente el doble de este último y por lo tanto el tiempo de ejecución del refrigerador es alrededor del 50% de todo el ciclo.

Como consecuencia de la operación cíclica, la prueba ISO no solo requiere tiempo y una sola prueba generalmente toma una semana entera para llevar a cabo, tanto la instrumentación del producto como la parte experimental y ejecuciones se tienen en cuenta, pero también se consideran un conjunto limitado de indicadores de rendimiento promediados mientras que otros importantes se descuidan como los parámetros de diseño, como la carga térmica, la capacidad de refrigeración y coeficiente de rendimiento.

Para superar estos inconvenientes, el presente estudio se hizo con el objetivo de diseñar un método de prueba alternativo para evaluar el consumo de energía de los refrigeradores sin escarcha que proporcione resultados, puede llevarse a cabo fácilmente y que requiere un considerable menor tiempo de prueba.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

El procedimiento propuesto claramente no está destinado como base para la aprobación del producto final, ya que esto depende en las regulaciones gubernamentales y por lo tanto debe adherirse a normas estandarizadas y políticas antes de que el producto pueda comercializarse.

El método de prueba propuesto en este documento tiene como objetivo reemplazar las pruebas estandarizadas costosas y que requieren mucho tiempo ya que para poder alcanzar la temperatura programada se debe llevar todo el interior del refrigerador hasta la temperatura a controlar con el termostato, estas pruebas son adoptadas durante el proceso de ideación y desarrollo de productos en aras de ajustes y coincidencia de componentes, carga de refrigerante y tubo capilar, que convierten el desarrollo de nuevos sistemas de refrigeración en un esfuerzo costoso.

En el caso del aparato de refrigeración antiescarcha, los resultados de las pruebas de energía de estado estacionario propuestas se compararon con lo obtenido con las pruebas de energía ISO y se observó que siguió de cerca las tendencias observadas.

Aunque la metodología propuesta no predice exactamente los resultados de la prueba ISO, sigue de cerca las tendencias y es al menos 12 veces más rápido que el enfoque estandarizado, siendo por lo tanto más adecuado para investigaciones de ingeniería en la fase de prueba de conceptos, como la coincidencia de componentes y ajustes de carga de refrigerante / tubo capilar que es lo preocupante por las diferencias entre la línea de base y los valores en el etiquetado energético y la aprobación del producto.

Cabe destacar que la metodología propuesta no es destinada a reemplazar las pruebas estandarizadas que son obligatorias para la aprobación de un producto antes de su comercialización, pero busca reducir el número de pruebas necesarias durante proceso de desarrollo del producto.

El sistema de refrigeración se compone de un termostato variable que regula la distribución del aire entre los compartimentos, controlando así la temperatura de los alimentos frescos, mientras que la temperatura del congelador está controlada por un termostato que enciende y apaga el compresor.

El método analizado y el procedimiento se pueden utilizar en los refrigeradores nuevos desde fábrica como un desarrollo innovador de las empresas, en los refrigeradores usados se puede hacer con el desarrollo de un dispositivo portátil para ejecutar dichas pruebas con los sensores colocados en cada compartimento del refrigerador e indicar

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

al consumidor como el método recomendado en el estudio realizado del artículo científico, es útil para la medición de eficiencia y ahorro energético de los refrigeradores domésticos usados.

Este método es recomendable que lo haga el fabricante y solo recomendar al lector se limite a verificar por medio de placa y especificaciones del catálogo la implementación y evaluación por parte de personal calificado en la evaluación por medio del método escogido de la medición del rendimiento del refrigerador por medio de los datos arrojados por los sensores que son ubicados en los diferentes compartimentos del equipo y así ver como es el consumo de energía residencial.

El presente estudio se hizo con el objetivo de diseñar un método de prueba alternativo para evaluar el consumo de energía de los refrigeradores sin escarcha que proporcione resultados diferentes al usado actualmente por todos los refrigeradores del mercado, que se controla por un termostato, este método puede llevarse a cabo fácilmente y requiere un considerable menor tiempo de prueba que con el actual control de temperatura en el refrigerador.

Impacta de manera positiva el ahorro energético que se convierte en la disminución de costos, una mejor conservación de los alimentos y un menor desgaste de los refrigeradores domésticos por su ahorro cíclico y menor tiempo de trabajo de sus componentes, porque la metodología propuesta no predice exactamente los resultados de la prueba ISO14001 del año 2004 sobre sistemas de gestión ambiental, sigue de cerca las tendencias y es al menos 12 veces más rápido que el enfoque estandarizado, siendo por lo tanto más adecuado para investigaciones de ingeniería en el fase de prueba de conceptos, como la coincidencia de componentes y ajustes de carga de refrigerante / tubo capilar que es lo preocupante por las diferencias entre la línea de base y los valores en el etiquetado energético y la aprobación del producto.

La energía eléctrica es una de las principales fuentes de energía utilizadas para el bienestar y calidad de vida de las personas; además el constante avance en la industrialización y el aumento de la población a nivel mundial conducen a que el consumo energético tenga una tendencia de crecimiento año tras año. (Belman, Barroso, Muñoz, & Vázquez, 2015)

Debido al aumento del consumo y las problemáticas ambientales que trae consigo la generación de energía, se han creado estrategias para la reducción y el uso eficiente de los recursos energéticos. Muchas de estas estrategias han motivado a los sectores industriales a realizar convenios con el sector científico para investigar nuevas formas

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

para contribuir en la utilización de los recursos que buscan mejorar la eficiencia y el consumo energético de los refrigeradores domésticos como se puede analizar en los artículos y revistas científicas, despertando un gran interés por la implementación de prácticas que incentiven al uso racional de la energía en los campos donde se generan altos consumos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ARTICULO	Air infiltration in domestic refrigerators: The influence of the magnetic seals conservation.	Alternative test method to assess the energy performance of frost-free refrigerating appliances.
AUTOR & AÑO	Clito Afonso; Manuel Castro ; 2009	Christian J.L. Hermes, Cláudio Melo, Fernando T. Knabben; 2012

ARTICULO	Air infiltration in domestic refrigerators: The influence of the magnetic seals conservation.	Alternative test method to assess the energy performance of frost-free refrigerating appliances.
DESARROLLO DEL METODO	El método consiste en la introducción de gas trazador en el espacio de infiltración de aire, midiendo su concentración por medio de un analizador de gases es posible evaluar la tasa de infiltración de aire mediante análisis matemáticos.	El método consiste en registrar las diferencias de temperatura internas del refrigerador por medio de cuatro termopares, mientras que la humedad relativa es medida por un sensor ubicado en el centro geométrico del techo. La temperatura del aire se controla mediante un calentador eléctrico y un sistema de refrigeración continuo. La humedad relativa es controlada por un dispositivo que acciona el calentador humidificador, la velocidad del aire en el interior de la cámara no debe superar los 0,25 m/s.

ARTICULO	Air infiltration in domestic refrigerators: The influence of the magnetic seals conservation.	Alternative test method to assess the energy performance of frost-free refrigerating appliances.
RESULTADOS DEL METODO	<p>Las fugas de sellos magnéticos sobre el consumo de energía del compresor es un análisis térmico general en el refrigerador y el congelador. El consumo eléctrico utilizado para hacer funcionar el congelador doméstico de doble puerta se distribuye en tres componentes: 1. Superar la tasa de infiltración de aire, 2. Superar las ganancias de calor a través de las paredes externas, 3. Hacer frente a las ganancias de calor interna.</p>	<p>Los resultados de las pruebas fueron confirmados para un refrigerador de montaje inferior con condensador de aire forzado, con diferencias que no superaban el 1%; en el caso del refrigerador de enfriamiento directo con condensador de tiro natural y evaporador se evaluó el consumo de energía superior al 15%; Aunque la metodología propuesta , sigue de cerca las tendencias y es al menos 12 veces más rápido que el enfoque estandarizado, por lo que es más adecuado para investigaciones de ingeniería en la fase de prueba, como la coincidencia de componentes y los ajustes de carga de refrigerante/tubo capilar.</p>

ARTICULO	Air infiltration in domestic refrigerators: The influence of the magnetic seals conservation.	Alternative test method to assess the energy performance of frost-free refrigerating appliances.																																																																																																																																																												
CONFIGURACIONES DE RESULTADOS	<p>Table 1 – Power and energy associated to I on 1 h basis.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Seal</th> <th>Cabin</th> <th>I (ACH)</th> <th>R²</th> <th>Q (W)</th> <th>Q (Wh)</th> <th>Total Q (Wh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">New</td> <td>Refrigerator</td> <td>2.1</td> <td>0.95</td> <td>2.35</td> <td>2.35</td> <td rowspan="2">3.28</td> </tr> <tr> <td>Freezer</td> <td>1.1</td> <td>0.97</td> <td>0.93</td> <td>0.93</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Old</td> <td>Refrigerator</td> <td>12.7</td> <td>0.97</td> <td>14.20</td> <td>14.20</td> <td rowspan="2">19.90</td> </tr> <tr> <td>Freezer</td> <td>6.7</td> <td>0.98</td> <td>5.60</td> <td>5.60</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Increase (%)</td> <td>Refrigerator</td> <td>505</td> <td></td> <td></td> <td>504</td> <td rowspan="2">506</td> </tr> <tr> <td>Freezer</td> <td>509</td> <td></td> <td></td> <td>524</td> </tr> </tbody> </table> <p>Table 2 – Electrical consumption associated to I on 1 h basis.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Seal</th> <th>Compressor power (W)</th> <th>Compressor Energy (Wh)</th> <th>% of energy to I</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>New</td> <td>45.5</td> <td>45.5</td> <td>7.1</td> </tr> <tr> <td>Old</td> <td>63.7</td> <td>63.7</td> <td>31.3</td> </tr> <tr> <td>Increase (%)</td> <td>40</td> <td>40</td> <td>341</td> </tr> </tbody> </table> <p>Table 9 – Coefficient of performance for the refrigerator with new and old seals.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Energy usage (COP)</th> <th>New seals test (Wh)</th> <th>Old seals test (Wh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Element</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W_{comp}</td> <td>Power consumed by the compressor</td> <td>45.5</td> <td>63.7</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Q_{cool}</td> <td>Useful ratio of heat supplied</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Infiltration 3.29</td> <td>19.9</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Heat transfer through walls</td> <td>89.0</td> <td>87.7</td> </tr> <tr> <td colspan="2">COP $\propto Q_{cool}/W_{comp}$</td> <td>Coefficient of performance</td> <td>2.03</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1.69</td> </tr> </tbody> </table>	Seal	Cabin	I (ACH)	R ²	Q (W)	Q (Wh)	Total Q (Wh)	New	Refrigerator	2.1	0.95	2.35	2.35	3.28	Freezer	1.1	0.97	0.93	0.93	Old	Refrigerator	12.7	0.97	14.20	14.20	19.90	Freezer	6.7	0.98	5.60	5.60	Increase (%)	Refrigerator	505			504	506	Freezer	509			524	Seal	Compressor power (W)	Compressor Energy (Wh)	% of energy to I	New	45.5	45.5	7.1	Old	63.7	63.7	31.3	Increase (%)	40	40	341	Energy usage (COP)		New seals test (Wh)	Old seals test (Wh)	Element				W_{comp}	Power consumed by the compressor	45.5	63.7	Q_{cool}	Useful ratio of heat supplied				Infiltration 3.29	19.9		Heat transfer through walls	89.0	87.7	COP $\propto Q_{cool}/W_{comp}$		Coefficient of performance	2.03				1.69	<p>Standardized test conditions for energy consumption evaluation.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Test standard</th> <th>Year</th> <th>Domain</th> <th>Ambient (°C)</th> <th>Fresh-food (°C)</th> <th>Freezer (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AHAM HRF-1</td> <td>2004</td> <td>North America</td> <td>32.2</td> <td>7.2</td> <td>-9.4 or -15.0</td> </tr> <tr> <td>AS/NZS 4474.1</td> <td>1997</td> <td>Australasia</td> <td>32.0</td> <td>3.0</td> <td>-9.0 or -15.0</td> </tr> <tr> <td>JIS C 9607</td> <td>1996</td> <td>Japan</td> <td>15.0 or 30.0</td> <td>3.0</td> <td>-6.0, -12.0</td> </tr> <tr> <td>ISO 8561</td> <td>1995</td> <td>International</td> <td>25.0 or 32.0</td> <td>5.0</td> <td>-6.0, -12.0</td> </tr> <tr> <td>ISO 15502</td> <td>2005</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-6.0, -12.0</td> </tr> <tr> <td>IEC 62852</td> <td>2007</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-18.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>Top-mount results: no covering (original configuration).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>ISO</th> <th>SSE</th> <th>Difference, %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Thermal load, W</td> <td>e</td> <td>75.2</td> <td>e</td> </tr> <tr> <td>Cooling capacity, W</td> <td>e</td> <td>106.8</td> <td>e</td> </tr> <tr> <td>Coefficient of performance, e</td> <td>e</td> <td>1.04</td> <td>e</td> </tr> <tr> <td>Runtime, %</td> <td>71.4</td> <td>68.0</td> <td>4.8</td> </tr> <tr> <td>Energy consumption, kWh/month</td> <td>54.5</td> <td>50.3</td> <td>7.7</td> </tr> </tbody> </table>	Test standard	Year	Domain	Ambient (°C)	Fresh-food (°C)	Freezer (°C)	AHAM HRF-1	2004	North America	32.2	7.2	-9.4 or -15.0	AS/NZS 4474.1	1997	Australasia	32.0	3.0	-9.0 or -15.0	JIS C 9607	1996	Japan	15.0 or 30.0	3.0	-6.0, -12.0	ISO 8561	1995	International	25.0 or 32.0	5.0	-6.0, -12.0	ISO 15502	2005				-6.0, -12.0	IEC 62852	2007				-18.0		ISO	SSE	Difference, %	Thermal load, W	e	75.2	e	Cooling capacity, W	e	106.8	e	Coefficient of performance, e	e	1.04	e	Runtime, %	71.4	68.0	4.8	Energy consumption, kWh/month	54.5	50.3	7.7
Seal	Cabin	I (ACH)	R ²	Q (W)	Q (Wh)	Total Q (Wh)																																																																																																																																																								
New	Refrigerator	2.1	0.95	2.35	2.35	3.28																																																																																																																																																								
	Freezer	1.1	0.97	0.93	0.93																																																																																																																																																									
Old	Refrigerator	12.7	0.97	14.20	14.20	19.90																																																																																																																																																								
	Freezer	6.7	0.98	5.60	5.60																																																																																																																																																									
Increase (%)	Refrigerator	505			504	506																																																																																																																																																								
	Freezer	509			524																																																																																																																																																									
Seal	Compressor power (W)	Compressor Energy (Wh)	% of energy to I																																																																																																																																																											
New	45.5	45.5	7.1																																																																																																																																																											
Old	63.7	63.7	31.3																																																																																																																																																											
Increase (%)	40	40	341																																																																																																																																																											
Energy usage (COP)		New seals test (Wh)	Old seals test (Wh)																																																																																																																																																											
Element																																																																																																																																																														
W_{comp}	Power consumed by the compressor	45.5	63.7																																																																																																																																																											
Q_{cool}	Useful ratio of heat supplied																																																																																																																																																													
		Infiltration 3.29	19.9																																																																																																																																																											
	Heat transfer through walls	89.0	87.7																																																																																																																																																											
COP $\propto Q_{cool}/W_{comp}$		Coefficient of performance	2.03																																																																																																																																																											
			1.69																																																																																																																																																											
Test standard	Year	Domain	Ambient (°C)	Fresh-food (°C)	Freezer (°C)																																																																																																																																																									
AHAM HRF-1	2004	North America	32.2	7.2	-9.4 or -15.0																																																																																																																																																									
AS/NZS 4474.1	1997	Australasia	32.0	3.0	-9.0 or -15.0																																																																																																																																																									
JIS C 9607	1996	Japan	15.0 or 30.0	3.0	-6.0, -12.0																																																																																																																																																									
ISO 8561	1995	International	25.0 or 32.0	5.0	-6.0, -12.0																																																																																																																																																									
ISO 15502	2005				-6.0, -12.0																																																																																																																																																									
IEC 62852	2007				-18.0																																																																																																																																																									
	ISO	SSE	Difference, %																																																																																																																																																											
Thermal load, W	e	75.2	e																																																																																																																																																											
Cooling capacity, W	e	106.8	e																																																																																																																																																											
Coefficient of performance, e	e	1.04	e																																																																																																																																																											
Runtime, %	71.4	68.0	4.8																																																																																																																																																											
Energy consumption, kWh/month	54.5	50.3	7.7																																																																																																																																																											

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

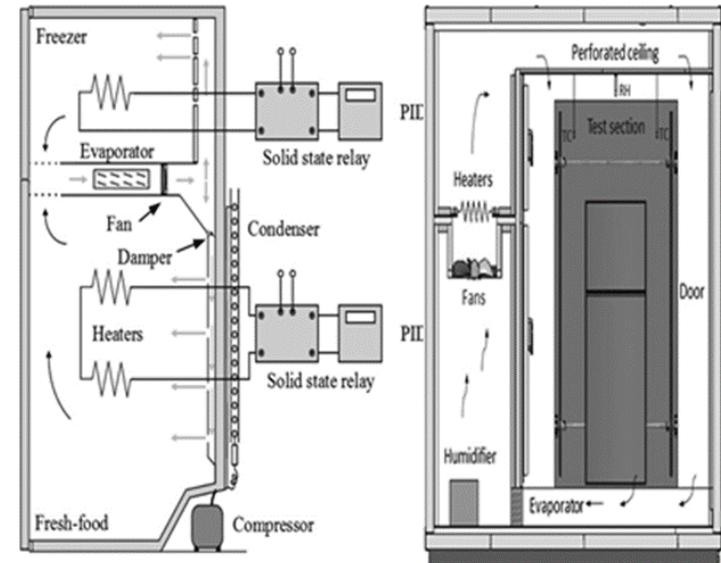
ARTICULO	<p>Air infiltration in domestic refrigerators: The influence of the magnetic seals conservation.</p>	<p>Alternative test method to assess the energy performance of frost-free refrigerating appliances.</p>
VENTAJAS	<p>Se puede determinar la eficiencia y el consumo energético sin ser un método invasivo en el refrigerador doméstico. • Se puede hacer en cualquier refrigerador con sellos magnéticos.</p>	<p>Se puede determinar la eficiencia y el consumo energético en tiempo real, puede quedar permanente en el refrigerador. • Es un método confiable para ver el deterioro del refrigerador con los años de uso. • Se puede hacer en cualquier refrigerador doméstico. • Confiabilidad en las medidas 5% de diferencia. • Mejor funcionamiento del refrigerador por compartimientos internos.</p>
DESVENTAJAS	<p>Los sellos deben estar en óptimo estado. • Si los sellos están defectuosos la prueba no es concluyente para determinar la eficiencia del refrigerador. • No es permanente por lo que la inversión se debe hacer en cada prueba a ejecutar.</p>	<p>Se debe hacer una inversión inicial en equipos de medición. • En los refrigeradores usados se debe hacer una instalación invasiva (perforaciones). • No es un método todavía estandarizado.</p>

ARTICULO

Air infiltration in domestic refrigerators: The influence of the magnetic seals conservation.

Alternative test method to assess the energy performance of frost-free refrigerating appliances.

ILUSTRACIONES



 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ARTICULO	<p>Enhancements in domestic refrigeration, approaching asustainable refrigerator – A review.</p>	<p>Experimental analysis of heat transfer and airflow in a closed refrigerated display cabinet.</p>
AUTOR & AÑO	<p>J.M. Belman Flores n, J.M.Barroso Maldonado, A.P.Rodríguez Muñoz, G.Camacho-Vázquez; 2015</p>	<p>Nattawut Chaomuanga, Denis Flickb, Alain Denisa , Onrawee Laguerre; 2019</p>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ARTICULO	<p>Enhancements in domestic refrigeration, approaching asustainable refrigerator – A review.</p>	<p>Experimental analysis of heat transfer and airflow in a closed refrigerated display cabinet.</p>
DESARROLLO DEL METODO	<p>Este método presento una revisión exhaustiva de la investigación con mayor impacto en la refrigeración doméstica, basada en la compresión de vapor, como modelado, estratificación térmica, control, refrigerantes ambientalmente inocuos, termolisolación y sistemas híbridos, entre otros. Se propone una metodología para simular el comportamiento dinámico de refrigeradores domésticos. El modelo se utilizó para evaluar la influencia de varios parámetros de ingeniería del desempeño energético; este modelo validado experimentalmente, muestra el comportamiento dinámico presente para el refrigerador doméstico indirecto multicompartmental donde pueden predecir el comportamiento térmico y el consumo de energía del frigorífico.</p>	<p>Este método presenta las investigaciones experimentales sobre transferencia de calor y flujo de aire en una pantalla refrigerada cerrada de gabinete. Las temperaturas del aire, del producto y la velocidad del aire se midieron con termopares y un anemómetro; las áreas delanteras contribuyeron a una temperatura más alta, mientras que las áreas traseras estaban a una temperatura más baja. Los beneficios de las puertas también fueron examinados comparando los resultados de las temperaturas del aire y del producto con el caso sin puertas.</p>

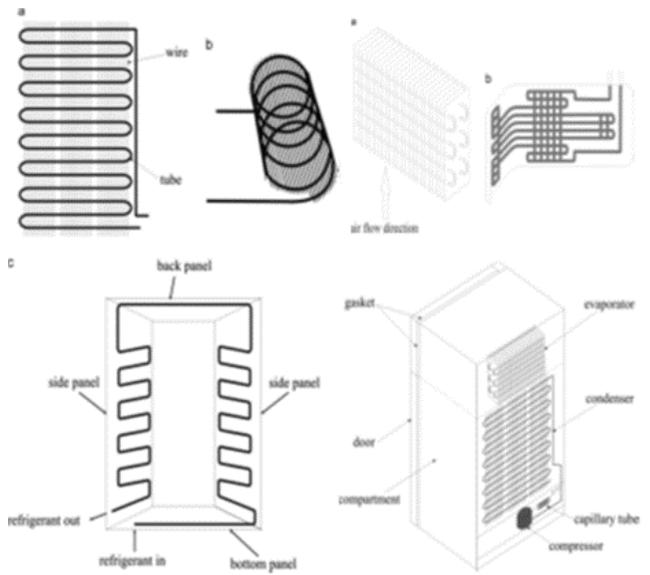
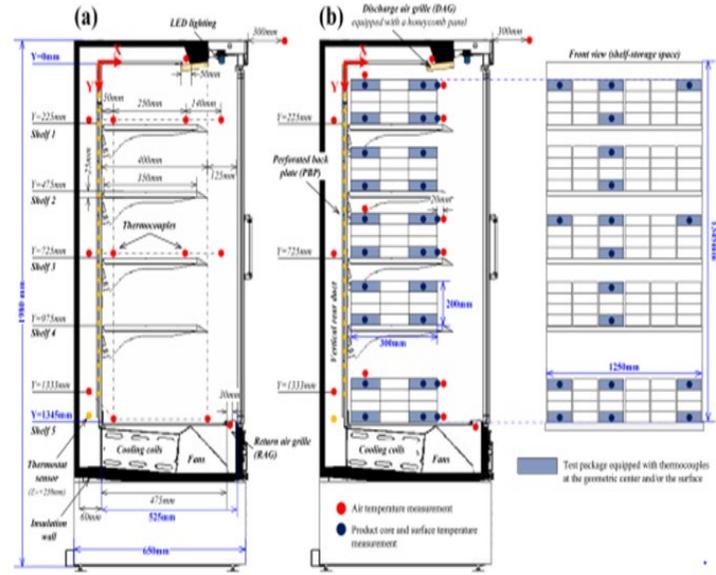
 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ARTICULO	<p>Enhancements in domestic refrigeration, approaching asustainable refrigerator – A review.</p>	<p>Experimental analysis of heat transfer and airflow in a closed refrigerated display cabinet.</p>
RESULTADOS DEL METODO	<p>Los resultados presentan una revisión completa de investigaciones en enfriamiento doméstico basado en vapor de compresión, tendencias principales en los últimos años en el desarrollo de los sistemas de generación de frío que utilizan la energía de una manera más eficiente y racional, opciones que pueden aumentar la eficiencia energética del refrigerador doméstico que incluyen mejoras en aislamiento, sellos magnéticos, sistema de refrigeración, mecanismo (descongelación, control de temperatura) y estratificación térmica mínima en los compartimentos.</p>	<p>El coeficiente de transferencia de la vitrina cerrada fue de 5 a 10 veces superior a los de los refrigeradores domésticos cuyo valor era la escasa capacidad de aislamiento de la vitrina en comparación con la de los refrigeradores domésticos, se puede explicar principalmente por una mayor tasa de transferencia de calor a través de las puertas y paredes laterales, con un coeficiente de transferencia de calor por conducción de 1,13 W que son menos aislados que los de los frigoríficos domésticos 0,67 W (Laguerre y Flick, 2004). Por pérdidas convectivas a través de las brechas alrededor de las puertas y a través de puentes térmicos, las conexiones entre los componentes internos y externos del sistema de refrigeración, las pérdidas de calor a través de las paredes, las puertas, brechas y puentes térmicos fueron responsables de aproximadamente el 70% de la temperatura total de transmisión de la vitrina.</p>

ARTICULO	Enhancements in domestic refrigeration, approaching asustainable refrigerator – A review.	Experimental analysis of heat transfer and airflow in a closed refrigerated display cabinet.																																																																																																																																																																																																								
CONFIGURACIONES DE RESULTADOS	<p>Relevant properties of most commonly used refrigerants in domestic refrigeration.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Refrigerant</th> <th>Boiling point (°C)</th> <th>Critical temperature (°C)</th> <th>Critical pressure (kPa)</th> <th>ODP</th> <th>GWP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>R134a</td><td>-26.1</td><td>101.1</td><td>4060</td><td>0</td><td>1200</td></tr> <tr><td>R152a</td><td>-25</td><td>113.5</td><td>4492</td><td>0</td><td>120</td></tr> <tr><td>R1234yf</td><td>-29</td><td>95</td><td>3400</td><td>0</td><td>4</td></tr> <tr><td>R436A</td><td>-34.3</td><td>130.1</td><td>3390</td><td>0</td><td>3</td></tr> <tr><td>R600a</td><td>-11.6</td><td>135</td><td>3645</td><td>0</td><td>20</td></tr> <tr><td>R600</td><td>-0.5</td><td>152.0</td><td>3794</td><td>0</td><td>20</td></tr> <tr><td>R290</td><td>-42.09</td><td>96.70</td><td>4248</td><td>0</td><td>20</td></tr> <tr><td>R413A</td><td>-33</td><td>98.5</td><td>4169</td><td>0</td><td>1775</td></tr> </tbody> </table>	Refrigerant	Boiling point (°C)	Critical temperature (°C)	Critical pressure (kPa)	ODP	GWP	R134a	-26.1	101.1	4060	0	1200	R152a	-25	113.5	4492	0	120	R1234yf	-29	95	3400	0	4	R436A	-34.3	130.1	3390	0	3	R600a	-11.6	135	3645	0	20	R600	-0.5	152.0	3794	0	20	R290	-42.09	96.70	4248	0	20	R413A	-33	98.5	4169	0	1775	<p>Percentage of perforated area (PPA) on different shelves.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Shelves</th> <th>Plate area (m²)</th> <th>Percentage of perforation (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Shelf 1 (top)</td><td>0.28</td><td>2.3</td></tr> <tr><td>Shelf 2-4</td><td>0.28</td><td>3.8</td></tr> <tr><td>Shelf 5 (bottom)</td><td>0.44</td><td>8.3</td></tr> <tr><td>Total plate</td><td>1.68*</td><td>4.4</td></tr> </tbody> </table> <p>* Total plate area includes the area covered by shelf thickness (0.03 m²).</p> <p>Mean temperature and standard deviation (°C) during quasi-steady state at various positions within the food storage zone on the left, middle and right planes for a room temperature of 19°C.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Planes</th> <th colspan="7">Positions</th> </tr> <tr> <th>e</th> <th>f</th> <th>g</th> <th>h</th> <th>i</th> <th>j</th> <th>All</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Left</td><td>0.9 ± 0.6</td><td>1.8 ± 0.5</td><td>0.4 ± 0.5</td><td>0.9 ± 0.6</td><td>-0.6 ± 1.1</td><td>0.1 ± 1.2</td><td>0.6 ± 1.1</td></tr> <tr><td>Middle</td><td>0.5 ± 0.7</td><td>1.1 ± 0.8</td><td>0.3 ± 0.6</td><td>0.6 ± 0.6</td><td>-0.6 ± 1.3</td><td>-0.2 ± 1.0</td><td>0.3 ± 1.0</td></tr> <tr><td>Right</td><td>0.8 ± 0.5</td><td>2.0 ± 0.4</td><td>0.6 ± 0.6</td><td>1.6 ± 0.7</td><td>-0.1 ± 0.9</td><td>1.1 ± 1.1</td><td>1.0 ± 1.0</td></tr> <tr><td>All planes</td><td>0.7 ± 0.6</td><td>1.6 ± 0.7</td><td>0.4 ± 0.6</td><td>1.0 ± 0.7</td><td>-0.4 ± 1.1</td><td>0.3 ± 1.2</td><td>0.6 ± 1.1</td></tr> </tbody> </table> <p>Effect of ambient temperatures on the internal air temperature of the closed display cabinet.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">T_{amb} (°C)</th> <th rowspan="2">T_{int}-T_a (°C)</th> <th rowspan="2">Number of compressor 'on' cycles/5h</th> <th colspan="6">Temperature difference and time-averaged dimensionless temperature at a given position</th> <th rowspan="2">All positions</th> </tr> <tr> <th>e</th> <th>f</th> <th>g</th> <th>h</th> <th>i</th> <th>j</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">15 ± 0.5</td> <td rowspan="2">15.2</td> <td rowspan="2">36</td> <td>T_{int}</td> <td>1.1</td> <td>1.7</td> <td>1.0</td> <td>1.4</td> <td>0.3</td> <td>0.8</td> <td>1.1</td> </tr> <tr> <td>T'</td> <td>0.07</td> <td>0.11</td> <td>0.06</td> <td>0.09</td> <td>0.02</td> <td>0.06</td> <td>0.07</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">19 ± 0.4</td> <td rowspan="2">20.3</td> <td rowspan="2">44</td> <td>T_{int}</td> <td>1.5</td> <td>2.4</td> <td>1.2</td> <td>1.8</td> <td>0.4</td> <td>1.1</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td>T'</td> <td>0.08</td> <td>0.12</td> <td>0.06</td> <td>0.09</td> <td>0.02</td> <td>0.06</td> <td>0.07</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">24 ± 0.3</td> <td rowspan="2">25.4</td> <td rowspan="2">52</td> <td>T_{int}</td> <td>2.3</td> <td>3.7</td> <td>1.6</td> <td>2.4</td> <td>0.6</td> <td>1.5</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>T'</td> <td>0.09</td> <td>0.14</td> <td>0.06</td> <td>0.09</td> <td>0.02</td> <td>0.06</td> <td>0.08</td> </tr> <tr> <td colspan="3">All ambient temperatures</td> <td>T'</td> <td>0.08</td> <td>0.12</td> <td>0.06</td> <td>0.09</td> <td>0.02</td> <td>0.06</td> <td>0.07</td> </tr> </tbody> </table>	Shelves	Plate area (m ²)	Percentage of perforation (%)	Shelf 1 (top)	0.28	2.3	Shelf 2-4	0.28	3.8	Shelf 5 (bottom)	0.44	8.3	Total plate	1.68*	4.4	Planes	Positions							e	f	g	h	i	j	All	Left	0.9 ± 0.6	1.8 ± 0.5	0.4 ± 0.5	0.9 ± 0.6	-0.6 ± 1.1	0.1 ± 1.2	0.6 ± 1.1	Middle	0.5 ± 0.7	1.1 ± 0.8	0.3 ± 0.6	0.6 ± 0.6	-0.6 ± 1.3	-0.2 ± 1.0	0.3 ± 1.0	Right	0.8 ± 0.5	2.0 ± 0.4	0.6 ± 0.6	1.6 ± 0.7	-0.1 ± 0.9	1.1 ± 1.1	1.0 ± 1.0	All planes	0.7 ± 0.6	1.6 ± 0.7	0.4 ± 0.6	1.0 ± 0.7	-0.4 ± 1.1	0.3 ± 1.2	0.6 ± 1.1	T _{amb} (°C)	T _{int} -T _a (°C)	Number of compressor 'on' cycles/5h	Temperature difference and time-averaged dimensionless temperature at a given position						All positions	e	f	g	h	i	j	15 ± 0.5	15.2	36	T _{int}	1.1	1.7	1.0	1.4	0.3	0.8	1.1	T'	0.07	0.11	0.06	0.09	0.02	0.06	0.07	19 ± 0.4	20.3	44	T _{int}	1.5	2.4	1.2	1.8	0.4	1.1	1.4	T'	0.08	0.12	0.06	0.09	0.02	0.06	0.07	24 ± 0.3	25.4	52	T _{int}	2.3	3.7	1.6	2.4	0.6	1.5	2.0	T'	0.09	0.14	0.06	0.09	0.02	0.06	0.08	All ambient temperatures			T'	0.08	0.12	0.06	0.09	0.02	0.06	0.07
Refrigerant	Boiling point (°C)	Critical temperature (°C)	Critical pressure (kPa)	ODP	GWP																																																																																																																																																																																																					
R134a	-26.1	101.1	4060	0	1200																																																																																																																																																																																																					
R152a	-25	113.5	4492	0	120																																																																																																																																																																																																					
R1234yf	-29	95	3400	0	4																																																																																																																																																																																																					
R436A	-34.3	130.1	3390	0	3																																																																																																																																																																																																					
R600a	-11.6	135	3645	0	20																																																																																																																																																																																																					
R600	-0.5	152.0	3794	0	20																																																																																																																																																																																																					
R290	-42.09	96.70	4248	0	20																																																																																																																																																																																																					
R413A	-33	98.5	4169	0	1775																																																																																																																																																																																																					
Shelves	Plate area (m ²)	Percentage of perforation (%)																																																																																																																																																																																																								
Shelf 1 (top)	0.28	2.3																																																																																																																																																																																																								
Shelf 2-4	0.28	3.8																																																																																																																																																																																																								
Shelf 5 (bottom)	0.44	8.3																																																																																																																																																																																																								
Total plate	1.68*	4.4																																																																																																																																																																																																								
Planes	Positions																																																																																																																																																																																																									
	e	f	g	h	i	j	All																																																																																																																																																																																																			
Left	0.9 ± 0.6	1.8 ± 0.5	0.4 ± 0.5	0.9 ± 0.6	-0.6 ± 1.1	0.1 ± 1.2	0.6 ± 1.1																																																																																																																																																																																																			
Middle	0.5 ± 0.7	1.1 ± 0.8	0.3 ± 0.6	0.6 ± 0.6	-0.6 ± 1.3	-0.2 ± 1.0	0.3 ± 1.0																																																																																																																																																																																																			
Right	0.8 ± 0.5	2.0 ± 0.4	0.6 ± 0.6	1.6 ± 0.7	-0.1 ± 0.9	1.1 ± 1.1	1.0 ± 1.0																																																																																																																																																																																																			
All planes	0.7 ± 0.6	1.6 ± 0.7	0.4 ± 0.6	1.0 ± 0.7	-0.4 ± 1.1	0.3 ± 1.2	0.6 ± 1.1																																																																																																																																																																																																			
T _{amb} (°C)	T _{int} -T _a (°C)	Number of compressor 'on' cycles/5h	Temperature difference and time-averaged dimensionless temperature at a given position						All positions																																																																																																																																																																																																	
			e	f	g	h	i	j																																																																																																																																																																																																		
15 ± 0.5	15.2	36	T _{int}	1.1	1.7	1.0	1.4	0.3	0.8	1.1																																																																																																																																																																																																
			T'	0.07	0.11	0.06	0.09	0.02	0.06	0.07																																																																																																																																																																																																
19 ± 0.4	20.3	44	T _{int}	1.5	2.4	1.2	1.8	0.4	1.1	1.4																																																																																																																																																																																																
			T'	0.08	0.12	0.06	0.09	0.02	0.06	0.07																																																																																																																																																																																																
24 ± 0.3	25.4	52	T _{int}	2.3	3.7	1.6	2.4	0.6	1.5	2.0																																																																																																																																																																																																
			T'	0.09	0.14	0.06	0.09	0.02	0.06	0.08																																																																																																																																																																																																
All ambient temperatures			T'	0.08	0.12	0.06	0.09	0.02	0.06	0.07																																																																																																																																																																																																

ARTICULO	<p>Enhancements in domestic refrigeration, approaching asustainable refrigerator – A review.</p>	<p>Experimental analysis of heat transfer and airflow in a closed refrigerated display cabinet.</p>
VENTAJAS	<p>Impulsar el desarrollo de tecnología en compresión alterna de sistemas que minimizan el consumo de energía eléctrica. • Presentan resultados experimentales en el condensador de su optimización, encontrando mejoras en el diseño con un 3% de ganancia en la capacidad térmica y reduciendo el peso del intercambiador en un 6%. • El consumo de energía se puede reducir mediante el uso de un controlador en el compresor. • Refrigeradores que son capaces de descongelar automáticamente. • Diseño, construcción de ventiladores y controladores con bajo consumo de energía, alto caudal interno y bajo nivel de ruido.</p>	<p>Aprovechamiento de la compresión principal de los mecanismos térmicos en el equipo en condición de puertas cerradas. • La temperatura ambiente tiene una influencia lineal en la temperatura del aire interior utilizando la temperatura del termostato como referencia de encendido en el compresor, generando un menor consumo energético de la vitrina. • Se encontraron perfiles de temperatura en condiciones de carga y descarga, el frente del estante superior se encuentra expuesto a temperaturas más altas, mientras que en la parte trasera del estante inferior se encuentra expuesta a las temperaturas más bajas en comparación con el armario sin puertas, donde el resultado confirma que cerrado la puerta puede lograr un mejor rendimiento de temperatura.</p>

ARTICULO	<p>Enhancements in domestic refrigeration, approaching asustainable refrigerator – A review.</p>	<p>Experimental analysis of heat transfer and airflow in a closed refrigerated display cabinet.</p>
DESVENTAJAS	<p>El motor eléctrico no aprovecha completamente toda la energía proporcionada para comprimir el refrigerante. • Transferencia de energía relacionada con la infiltración de aire que ocurre principalmente a través de los sellos magnéticos de las puertas. • La pérdida de calor a través de los sellos magnéticos puede llegar hasta el 30% del total del consumo energético. • Poca información de la fabricación de sellos magnéticos ya que son patentados por cada fabricante de refrigeradores.</p>	<p>En condición de puertas abiertas las fluctuaciones periódicas de temperatura, pequeñas y grandes eran regularmente pérdidas potenciales de energía correspondiente al ciclo de encendido / apagado del compresor ya que se generaba un ciclo de descongelación superior. • En la zona de almacenamiento de alimentos en condiciones de descarga con puertas abiertas, la temperatura del aire nunca superó los 2°C y la amplitud de la fluctuación es tolerable con una desviación estándar de aproximadamente 1°C, pero a mayor uso del compresor.</p>

ARTICULO	<p>Enhancements in domestic refrigeration, approaching asustainable refrigerator – A review.</p>	<p>Experimental analysis of heat transfer and airflow in a closed refrigerated display cabinet.</p>
ILUSTRACIONES		

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ARTICULO	<p>Experimental study of heat transfer characteristics for a refrigerator by using reverse heat loss method.</p>	<p>Environmental Effect Evaluation of Refrigerator Cycle with Life Cycle Climate Performance.</p>
AUTOR & AÑO	<p>Jae Seong Sim, Ji Soo Ha.</p>	<p>Seyoung Choi, Yujun Jung, Yonghan Kim, Hoseong Lee, Yunho Hwang; 2020</p>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ARTICULO	<p>Experimental study of heat transfer characteristics for a refrigerator by using reverse heat loss method.</p>	<p>Environmental Effect Evaluation of Refrigerator Cycle with Life Cycle Climate Performance.</p>
DESARROLLO DEL METODO	<p>Este método predice las características de transferencia de calor de un refrigerador residencial a través de la pared de aislamiento mediante el método de pérdida de calor inversa.</p>	<p>Este método presenta para los efectos ambientales de los refrigeradores domésticos recientemente desarrollados en términos de desempeño climático del ciclo de vida. El modelo de consumo energético del frigorífico se desarrolla con tres tipos de frigoríficos de un solo evaporador típicos. La relación de funcionamiento de los evaporadores, que es fundamental para calcular el consumo de energía de refrigeradores de doble evaporador, se determina utilizando resultados experimentales de serie, bypass y refrigeradores de ciclo de circuito paralelo.</p>

ARTICULO	<p>Experimental study of heat transfer characteristics for a refrigerator by using reverse heat loss method.</p>	<p>Environmental Effect Evaluation of Refrigerator Cycle with Life Cycle Climate Performance.</p>
RESULTADOS DEL METODO	<p>Los resultados promediaron las entradas de temperatura y calor con datos de una hora y considerada como la temperatura de estado estable y la entrada de calor. A partir de los valores medidos de temperatura y entrada de calor, se puede concluir que las diferencias de temperatura entre el interior y el exterior de un refrigerador tiene una relación casi lineal con la entrada de calor; los coeficientes generales de transferencia de calor se han derivado mediante la introducción de la función de pérdida de calor óptima para analizar las características de pérdida de calor. La exactitud de la predicción de la pérdida de calor se ha verificado con varios datos experimentales y los errores normalizados de los resultados obtenidos se encuentran dentro del 2,5%.</p>	<p>Los resultados del consumo anual de energía del ciclo en serie se redujeron en un 2,2%, el del ciclo de bypass en un 4,3% y el del ciclo en paralelo en un 8,9%. Los consumos de energía del eyector y del ciclo de dos etapas se redujeron en un 12,6% y 16,8%; El ciclo paralelo indicó el consumo de energía más bajo entre los ciclos de evaporador doble, el eyector y los ciclos de dos etapas fueron más eficientes. El ciclo de dos etapas indicó el menor consumo de energía para refrigeradores domésticos. El condensador en espiral de aluminio redujo el consumo de energía en un 3,4% en comparación con el condensador en espiral de acero. Usando un condensador de aluminio en espiral en el refrigerador doméstico, la fabricación de equipos en las emisiones aumentó un 2,4%, mientras que las emisiones de consumo de energía se redujeron un 3%; finalmente, las emisiones totales se redujeron entre un 2% y un 2,5% en comparación con las del condensador de acero en espiral.</p>

ARTICULO

Experimental study of heat transfer characteristics for a refrigerator by using reverse heat loss method.

Environmental Effect Evaluation of Refrigerator Cycle with Life Cycle Climate Performance.

CONFIGURACIONES DE RESULTADOS

Spatial mean temperature distribution with circulating fans.

Position	Upper_left	Lower_left	Upper_right	Lower_right	Center	Mean
Refrigerator side (°C)	8.84	8.76	8.64	8.61	9.10	8.79
Difference from the mean (%)	-0.57	-0.34	-1.71	-2.05	3.52	
Freezer side (°C)	33.97	33.85	34.42	34.35	34.89	34.30
Difference from the mean (%)	-0.96	-1.31	0.35	0.15	1.72	

Spatial mean temperature distribution without a circulating fan.

Position	Upper_left	Lower_left	Upper_right	Lower_right	Center	Mean
Refrigerator side (°C)	12.02	7.35	11.85	7.12	9.75	9.62
Difference from the mean (%)	24.95	-9.62	23.18	25.99	1.35	
Freezer side (°C)	38.61	33.25	38.14	32.87	35.60	35.70
Difference from the mean (%)	8.15	-6.86	6.83	-7.93	-0.28	

The residual errors of Q_c and Q_f for the 8 operating conditions of the 2 sample refrigerators.

		Residual error of Q_c (%)		Residual error of Q_f (%)	
		Case	Value	Case	Value
1st sample	Case 1	2.08	1.95		
	Case 2	0.19	0.42		
	Case 3	0.52	0.17		
	Case 4	0.66	0.61		
	Case 5	0.37	1.04		
2nd sample	Case 1	2.23	1.79		
	Case 2	1.37	1.12		
	Case 3	0.90	0.01		

Parameter	Value	Uncertainty			Unit	
		Systematic	Random	Total		
Measured value	Suction temperature	36.3	0.5	0.124	0.624	°C
	Dryer temperature	54.0	0.5	0.137	0.637	°C
	Low pressure	39.0	2.5	2.452	4.952	kPa
	High pressure	512.0	2.5	2.653	5.153	kPa
Calculated value	Voltage	221.7	0.61	0.226	0.836	V
	Suction enthalpy	743.8	-	-	1.112	kJ/kg
	Evap. in enthalpy	421.8	-	-	1.651	kJ/kg
	Heat transfer capacity	322.0	-	-	1.990	kJ/kg
Power	70.8			0.528	W	

Refrigerator type	Serial-circuit cycle		Bypass-circuit cycle		Parallel-circuit cycle	
	FZC and FFC	FZC	FZC and FFC	FZC	FFC	FZC
Operation mode						
FZC evap. out [°C]	-23.4	-29.2	-23.2	-29.3	-4.4	0.1
FFC evap. out [°C]	-21.4	-25.9	-22.3	-29.2	-20.6	-29.4
Discharge [°C]	43.1	42.2	39.6	39.8	35.7	35.4
Dryer [°C]	25.7	24.4	24.9	23.6	24.3	23.0
Suction [°C]	21.9	21.7	21.3	21.4	21.1	20.0
Low pressure [kPa]	102.0	79.3	119.3	88.2	51.5	37.4
High pressure [kPa]	690.1	657.0	685.3	646.7	354.1	336.7
Power [W]	83.4	69.8	79.4	64	55.9	47.4
Operation time [min]	11.5	21.5	6.5	26	14	21
PR [-]	6.8	8.3	5.7	7.3	6.9	9.0
Operation ratio [%]	34.8	65.2	20	80	40	60

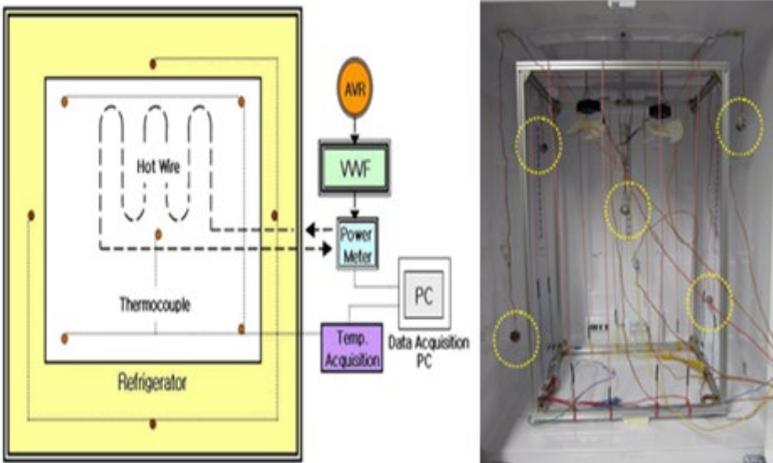
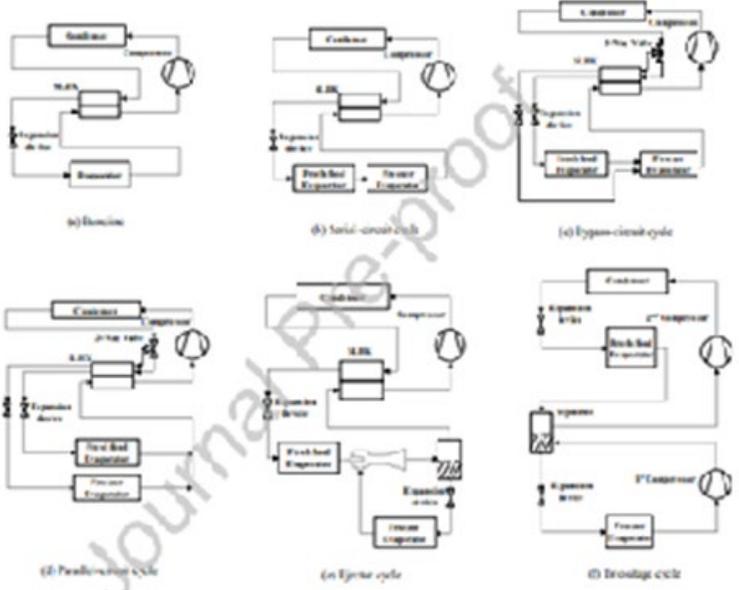
Year	Baseline	Serial-circuit	Bypass-circuit	Parallel-circuit	Ejector cycle	Two-stage cycle
1st year	456	445	436	415	398	379
2nd year	470	458	449	427	410	391
3rd year	483	471	462	440	422	402
4th year	497	485	475	452	434	413
5th year	504	491	481	458	440	419
6th year	513	500	490	467	448	427
7th year	520	507	497	473	454	432
8th year	527	513	503	479	460	438
9th year	534	520	510	485	466	444
10th year	538	525	514	489	470	447
11th year	543	529	518	494	474	451
12th year	545	531	521	496	476	453
13th year	547	533	523	498	478	455
14th year	548	534	524	499	479	456
15th year	550	536	525	500	480	457

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ARTICULO	<p>Experimental study of heat transfer characteristics for a refrigerator by using reverse heat loss method.</p>	<p>Environmental Effect Evaluation of Refrigerator Cycle with Life Cycle Climate Performance.</p>
VENTAJAS	<p>Instalación de ventiladores de circulación que se utilizan para hacer que la temperatura espacial sea uniforme en todos los compartimentos del refrigerador registrando una pequeña variación de 3,2%. • Se concluye que la variación de la pérdida de temperatura interna del frigorífico es de comportamiento lineal, la cual se recupera a mayor velocidad y menor trabajo del compresor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El aluminio se ha utilizado durante mucho tiempo en los evaporadores de refrigeradores domésticos. • Recientemente, se ha incrementado el uso de aluminio en refrigeradores porque es más barato que el cobre y tiene una conductividad térmica más alta que el acero. • El aluminio se estudia para uso en condensadores, bobinas de motores de compresores y tuberías de succión. • Los condensadores de aluminio en los refrigeradores domésticos se han incrementado para lograr una mejor reducción en el consumo de energía en un 3,4% en comparación con el condensador en espiral de acero debido a su mayor capacidad calorífica.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ARTICULO	<p>Experimental study of heat transfer characteristics for a refrigerator by using reverse heat loss method.</p>	<p>Environmental Effect Evaluation of Refrigerator Cycle with Life Cycle Climate Performance.</p>
DESVENTAJAS	<p>Cuando el refrigerador no tiene instalado ventiladores de circulación su temperatura en los compartimentos muestra una diferencia superior al 25% en lo cual genera mayor trabajo al compresor. • Cuando se genera un trabajo constante en el compresor, este genera temperaturas altas las cuales se transfieren a través de las paredes externas del frigorífico</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Las emisiones CO2 en la manufactura constituyeron la segunda porción más grande de las emisiones totales en la fabricación de refrigeradores. • En el futuro, si se incrementa el suministro de energía renovable, los materiales frigoríficos y refrigerantes serían factores más críticos para el LCCP de refrigeradores domésticos. En el futuro la investigación se centraría en el uso de refrigerantes de bajo GWP y materiales de bajas emisiones.

ARTICULO	<p>Experimental study of heat transfer characteristics for a refrigerator by using reverse heat loss method.</p>	<p>Environmental Effect Evaluation of Refrigerator Cycle with Life Cycle Climate Performance.</p>
ILUSTRACIONES		

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ARTICULO	Heat exchanger optimization of a domestic refrigerator with separate cooling circuits.	Thermal management and performance enhancement of domestic refrigerators and freezers via phase change materials: A review.
AUTOR & AÑO	Tuğba Tosun, Mert Tosun; 2019	Adil A.M. Omaraa, Abubaker A.M. Mohammedali; 2020

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ARTICULO	<p>Heat exchanger optimization of a domestic refrigerator with separate cooling circuits.</p>	<p>Thermal management and performance enhancement of domestic refrigerators and freezers via phase change materials: A review.</p>
DESARROLLO DEL METODO	<p>El método consiste en los efectos del tipo y la geometría del evaporador, el diámetro del tubo capilar y la longitud del capilar en el rendimiento del sistema de refrigeración y el consumo de energía en el ciclo de dos circuitos de derivación que han examinado experimentalmente.</p>	<p>Este método revisa y discute varios estudios sobre la aplicación de materiales de cambio de fase (PCM) con refrigeradores y congeladores domésticos en relación con la gestión térmica y la mejora del rendimiento. En esta revisión indican el potencial de los PCM para mejorar el COP y la eficiencia energética de los sistemas de refrigeración, además de reducir el consumo de energía, las emisiones, la temperatura del compartimento y fluctuación. Presentan el efecto del rendimiento de PCM bajo diferentes cargas térmicas, incluida la fase de cambio de temperatura, temperatura ambiente, temperatura de evaporación, apertura de puerta, descongelación y potencia falla.</p>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ARTICULO	<p>Heat exchanger optimization of a domestic refrigerator with separate cooling circuits.</p>	<p>Thermal management and performance enhancement of domestic refrigerators and freezers via phase change materials: A review.</p>
RESULTADOS DEL METODO	<p>Los resultados experimentales utilizaron evaporadores de alambre sobre tubo y de tubo con aletas en el compartimento de alimentos frescos de un frigorífico de montaje superior de 500 L. Diámetros de tubo capilar de 0,66 mm y 0,8 mm y 3000 mm y se seleccionaron longitudes de tubos capilares de 3500 mm como otros parámetros de diseño. Se realizaron experimentos de acuerdo con la norma IEC 62552 para aparatos de refrigeración domésticos a una temperatura ambiente de 25°C cuando la temperatura del compartimento de alimentos frescos se establece en 5°C aplicaron método de modelo lineal general que es un marco útil para comparar cómo variables se afectan de manera continua y se eligieron para identificar la efectividad de los parámetros según lo experimental, en los resultados, encontraron que el parámetro más efectivo del sistema es el tipo de evaporador.</p>	<p>Los resultados se han centrado principalmente en la integración de PCM a evaporadores y compartimentos para refrigeración doméstica, los PCM en el evaporador proporcionan una mayor capacidad de enfriamiento, eficiencia energética mejorada y mayor tiempo de inactividad del compresor, mientras la integración de los PCM con el compartimento indica una reducción de las fluctuaciones de la temperatura del compartimento y una mejor respuesta frente a los casos de descongelación, cortes de energía y apertura de puertas.</p>

ARTICULO

Heat exchanger optimization of a domestic refrigerator with separate cooling circuits.

Thermal management and performance enhancement of domestic refrigerators and freezers via phase change materials: A review.

CONFIGURACIONES DE RESULTADOS

Table 1
Parameters used in design of experiments.

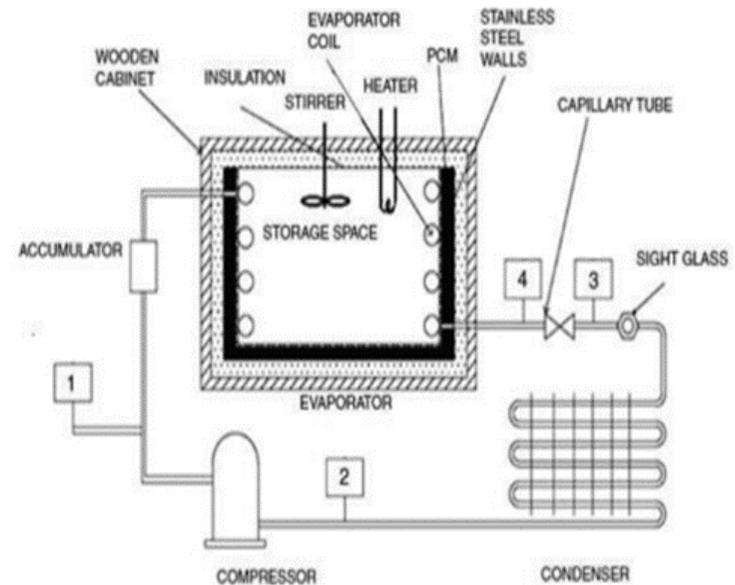
Evaporator Type & Pass	Fresh Food Capillary Tube Diameter (mm)	Fresh Food Capillary Tube Length (mm)
8 passes finned tube	0.66	3000
12 passes finned tube	0.8	3500
16 passes finned tube		
4 passes WOT		
6 passes WOT		
8 passes WOT		
12 passes WOT		
19 passes WOT		

Table 2
Uncertainty of devices.

Measuring device	Brand	Uncertainty (%)
Power sensor	Ohio	0.05
Energy sensor	ION	0.2
Voltage sensor	Ohio	0.25
Current sensor	Ohio	0.25
Thermocouple	-	0.4

Table 3
Experimental results of the system.

Evaporator type	Capillary Tube Diameter (mm)	Capillary Tube Length (mm)	Energy Consumption (kWh/24 h)
8 passes Finned	0.66	3000	0.715
12 passes Finned	0.66	3000	0.675
16 passes Finned	0.66	3000	0.650
4 passes WOT	0.66	3000	0.712
6 passes WOT	0.66	3000	0.651
8 passes WOT	0.66	3000	0.701
12 passes WOT	0.66	3000	1.097
16 passes WOT	0.66	3000	1.116
8 passes Finned	0.8	3000	0.825
12 passes Finned	0.8	3000	0.716
16 passes Finned	0.8	3000	0.693
4 passes WOT	0.8	3000	0.831
6 passes WOT	0.8	3000	1.097
8 passes WOT	0.8	3000	0.745
12 passes WOT	0.8	3000	1.292
16 passes WOT	0.8	3000	1.294
8 passes Finned	0.66	3500	0.642
12 passes Finned	0.66	3500	0.583
16 passes Finned	0.66	3500	0.635
4 passes WOT	0.66	3500	0.691
6 passes WOT	0.66	3500	0.593
8 passes WOT	0.66	3500	0.644
12 passes WOT	0.66	3500	0.997
16 passes WOT	0.66	3500	0.991
8 passes Finned	0.8	3500	0.729
12 passes Finned	0.8	3500	0.711
16 passes Finned	0.8	3500	0.703
4 passes WOT	0.8	3500	0.996
6 passes WOT	0.8	3500	0.722
8 passes WOT	0.8	3500	1.086
12 passes WOT	0.8	3500	1.386



 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ARTICULO	Heat exchanger optimization of a domestic refrigerator with separate cooling circuits.	Thermal management and performance enhancement of domestic refrigerators and freezers via phase change materials: A review.
VENTAJAS	Refrigeración del compartimento de alimentos frescos con relaciones de compresión bajas y temperaturas de evaporación relativamente más altas. Por lo tanto, los refrigeradores con menos consumo de energía se logran con evaporadores conectados en serie, aumentando la capacidad de enfriamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclo operativo más equilibrado, mayor presión y temperatura de evaporación y rechazo continuo de calor / frío del condensador / evaporador durante todo el ciclo. • Los PCM eutécticos demuestran mejor rendimiento del sistema que el agua debido a su fase más baja al cambiar las temperaturas y aproximadamente el mismo calor latente de fusión que mantiene una temperatura más baja en el compartimento. • Los PCM en el evaporador proporcionan una mayor capacidad de enfriamiento, eficiencia energética mejorada y mayor tiempo de inactividad del compresor.

ARTICULO	Heat exchanger optimization of a domestic refrigerator with separate cooling circuits.	Thermal management and performance enhancement of domestic refrigerators and freezers via phase change materials: A review.
DESVENTAJAS	Con un sistema de enfriamiento de dos circuitos que incluye evaporadores de derivación o en paralelo, el refrigerador está diseñado para operar con un COP más alto.	<ul style="list-style-type: none"> • Los hidratos de sal son candidatos a PCM para almacenamiento en frío que demuestran un alto calor latente de fusión, alta conductividad térmica y baja inflamabilidad. Sin embargo, los hidratos de sal tienen problemas más graves de separación de fases, sobre enfriamiento y corrosión. Por lo tanto, solo unos pocos estudios han utilizado estos materiales para la refrigeración doméstica, que indica la importancia de realizar más investigaciones para mejorar sus inconvenientes en aplicaciones de refrigeración. • La mayoría de los PCM tienen la capacidad de corroer su contenedor. • Materiales de uso común para materiales de contenedores de PCM, como el aluminio y el cobre pueden reaccionar con el PCM, provocando la aparición de burbujas y cambios en las propiedades del material. Esto puede degradar el rendimiento del sistema y reducir la calidad de los alimentos. Por tanto, los estudios en el contenedor PCM perfecto para refrigeración doméstica.

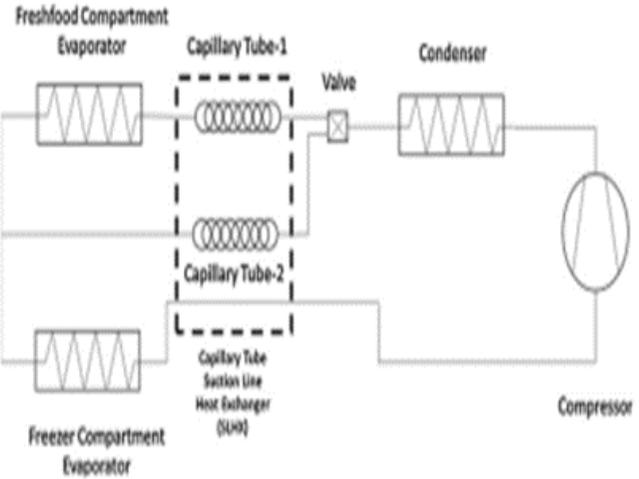
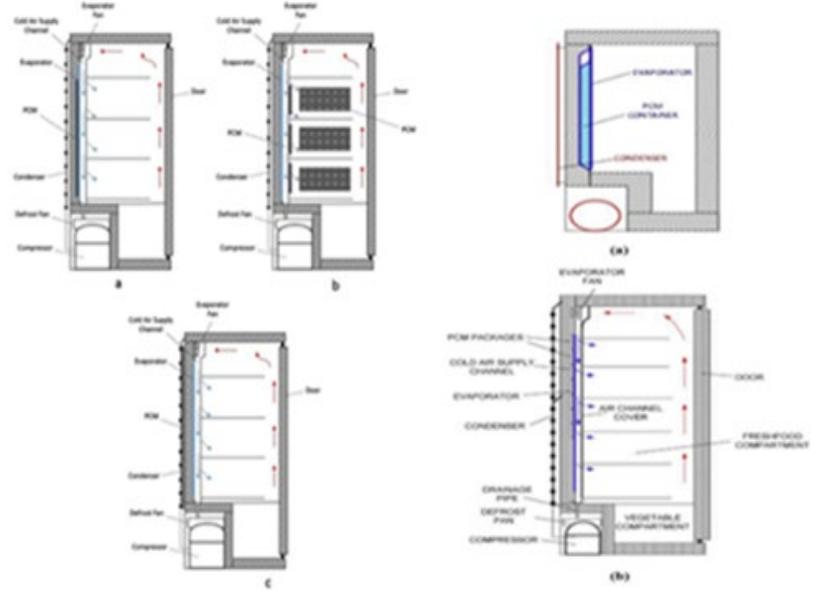
ARTICULO	<p>Heat exchanger optimization of a domestic refrigerator with separate cooling circuits.</p>	<p>Thermal management and performance enhancement of domestic refrigerators and freezers via phase change materials: A review.</p>
ILUSTRACIONES		

Tabla 1: Resultado y comparación de los métodos de cada artículo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

DESCRIPCION DE RESULTADOS EN TABLA 1.

Como se evidencia en el marco teórico y conformes a la gran cantidad de información obtenida de los métodos de estudio, se presenta una selección de datos destacados por medio de una tabla de resultados, donde se hacen comparaciones entre los métodos de cada artículo analizado, presentando la información más general y ágil para el lector.

Los resultados de la tabla 1; facilitan una comparación de todos los métodos por medio de su diseño ya que presentan la información como el desarrollo Vs los resultados y mostrando sus ventajas y desventajas.

Los resultados se muestran comparando estudios de métodos para la medición de eficiencia energética en los refrigeradores domésticos documentados científicamente y presentando como objetivo la descripción de diversas pruebas realizadas a los refrigeradores y profundizar en la variedad de métodos para medir la eficiencia.

Las emisiones de CO₂ en el ciclo de vida del refrigerador pueden ser reducidas en un 14.7% y aumentando los ciclos en dos etapas más cortas, pero con mejores resultados en los compartimentos, no dejando por fuera y sin importancia los materiales de fabricación que podrían ser reemplazados por otros como el aluminio, reduciendo aproximadamente un 2,5% las emisiones de CO₂; donde el método que se observa para el consumo energético del frigorífico es de un solo evaporador; siendo este, fundamental para calcular el consumo energético. (Seyoung Choi, 2020)

En este estudio se demostró que haciendo una optimización en el intercambiador de calor del refrigerador domestico influye positivamente en el rendimiento del sistema de refrigeración y el consumo de energía por método de bypass, suministrando un 20% de energía renovable, se espera que las emisiones totales se reduzcan en un 13% en la línea de base, el 19.9% en el ciclo de circuito paralelo y el 26% en el ciclo de dos etapas. (Seyoung Choi, 2020)

Evaluando el evaporador, tomaron el diámetro y longitud del tubo capilar comparándolo con el sistema de refrigeración y el consumo de energía. En estos experimentos analizaron dos evaporadores de características diferentes y tubos capilares de diámetros 0,66mm y 0,88mm y longitud 3m y 3,5m entre otros parámetros de diseño. (Tosun & Mert, 2020)

Estos experimentos fueron realizados de acuerdo a la norma IEC62552 en aparatos de refrigeración domésticos, eligiendo el método lineal general, que es marco amplio y útil de comparar como diversas variables son afectadas continuamente y así identificar la efectividad de los parámetros, encontrando que el evaporador y su tipo son importantes cuando de intervenir y reducir el ahorro energético del refrigerador domestico se trata;

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

obteniendo como resultado que el evaporador de tubo con aletas y tubo capilar de diámetro 0,66mm y longitud 3,5m da mejoras en el rendimiento experimental. (Tosun & Mert, 2020)

Elemento	Ciclos	Materiales	Equipo en refrigerador	Reducción (%)
Emisiones CO ₂	2	Hierro	Evaporador	14.7
Emisiones CO ₂	2	Aluminio	Evaporador	14.7 + 2.5
Emisiones CO ₂	2	Hierro	Intercambiador	13
Emisiones CO ₂	2	Hierro	Línea de base	19.9
Emisiones CO ₂	2	Hierro	Circuito paralelo	26
Energía	2	Hierro	Intercambiador	20

Tabla 2: Resumen de resultados reducción de CO₂ y Energía

Fuente: (Seyoung Choi, 2020)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- El análisis de los artículos científicos nos propone establecer el método que por medio de sistemas de control en los compartimentos se pueden hallar las pérdidas de eficiencia ocasionadas en los refrigeradores domésticos y ayudan a dar alternativas que satisfacen a las pruebas que realizan actualmente los fabricantes y que mejoren en el futuro la eficiencia y el ahorro energético.
- En el presente escrito llevaron a cabo el desarrollo de la metodología que implementaron en la elaboración de algunas pruebas experimentales para la evaluación e identificación de las pérdidas energéticas existentes actualmente en los refrigeradores domésticos, identificando por medio de cada estudio las condiciones necesarias para la medición de cada parámetro que influyen en el alto consumo energético, como la instrumentación y equipo necesario para la realización de cada prueba. Además, se da a conocer el procedimiento teórico para realizar las respectivas actualizaciones de ahorro energético en refrigeradores domésticos.
- El ahorro en el consumo de energía eléctrica y la eficiencia de los refrigeradores domésticos no solo genera una reducción del impacto ambiental, también puede generar competitividad en el mercado para el fabricante al crear productos, que además de cumplir con las normativas nacionales, generan mayor atracción hacia el consumidor, razón por la cual en el análisis que realizamos en los artículos científicos de métodos de prueba para mejorar la eficiencia de los refrigeradores a través del método de prueba alternativo para evaluar el rendimiento energético de aparatos frigoríficos antiescarcha y determinar qué tan eficiente es nuestro refrigerador.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

7. REFERENCIAS

P. C. Koelet and T. B. Gray. Principles of Refrigeration, pages 1–21. Macmillan Education UK, London, 1992.

Afonso, C., & Manuel, C. (16 de Diciembre de 2010). Air infiltration in domestic refrigerators: The influence of the magnetic seals conservation.

Bansal, P. (2003). Developing new test procedures for domestic refrigerators: harmonisation issues and future r&d needs—a review. *International Journal of* , 735–748.

BARRERA, MEJÍA, G., & DAVID, P. J. (2018). Bogota.

Björk, E., & Palm, B. (2006). *Refrigerant mass charge distribution in a domestic refrigerator, Part I: Transient conditions. Applied Thermal Engineering.*

C, P. G., & Briley. (2004). History of refrigeration. *ASHRAE* , 34.

Castro, C. A. (2010). Air infiltration in domestic refrigerators: The. *International journal of refrigeration* , 856–867.

Choi, S., Jung, Y., Kim, Y., & Lee, H. (25 October 2020). Environmental Effect Evaluation of Refrigerator Cycle with Life Cycle. *Journal Pre-proof* .

Danfoss. (2021). <https://assets.danfoss.com/>. Obtenido de <https://assets.danfoss.com/>: <https://assets.danfoss.com/documents/28760/AN000086433594es-000301.pdf>

Danfoss. (2021). <https://store.danfoss.com/>. Obtenido de <https://store.danfoss.com/>: <https://store.danfoss.com/en/Sensing-Solutions/Switches/Spare-Parts-and-Accessories-for-Switches/Accessory%2C-Capillary-tube/p/060-019066>

Energia, M. d. (18 de Septiembre de 2015). *Reglamento tecnico de etiquetado*. Obtenido de Reglamento tecnico de etiquetado.: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/14429380928638670Anexo+General+41012.pdf>

Grupo HECA. (2021). *Hecapo*. Obtenido de <https://hecapo.es/filtro-deshidratador/>

Hermes, C., & Melo, C. (2008). *.A first-principles simulation model for the start-up and cycling transients of household refrigerators*. . International Journal of Refrigeration.

<https://www.minenergia.gov.co/>. (18 de Septiembre de 2015). Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/>:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/14429380928638670Anexo+General+41012.pdf

ICONTEC. (2018). *ICONTEC*. Obtenido de www.icontec.org/wp-content/uploads/2019/08/DOC-Icontec_Estatutos-2018.pdf

Macias, R. F. (03 de 11 de 2014). *CLIMASA REFRIGERACION*. Obtenido de <https://climasarefrigeracion.com/es/refrigeracion-basica-parte-2/>

Maciel, D. (22 de 12 de 2016). *INTENSITY*. Obtenido de www.intensity.mx/es/blog/separador-de-aceite-en-el-ciclo-de-refrigeracion-parte-1

Nattawut, C., Flick, D., Denis, A., & Laguerre, O. (2019). Experimental analysis of heat transfer and airflow in a closed refrigerated display cabinet.

Omara, A. A., & Mohammedali, A. A. (s.f.). Thermal management and performance enhancement of domestic refrigerators and freezers via phase change materials: A review. *ELSEVIER* .

Omaraa, A. A., & Mohammedali, A. A. (2020). Thermal management and performance enhancement of domestic. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* .

Perkins., B. G. (1943). The historical society of Pennsylvania. En B. G. Perkins., *The historical society of Pennsylvania* (pág. 65). Pennsylvania: Wisconsin.

Seyoung Choi, Y. J. (2020). Environmental Effect Evaluation of Refrigerator Cycle with Life Cycle Climate Performance. *Journal Pre-proof* .

Topten. (s.f.). Obtenido de <https://toptenargentina.org/private/page/etiqueta-energetica-en-refrigeradores-y-congeladores>

Tosun, T., & Mert. (2020). Heat exchanger optimization of a domestic refrigerator with separate. *Applied Thermal Engineering* .

Tuğba Tosun, M. T. (s.f.). Heat exchanger optimization of a domestic refrigerator with separate cooling circuits. *Applied Thermal Engineering* .

Ubaldo. (10 de 09 de 2019). *Ingenieria potencial*. Obtenido de Manual de ingenieria electrica: https://drive.google.com/file/d/10V3F3S_j6fbx2LB7Lsh_GIKgXCNMp5CE/view

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

FIRMA ESTUDIANTES


91757810


c.c.1017.185066


92559243

FIRMA ASESOR

Adrián F. Martínez

FECHA ENTREGA: 03 de noviembre de 2021