



COMPARACIÓN ENERGÉTICA DE LAS TECNOLOGÍAS DE  
REFRIGERACIÓN DOMÉSTICAS.

---

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

---

Autor: Sergio Javier Correa Pérez.

Tutores: Ing. Ana Lisandra Ramón Téllez.  
Dr.C. Karel Joel Arancibia Ávila.

HOLGUÍN 2019



## PENSAMIENTO

*“Los científicos estudian el mundo como es, los ingenieros crean al mundo QUE NUNCA HA EXISTIDO”.*

*Theodore van Karman*



## AGRADECIMIENTOS

*- A mis padres, Amelia y Asdrúbal, por haber inducido en mí, las mejores cualidades de una buena persona con amor y apoyo incondicional. Gracias por haberme brindado lo mejor de ustedes y por haber batallado para hacerme un hombre de bien.*

*-A toda mi familia y mis seres queridos, quienes siempre han estado en los momentos difíciles de mi vida.*

*-A mis tutores Ing. Ana Lisandra Ramón Téllez y Dr.C. Karel Arancibia Ávila por compartir sus conocimientos y colaboración en el transcurso del proyecto.*

*- A todos mis maestros, que ahora los considero mis amigos, por haber compartido su conocimiento científico y su amistad en todos éstos años.*

*A todos, GRACIAS*



## DEDICATORIA

*-Quiero dedicar este logro en primer lugar a mis padres Amelia y Asdrúbal por su esfuerzo de impulsarme en las metas propuestas, por él apoyo brindado en este tiempo de preparación por su aliento y consejos cuando más los necesitaba.*

*-A mi familia por acompañarme en todas las etapas de mi formación profesional.*

*-A mis amigos con quien compartí mi vida estudiantil y construí una verdadera amistad.*



## RESUMEN

La presente investigación persigue determinar el comportamiento real de los principales parámetros eléctricos de los refrigeradores existentes en Holguín, ya que no existe antecedentes de un estudio que permita conocer cuál es la conducta real de las variables eléctricas de los refrigeradores en condiciones reales de explotación y cómo influye su comportamiento en el consumo del mismo. Para ello a los refrigeradores objeto de estudio se le realizaron varias mediciones eléctricas con el Analizador de redes MetrelPowerQ Plus durante un período de 24 horas, con el objetivo de conocer su consumo de energía y evaluar su desempeño energético en comparación con los datos declarados en la etiqueta de fabricación del equipo. Conociendo el comportamiento eléctrico de los refrigeradores existentes en Holguín, se podrá diseñar una mejor estrategia que permita aumentar la eficiencia energética en el país, favoreciendo los procesos de selección y evaluación de estos equipos, a la economía del usuario y del país y al cuidado del medio ambiente. Se demostró que en todos los refrigeradores analizados independientemente de las condiciones de explotación el consumo de energía supera los valores establecidos por el fabricante llegando a ser de hasta un 200% respecto al valor obtenido de la etiqueta.



## ABSTRACT

The present investigation seeks to determine the real behavior of the main electrical parameters of existing refrigerators in Holguín, since there is no history of a study that allows to know what is the real behavior of the electric variables of refrigerators in real operating conditions and how its behavior influences its consumption. To this end, the refrigerators under study were subjected to several electrical measurements with the Metrel PowerQ Plus network analyzer during a period of 24 hours, with the objective of knowing their energy consumption and evaluating their energy performance in comparison with the data declared in the equipment manufacturing label. Knowing the electrical behavior of existing refrigerators in Holguín, a better strategy can be designed to increase the energy efficiency in the country, favoring the selection and evaluation processes of these equipment, the economy of the user and the country and the care of the environment. It was shown that in all the refrigerators analyzed, regardless of the operating conditions, the energy consumption exceeds the values established by the manufacturer, reaching up to 200% with respect to the value obtained from the label.



## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I. LOS REFRIGERADORES DOMÉSTICOS GENERALIDADES.</b>	<b>6</b>
1.1. El refrigerador doméstico breve reseña histórica.	6
1.2 Situación actual de los refrigeradores domésticos en Cuba.	8
1.2.1 Caracterización de los refrigeradores existentes en Holguín.	10
1.3 Aplicación, selección y evaluación de los refrigeradores Domésticos.	11
1.4 Los refrigeradores domésticos y los nuevos refrigerantes.	16
1.4.1 Tipos de Refrigerantes.	17
1.5 Caracterización de las condiciones de explotación de los refrigeradores domésticos.	19
1.5.1 Condiciones de explotación de los refrigeradores en Cuba:	20
1.6 Componentes del sistema de refrigeración doméstica.	22
1.6.1 Principio de funcionamiento de un refrigerador doméstico:	24
<b>CAPÍTULO 2. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS QUE DETERMINAN EL CONSUMO DE ENERGÍA.</b>	<b>26</b>
2.1 Procedimiento de medición.	26
2.1.1 Definición de las magnitudes a analizar.	27
2.2 Resultados de las mediciones.	29
2.2.1 Resultados de la Residencia 1	29
2.2.2 Resultados de la Residencia 2	34
2.2.3 Resultados de la Residencia 3	38
2.2.4 Resultados de la Residencia 4	42
2.2.5 Resultados de la Residencia 5	46
2.3 Análisis de los resultados	51
2.3.1 Análisis de la tensión	51



2.3.2 Análisis de la intensidad de corriente.....	51
2.3.3 Análisis de la Potencia.....	52
2.3.4 Análisis del Factor de potencia .....	52
2.3.5 Análisis del consumo de energía .....	52
2.4 Valoración económica.....	53
2.5 Valoración medio ambiental.....	54
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>56</b>



## INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos la refrigeración se ha convertido en uno de los procesos de mayor importancia desde varios sectores, por constituir un elemento indispensable para la producción y la conservación. En el sector industrial permite un funcionamiento más efectivo de la industria, tal como sucede para las producciones química y metalúrgica, la medicina, el comercio, así como en el transporte, con el acondicionamiento automotriz. De igual forma han sido marcados los beneficios para el ámbito doméstico, facilitando la conservación de alimentos y el acondicionamiento de aire confort. (Castillo Cabrera & Puente Rodríguez, 2014)

Por lo favorable que han resultado sus diferentes usos y aplicaciones se ha hecho imprescindible contar con equipos de refrigeración en uno u otro ámbito, principalmente con aquellos altamente confiables, de un bajo consumo energético y una vida de explotación extensa, sin embargo, estos parámetros y exigencias de la industria de la refrigeración hoy día, difieren mucho de las condiciones y características de los primeros equipos y técnicas de refrigeración. Este proceso aparentemente tan moderno resulta ser tan antiguo como el hombre mismo.

En sí, la génesis de la refrigeración emergió de la necesidad del hombre por conservar sus alimentos, condicionante que propició la invención de las primeras formas de refrigeración existentes, a partir del almacenamiento de la nieve en cuevas o pozos. Paulatinamente estos sistemas se fueron perfeccionando, varias fueron las invenciones que giraron en torno a este tema, lográndose un progreso sustancial en cuanto a la incorporación de refrigerantes, del ciclo de compresión, posteriormente la electricidad, hasta los componentes de una máquina de refrigeración moderna (compresor, condensador, dispositivo de extensión y evaporador). (Carreño Barrera & Jadán Lucero, 2013)

En la actualidad se puede identificar al refrigerador como un artefacto eléctrico que está siendo muy utilizado a nivel mundial y de manera continua, el cual, de acuerdo a varios estudios, puede llegar a consumir valores de hasta 1800kWh/año, dependiendo de su volumen, la tecnología que se utiliza y el año de fabricación lo



que implicaría más del 60% del consumo mensual de la electricidad en el hogar. (Astudillo León & Peralta Verdugo, 2017)

En Cuba las dificultades que marcaron las últimas décadas, dadas principalmente por limitaciones económicas, primeramente, por la desintegración de la URSS a finales de los años 80, y luego, por el bloqueo impuesto por los Estados Unidos, provoco que el país se viera obligado a realizar un mayor esfuerzo en el ahorro de sus recursos. Por ello no solo constituye un interés primordial sino una necesidad para el país el aumento de la eficiencia energética.

En este sentido fue desarrollada en el 2006 la revolución energética, una política que abogaba por el ahorro y uso eficiente de la energía, la divulgación de las ya utilizadas energías renovables y el cambio de los equipos electrodomésticos hacia otros de menor consumo, en el caso de los refrigeradores fueron sustituidos 2.6 millones de refrigeradores antiguos por los de marcas chinas. (ONEI, 2014)

El consumo medio anual de electricidad de una vivienda cubana era de 1 668 kilowatts-hora (kWh) en el 2004, siendo los refrigeradores (americanos y rusos) los mayores consumidores de energía. Un refrigerador medio consumía aproximadamente 700 a 900 kWh por año, motivo por el cual este electrodoméstico era el que más incidía en la factura de electricidad de la mayoría de las residencias, con un consumo medio anual de 800 kWh, por esta razón fueron sustituidos por los refrigeradores chinos, que tan solo requerían alrededor de 350 kWh por año, lo que representaba un ahorro anual de 450 kWh por unidad. (Seifried, 2013)

Aunque para aquellos momentos HAIER fue la marca que distinguió esta política. Actualmente, a partir de una investigación de campo realizada, se pudo observar que el mercado ha ampliado y diversificado sus ofertas, pudiendo contarse con refrigeradores de variadas marcas tales como DAEWOOD; FRIGIDAERE, LG, SAMSUNG, MABE, las cuales representan a su vez, las empresas que hoy comercializan con el país.

Las empresas importadoras de refrigeradores a Cuba deben de basarse en la Resolución No-136 Reglamento de eficiencia energética para equipos de uso final de la energía eléctrica (2009), planteada y validada en los inicios de la revolución



energética. Asia y Europa constituyen los principales países con los cuales Cuba realiza estas operaciones comerciales, pues las barreras impuestas por el bloqueo limitan la comercialización con otras regiones, por ello estos territorios constituyen la única alternativa para el país.

De manera general la industria frigorífica a nivel mundial representa un adelanto significativo y un beneficio rotundo para el sector residencial. Independientemente de los beneficios que ofrece se considera que, para una mejor eficiencia del equipo, así como para el logro de una mayor eficiencia energética, deben estudiarse las variables que intervienen de una u otra forma en la aplicación de las normas técnicas y en las tecnologías utilizadas en la fabricación, así como tenerse en cuenta cómo influyen las características propias de cada región sobre el refrigerador en sí y su consumo.

El comportamiento relacionado con el consumo de energía en los hogares desempeña un papel importante para la implementación de medidas de eficiencia energética de forma eficaz. El sector residencial tiene un papel importante en la demanda de electricidad, en Cuba en el 2017 el 58% del consumo de energía se concentró en este sector que, por demás, tuvo el grueso del uso final de esa energía en la cocción de alimentos y la refrigeración. (Labrador Herrera, 2018)

En Cuba particularmente se hace necesario lograr un mejor desempeño energético, garantizando así la mejora de la eficiencia energética y valores más bajos de consumo, pero para ello no solamente debe tenerse en cuenta el consumo energético a través del programa de etiquetado, pues este valor puede variar según factores externos como el clima. La variable de alta temperatura ambiente sumada a la mala cultura de uso de los refrigeradores como son constantes aperturas por largos tiempos de las puertas, la carga de productos excesiva y/o con temperaturas mayores a las del medio ambiente, y un errado ajuste de las temperaturas de funcionamiento de los compartimientos, pueden reducir la eficiencia energética provocando un consumo de energía de hasta 300%(o más) del valor de la etiqueta energética (Álvarez Abad, 2015), por tales razones se considera debe hacerse un estudio que permita conocer el consumo real de los refrigeradores de uso doméstico,



inquietud que generó formularse la siguiente pregunta como **Problema de la investigación:** ¿Cuál es el comportamiento real de las variables eléctricas de los refrigeradores distribuidos en Holguín por la red estatal comercial en el sector residencial?

### **Objeto de estudio**

Los Refrigeradores domésticos existentes en Holguín en la actualidad.

### **Campo de acción.**

Variables eléctricas de los refrigeradores distribuidos en Holguín por la red estatal comercial en el sector residencial.

### **Hipótesis.**

Conociendo el comportamiento eléctrico de los refrigeradores existentes en Holguín, se podrá diseñar una mejor estrategia que permita aumentar la eficiencia energética, favoreciendo los procesos de selección y evaluación de estos equipos, a la economía del usuario, del país y al cuidado del medio ambiente.

### **Objetivo general.**

- Determinar el comportamiento real de los principales parámetros eléctricos de los refrigeradores existentes en Holguín.

### **Objetivos específicos.**

- Caracterizar los refrigeradores domésticos importados por el país.
- Caracterizar las condiciones reales de explotación del refrigerador de uso doméstico en Holguín.
- Evaluar el desempeño del refrigerador en comparación a lo declarado por el fabricante.

### **Métodos de investigación:**

#### **Empíricos:**

**Consulta a expertos:** con el objetivo de que la investigación cuente con conocimientos de especialistas que están vinculado inexorablemente a esta rama.



**Observación:** se utiliza para observar y examinar las características de cada refrigerador.

**Revisión y análisis de documentos:** se utiliza para la recopilación y análisis de la información sobre el problema, referencias y estado actual.

**Métodos teóricos:**

**Análisis y síntesis:** Se utilizará en la revisión y consulta de la bibliografía especializada en el tema.

**Histórico-lógico:** Se empleará para el análisis de los distintos tipos de refrigeradores, características y partes que lo componen.

**Resultados esperados:**

Conocer el consumo de energía de los refrigeradores domésticos en condiciones reales de explotación, para obtener indicadores de desempeño energético que secunden los criterios de importación en el país.



## CAPÍTULO I. LOS REFRIGERADORES DOMÉSTICOS GENERALIDADES.

### 1.1. El refrigerador doméstico breve reseña histórica.

La génesis de los actuales y modernos refrigeradores usados hoy día se remonta a la época antigua, época de la cual data la forma más primitiva de refrigeración existente, basada en el almacenamiento en pozos o cuevas, del hielo o la nieve obtenida de las montañas nevadas o ríos y lagos congelados. La nieve recolectada durante el invierno era comprimida dentro de estos pozos y cubierta luego con hojas y pajas para aislar el calor, este método permitía la conservación del hielo por muchos meses después de la época invernal. Los datos más antiguos sobre el uso de esta técnica se les atribuyen a los griegos y romanos, práctica que paulatinamente se fue expandiendo hacia otros territorios. (Montesinos Muñoz, 2013)

Posteriormente este sistema arcaico fue sustituido por el uso de cajas o casas para hielo, que funcionaban como cámaras frigoríficas usadas con los mismos fines, un antecedente más de los refrigeradores domésticos, pero no fue hasta 1748 según la literatura especializada que tuvo lugar el primer método artificial de refrigeración, a partir de un experimento con éter realizado por el escocés William Cullen, en el cual evaporó éter etílico en vacío. A esta experimentación sucedieron las investigaciones sobre las leyes de compresibilidad de los gases de Gay Lussac y Boyle en 1783 y la licuefacción de gases de Faraday, exploraciones que contribuyeron a la evolución de la refrigeración. (Torrella Alcaraz, 2015)

Para 1805 el ingeniero estadounidense Oliver Evans teniendo en cuenta los hallazgos de Cullen, propuso el uso de un sistema cerrado de refrigeración que funcionaba por compresión y evaporación de éter etílico. Años más tarde Michael Faraday quien se centrará en el estudio de varias sustancias y su comportamiento al cambiar de estado, formuló la propuesta de que es posible enfriar o calentar expandiendo o comprimiendo un gas, por ello mezcló amoníaco y otros gases, mediante altas presiones y bajas temperaturas.

En 1834 con la fabricación de la primera máquina de refrigeración por el ingeniero mecánico y físico estadounidense Jacob Perkins tuvo lugar un momento significativo



en este proceso, pues se logró por primera vez la producción de hielo de manera artificial, al utilizar un ciclo de compresión de vapor con éter como refrigerante. A este invento sucedieron otras investigaciones que apostaban por perfeccionar este sistema, tal es el caso del método de producción de hielo en grandes cantidades desarrollado por Alexander Twining a partir del uso de éter etílico o sulfúrico como refrigerante.(Torrella Alcaraz, 2015)

Por otra parte, son relevantes también los estudios de James Harrison para producir hielo por medios mecánicos, indagaciones que lo condujeron hacia la construcción de un pequeño compresor que con el uso de éter sulfúrico generó la primera máquina industrial frigorífica, destinada por su inventor a la industria cárnica y cervecera. Para 1859 tuvo lugar el primer sistema de refrigeración por absorción creado por Ferdinand Carré a partir del empleo de agua y amoníaco y, en 1868 Charles Tellier crea la primera máquina de compresión que paulatinamente fue sustituyendo las máquinas con funcionamiento por absorción.(Torrella Alcaraz, 2015)

En este sentido una de las contribuciones más relevante fue la fabricación por General Electric del refrigerador doméstico Audiffren en 1911, así como del primer refrigerador eléctrico para uso doméstico de KELVINATOR nueve años después. Invenciones que aunque en su momento constituyeron lo más significativo y avanzado en cuanto a refrigeración, no frenó la investigación y la búsqueda hacia nuevos métodos, por lo que posteriormente se descubrieron nuevos materiales y fluidos refrigerantes, se diseñaron compresores más rápidos no solo para el uso doméstico sino también industrial así como motores de menor tamaño (Torrella Alcaraz, 2015), todo lo que dio lugar a una evolución gradual de las máquinas de refrigeración.

De esta manera el tema de la refrigeración se ha convertido en centro de numerosas investigaciones, donde destacan una amplia variedad de autores y criterios. En cuento a ello, (Gillermo Eraso, 1997) dicta en el Manual Práctico del Taller de Refrigeración Doméstica que la refrigeración se puede definir como el proceso de bajar la temperatura a un cuerpo o espacio determinado, quitándole calorías de una forma controlada y el objetivo básico de la misma es transferir parte del calor de un



cuerpo o un espacio hacia un lugar donde ese calor no produzca ningún efecto negativo, de esta manera se logra establecer una temperatura deseada en ese cuerpo o espacio.

Por otra parte, (Saydaoui, 2008) ofrece una definición más explícita sustentando que, refrigeración es el proceso de reducción y mantenimiento de la temperatura (a un valor menor a la del medio ambiente) de un objeto o espacio y, en el que la reducción de la temperatura se realiza extrayendo energía del cuerpo, generalmente reduciendo su energía térmica, lo que contribuye a reducir la temperatura de este cuerpo. (Pardo Figueroa, 2017) refiere, que la refrigeración es el proceso en el cual interviene un cambio físico. El rango de temperaturas de estos procesos está entre 0°C y -18°C. Teniendo en cuenta estos criterios se considera que la refrigeración no es más que un proceso termodinámico donde se extrae el calor de un espacio o cuerpo (bajando su temperatura) y llevándolo a otro lugar donde no es importante su efecto. Siendo el refrigerante el que facilita una disminución térmica.

En sí la historia de la refrigeración como la de muchos otros inventos ha estado marcada por esa tendencia que caracteriza al hombre por satisfacer sus necesidades. Hecho que lo ha movido siempre hacia la búsqueda de soluciones, conduciéndolo hacia un proceso de investigación y experimentación largo pero progresivo, tal y como ha sucedido con las máquinas de refrigeración desde las cajas de hielo hasta los refrigeradores domésticos actuales. Sus marcados beneficios tanto para la industria como para el ámbito doméstico han propiciado la conservación no solo de los alimentos sino también de otros muchos productos perecederos de importancia para la ciencia y la economía.

## **1.2 Situación actual de los refrigeradores domésticos en Cuba.**

Antes del 2006 en el país los refrigeradores más abundantes eran americanos y rusos de marcas GENERAL ELECTRIC, INPUD, SNAIGE y MINSK, es evidente la diferencia respecto al desarrollo tecnológico que poseen con respecto a los equipos



que se fabrican en la actualidad. Por ejemplo, los refrigeradores han evolucionado de una puerta a dos puertas evidenciándose un incremento en la distribución, lo que representa una mejora de eficiencia en cuanto a su funcionamiento ya que se pueden abrir de forma independiente reduciendo la pérdida de temperatura de los dos compartimentos del refrigerador. Con el paso de los años se ha avanzado en cuanto a los materiales de aislante térmico también, logrando una mejora significativa en la hermeticidad, hoy en día un compresor tiene un 26 % menos de ruido que en 1970 y la eficiencia de un compresor moderno supera casi en un 34 % la de los equipos tradicionales. (Arencibia Ávila, 2004)

Durante el 2006 en Cuba se lleva a cabo la revolución energética dando paso a las nuevas tecnologías y marcas en el mercado, buscando con su introducción una mejor eficiencia de los equipos electrodomésticos y lográndose consigo un mayor ahorro energético en el país. Se llevó a cabo el cambio de unos 2,55 millones de refrigeradores que fueron reemplazados por modelos más eficientes de diseño chino y, según Cuba Energía, eliminados adecuadamente. Bajo la suposición conservadora, que los equipos viejos tienen un consumo medio anual de 800kWh / unidad y que los refrigeradores chinos requieren alrededor de 350kWh por año, resulta un ahorro anual de 450kWh por unidad. Esto se traduce en un ahorro energético anual de 1 148 millones de kWh, o sea en unos 230 millones de Euros ahorrados en los costos de operación (principalmente los costos de combustible). (Seifried, 2013)

En ese entonces el país realizó la compra de equipos de tecnología china, marca Haier que llevó al mercado modelos como HRF-250, HRF-250E y HRF-138E muchos de los cuales están siendo explotados hasta la fecha, aún pasados más de 10 años todavía hacen parte de la vida cotidiana del país. Ya en la actualidad las empresas importadoras como son CORPORACION CIMEX, S.A. (CIMEX) y EMPRESA CADENAS DE TIENDAS TRD CARIBE (TRD) bajo la Resolución No-136 Reglamento de eficiencia energética donde están plasmados los Requisitos de eficiencia energética, seguridad eléctrica y tropicalización necesarios para la importación de refrigeradores, han introducido al país una variedad de marcas en cuanto a refrigeradores se refiere como son Daewoo, Frigidaire, Mabe, LG, Samsung



con gran reputación y prestigio en el mercado mundial recaudados por la elevada eficiencia y vida útil de sus equipos.

### 1.2.1 Caracterización de refrigeradores existentes en Holguín

Los refrigeradores existentes en la provincia generalmente se ajustan a las características y modelos de los refrigeradores introducidos al país durante la revolución energética. Estos suelen estar divididos en dos compartimentos, uno superior destinado a la congelación y un segundo de mayor tamaño para refrigerar.

A partir del trabajo de campo realizado en las tiendas comercializadoras de equipos electrodomésticos en Holguín, se conoció que los refrigeradores expuestos en la Tabla 1 son de los más encontrados en la ciudad actualmente. Algunos como es el caso del refrigerador Haier, con más de 10 años de vida útil, presentan un sobre consumo significativo, debido al desgaste de sus componentes por los años de explotación, y otros muy modernos como del Frigidaire y Daewoo con tecnología de congelación de tipo NO FROST, a diferencia de los Haier que son artefactos de tipo FROST. Para todos los casos la etiqueta de eficiencia indica que se ubican dentro del grupo C. Las principales características técnicas de estos equipos se muestran a continuación.

Tabla 1. Características técnicas de los refrigeradores.

Marca	Modelo	Clase Climática	Consumo energía	Carga Refrigerante	Volumen total
Haier	HRF-250E	Tropical (T)	0.85 kWh/día	120g de R-134 <sup>a</sup>	8.8 pies cúbicos
Haier	HRF-183E	Tropical (T)	0.76 kWh/día	83g de R-134 <sup>a</sup>	6.4 pies cúbicos
LG	GR28W11 CPF	Subtropical (ST)	1.20 kWh/día	120g de R-134 <sup>a</sup>	10.59 pies cúbicos



Frigidaire	FRT143 DELW	Subtropical (ST)	1.15 kWh/día	100g de R-134 <sup>a</sup>	14 pies cúbicos
Frigidaire	FRT113 DELW	Subtropical (ST)	1.03 kWh/día	90g de R-134 <sup>a</sup>	11 pies cúbicos
Daewoo	PR- 1261WC	Tropical (T)	1.37 kWh/día	75g de R-134 <sup>a</sup>	10.6 pies cúbicos

### 1.3 Aplicación, selección y evaluación de los refrigeradores Domésticos.

- Aplicación del refrigerador doméstico.

El refrigerador doméstico tiene consigo un gran campo de aplicación ya que estos son parte fundamental en la conservación de los alimentos y de una cierta cantidad de materiales que necesitan temperaturas relativamente bajas para mantener sus propiedades.

Dentro de este sistema se destacan las neveras, diversas combinaciones de nevera –congelador y congeladores. Las neveras y congeladores de mayor precio están equipadas con circuitos para su descongelamiento automático, mientras que las combinaciones nevera-congelador siempre cuentan con este circuito auxiliar. Además, las neveras y combinaciones de nevera-congelador pueden ser equipadas con sistemas automáticos fabricantes de hielo y otros dispositivos de confort, tales como: puntos dispensadores de agua potable, proveniente de la red externa, circuitos de enfriamiento rápido de productos, controles de funcionamiento sofisticados basados en microprocesadores, e incluso interfaz para conexión vía internet con el taller de servicio autorizado para realizar un pre-diagnóstico antes del envío técnico de servicio. (Guanipa R, 2010)



- Selección y evaluación de los refrigeradores domésticos en Cuba.

En Cuba la selección y evaluación de los refrigeradores domésticos se ejecuta mediante la Resolución No-136, de la gaceta oficial, Reglamento de eficiencia energética, donde están plasmados los requisitos de eficiencia energética, seguridad eléctrica y tropicalización permitidos por el país, la cual plantea:

Todos los aparatos incluidos en este Anexo deben cumplir con las siguientes características: El refrigerador doméstico solamente se podrá comercializar en el país cuando esté provisto con una etiqueta de eficiencia energética conforme a la establecida en el Anexo 3. (Índice de Eficiencia Energética (IEE) en el rango:  $75\% \leq IEE < 90\%$ ).

- El compresor hermético utilizado en los distintos aparatos debe admitir la operación sin fallas a temperatura ambiental de hasta 38°C.

- Todos los aparatos deben emplear agente refrigerante ecológico.

➤ Tropicalización.

Los aparatos de refrigeración doméstica contemplados por este Reglamento deben ser productos tropicalizados, cumpliendo con la norma IEC 60068-1:1992 “Ensayos Ambientales. Generalidades y Guías” particulares que se derivan de ella según la Tabla 2. Estos equipos utilizan espesores de recubrimientos de la chapa de acero no menor de 60 micras.

Tabla 2. Ensayos ambientales y normas.

Ensayos climáticos		Normas
Ensayo de Frio	Temperatura:5°C Duracion:96 horas	IEC 60068-2-1:1994
Ensayo de Calor Seco	Temperatura:55°C Duracion:96 horas	IEC 60068-2-2:1994



Ensayo de Cambio Súbito de Temperatura	Temperatura Máxima: 55°C Temperatura Mínima: 55°C (Ventilador) Duración: Tres ciclos de una hora en cada temperatura	IEC 60068-2-14:1994
Ensayo de Calor Húmedo Constante	Temperatura:40°C Humedad Relativa:95% Duracion:21 Días	IEC 60068-2-3:1994
Ensayo de Niebla Salina Neutra	Temperatura: 35°C Concentración: 5% de NaCl PH: 6,8-7,2 Duracion:96 horas	IEC 60068-2-11:1994

➤ Etiquetado.

La etiqueta energética permite al consumidor conocer de forma rápida la eficiencia energética de un electrodoméstico. Atendiendo a las características del país y lo establecido en la resolución antes mencionada los electrodomésticos importados deben regirse por la etiqueta de fabricación mostrada en la Figura 1.



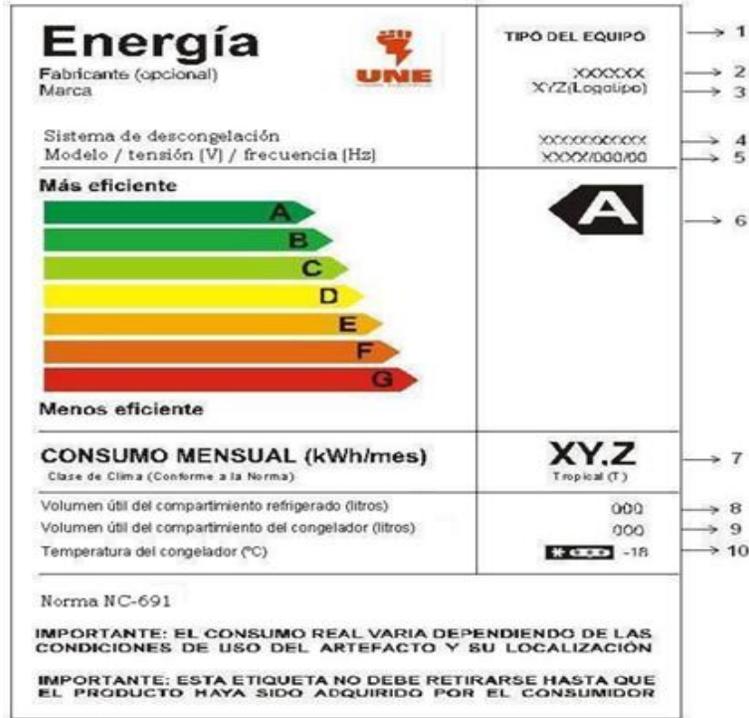


Figura 1. Etiqueta energética. Resolución No-136.

La Tabla 3 muestra la distribución por campos según orden de aparición en la etiqueta.

Tabla 3. Campos de la etiqueta.

Campo	Contenido
1	Tipo del equipo
2	Nombre de fabricante (opcional).
3	Marca comercial (o logo marca).
4	Tipo de Sistema de descongelación.
5	Modelo / tensión (V) / frecuencia (Hz).
6	Clase de eficiencia energética.
7	Consumo mensual de energía, en KWh/mes.
8	Volumen útil del compartimiento refrigerado. (litros)
9	Volumen útil del compartimiento del congelador. (litros)
10	Temperatura del congelador. (°C)



➤ Eficiencia.

Las etiquetas tienen una parte común, que hace referencia a la marca, denominación del aparato y clase de eficiencia energética; y otra parte, que varía de unos electrodomésticos a otros, y que hace referencia a otras características, según su funcionalidad: por ejemplo, la capacidad de congelación para frigoríficos. (Vico Zubiria, González Serralvo, & García Muñoz, 2014) .Para el refrigerador doméstico la clase energética de menor eficiencia admitida en Cuba será la C.



Figura 2. Rangos de eficiencia energética. Resolución No-136.

➤ Clase climática

Los frigoríficos pueden clasificarse independientemente de su eficiencia energética, modelo y poder de congelación, por la clase climática, indicador que establece las temperaturas ambientes con las cuales el frigorífico puede funcionar correctamente, mostrando el rango de temperatura ambiental en el que el funcionamiento es más adecuado. De este modo, en función del país o del clima en que se vaya a utilizar el frigorífico será recomendable una clase climática u otra, por ello este indicador debe ser mostrado en la ficha técnica del producto. (Vico Zubiria et al., 2014)

Tabla 4. Clases climáticas.(Vico Zubiria et al., 2014)

Clase Climática	Siglas	Temperaturas entre:
Sub-normal	SN	+10°C y +32°C
Normal	N	+16°C y +32°C
Subtropical	ST	+18°C y +38°C
Tropical	T	+18°C y +43°C

## ➤ Consumo

El ahorro energético es una necesidad y el mercado ofrece cada vez más productos adaptados a los nuevos requerimientos. Por lo que cuando se desea renovar el frigorífico hay que fijarse en su etiqueta. Sabiendo que el tiempo de amortización de los frigoríficos suele situarse entre los tres y cinco años y teniendo en cuenta que la vida útil de un frigorífico suele ser de unos 15 años, un aparato de clase energética A++ o A+++ resulta ser más barato que otro de clase B o C. (Vico Zubiria et al., 2014)

Un ejemplo muy sencillo es comparar el consumo medio de un frigorífico-combi con una capacidad de 320 litros y clasificación energética D es de 1,63 kWh/día, con un frigorífico de las mismas características con la máxima eficiencia (clasificación energética A) que puede llegar a consumir tan sólo 0,94 kWh/año, ahorrando hasta un 42% con respecto al primero. (Vico Zubiria et al., 2014)

### **1.4 Los refrigeradores domésticos y los nuevos refrigerantes.**

El refrigerante, es uno de los componentes principales en el proceso de refrigeración pues tiene la función de proporcionar el intercambio de calor. En un sistema de compresión de vapor el refrigerante cambia de fase, pasa de estado líquido a gaseoso cuando absorbe calor y realiza el proceso inverso cuando pierde calor

Un refrigerante funciona de acuerdo con los siguientes principios. Después de que el refrigerante es licuado bajo presión, adiabáticamente es expandido y el líquido se evapora tomando calor externo del sistema. Este calor de vaporización se traduce en "aire acondicionado externo". La temperatura del aire acondicionado es 0°C para uso doméstico, sobre -25°C para refrigeradores domésticos y sobre -35°C para almacenes de productos congelados para su uso comercial. El compuesto seleccionado como refrigerante debe tener un punto de ebullición por debajo de estas temperaturas después de la expansión bajo presión. (González Ruiz, 2012)



### 1.4.1 Tipos de Refrigerantes

Los refrigerantes tienen su denominación acorde a la norma ANSI (*American National Estandar Institute*) / ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros de la Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado), entre los que se encuentran los refrigerantes halogenados como los clorofluorocarbonados (CFC), los hidroclorofluorocarbonados (HCFC) y los hidrofluorocarbonados (HFC). (González Ruiz, 2012)

En la refrigeración por compresión se utilizan generalmente los refrigerantes: FREON 12, FREON 13, FREON 21, FREON 22, FREON 113, FREON 114 y FREON 502. De todos ellos el más utilizado en refrigeración doméstica por compresión es el FREON 12 y este es un compuesto sintético: El dicloruro – difluorometano. Para simplificar en la práctica se le ha bautizado F 12. Es incoloro y tiene un olor casi nulo, no desagradable, su temperatura de ebullición (a la presión atmosférica) es de  $-29.8^{\circ}\text{C}$  y su punto de congelación es de  $-155^{\circ}\text{C}$ . El F 12 es cuatro veces más pesado que el aire y por lo tanto tiende a permanecer en el suelo. La detección de las fugas de F12 se puede realizar con una lámpara haloide. Este detector quema acetileno y produce una llama casi incolora. El aire de combustión entra por un tubo en la base del quemador, la llama arde en una pieza de cobre. El tubo del aire se lleva al lugar sospechoso de fuga y si hay Freon presente la llama se pone de color verde brillante. (Gillermo Eraso, 1997)

En vista de que estos refrigerantes FREONES son el enemigo número uno de la capa de ozono en este momento ya se encuentran en el mercado los refrigerantes sustitutos de estos. Los nuevos refrigerantes o refrigerantes ecológicos se han elaborado a base de HFC (hidrofluorocarbono) que no contienen nada de cloro. El HFC-134 A tiene un potencial de agotamiento del ozono (PAO) de valor cero y fue uno de los primeros refrigerantes que se probaron como alternativa para los refrigeradores y es el más indicado hasta el momento para remplazar el FREON 12 (CFC-12). Inicialmente hubo problemas con la lubricación, pero actualmente los fabricantes de aceites han desarrollado aceites de éster sintéticos y solucionaron los problemas que se habían presentado. Los refrigeradores que funcionan con FREON12 no necesitan modificar el sistema si están en buen estado, continuarán



funcionando durante varios años. Para sustituir el Freon 12 por el 134 A se debe reemplazar el compresor, el filtro secador y el capilar por elementos compatibles con el 134 A. Además, antes de cargar el 134 A es necesario eliminar el aceite mineral residual presente en el circuito frigorífico. (González, 2016)

En el proyecto se hace alusión a los (HFC) Hidrofluorcarbonos ya que los refrigeradores domésticos estudiados, tiene como sustancia de trabajo el refrigerante (HFC) R-134a. Este es un gas refrigerante que no daña la capa de ozono, es de baja toxicidad, no es inflamable con la presencia del aire atmosférico a temperatura inferior a 100 °C y a presión atmosférica. No es corrosivo, y es compatible con la mayoría de materiales. Sus vapores tienen un olor levemente dulce. ("Hoja de producto R134a," 2018)

Indiscutiblemente, la invención del refrigerante constituye un avance significativo, sin embargo, son disimiles y acelerados los daños que causa al medio ambiente. En este sentido la confirmación científica del agotamiento de la capa de ozono impulsó a la comunidad internacional a establecer un mecanismo de cooperación para tomar medidas para proteger la capa de ozono. Esto se formalizó en el Convenio de Viena sobre la protección de la capa de ozono, posteriormente con el Protocolo de Montreal y de Kyoto se propone reducir el uso de gases de efecto invernadero para eliminar gradualmente los hidrofluorcarbonos (HFC). (UNIDAS, 2018)

El 1 de enero de 2015 entró en vigor el nuevo Reglamento 517/2014 del Parlamento Europeo sobre los Gases Fluorados de efecto invernadero. (GasServei, 2014)

Las principales disposiciones introducidas fueron:

- Asignación a cada productor y/o importador que tenga derecho, unas cuotas (cuantitativas), expresadas en PCA equivalente (potencial de calentamiento atmosférico), de productos F-Gas para comercializar en el mercado. (1)
- Prohibición del uso de F-Gas con un PCA superior a 2500 en servicios de mantenimiento a partir de 2020 (2).



- Reducción progresiva de las cantidades de F-Gas que podrán comercializarse, calculadas en base a las cantidades de PCA equivalentes, a partir del 1 de enero de 2015 hasta un nivel mínimo del 21% previsto para 2030. (GasServei, 2014)

Una alternativa propuesta en la actualidad es el refrigerante mezclado 450A (PCA 600). El cual es una mezcla casi azeotrópica de la familia de las hidrofluorolefinas (HFO), destinado a remplazar el R-134A tanto en aplicaciones de refrigeración domésticas, comerciales e industriales, así como para aire acondicionado, enfriadoras y bombas de calor.(Climalife, 2017)

Otro tipo de refrigerante planteado por San Román en su ponencia es el HFO 1234ze. Considerado como "refrigerante natural" por el gobierno alemán, cuenta con el PCA más bajo (<1), aunque forma parte del grupo de seguridad A2L (ligeramente inflamable). Tiene aplicaciones en sistemas de refrigeración y calefacción de distrito, enfriadoras (agua), bombas de calor, frigoríficos, instalaciones de CO2 en cascada etc, con buenos resultados de eficiencia.(Arnabat, 2015)

Como vemos, el reto de los fabricantes de gases refrigerantes pasa no sólo por el cumplimiento de la normativa F-Gas para conseguir bajos niveles de Potencial de Calentamiento Atmosférico sino igualar o mejorar la eficiencia energética de los gases que ya habían demostrado sus buenos rendimientos, manteniendo los niveles de seguridad básicos. (Arnabat, 2015)

### **1.5 Caracterización de las condiciones de explotación de los refrigeradores domésticos.**

La ubicación del refrigerador dentro del hogar es significativa para su conservación, por estas razones debe de colocarse lejos de equipos que generen calor, como fogones u hornos, de paredes expuestas al sol y locales que carezcan de una buena corriente de aire, pues es necesaria la ventilación del equipo. Si estas condiciones no son tomadas en cuenta se puede generar un sobre consumo como resultado de la pérdida de aire frío al abrir el refrigerador, lo que obligaría a la máquina a mantener un régimen de trabajo por encima de lo necesario para poder satisfacer la demanda.

El Sobrecalentamiento excesivo en motores puede causar problemas de rendimiento. Este, causa que el aislamiento del devanado del motor se deteriore



rápida. Por cada diez grados centígrados que se eleve la temperatura, la vida del aislamiento se recortará a la mitad, también ocurre cuando un motor eléctrico es forzado para operar en un ambiente de alta temperatura. Esto causa que la tasa a la que el calor puede conducirse se reduzca a un ritmo alarmante. El área donde los motores eléctricos están operando debe tener un sistema de refrigeración apropiado y un sistema de ventilación que estará disponible en caso de que el sistema de refrigeración pare de trabajar. ("Determinando la causa de los fallos en los motores eléctricos.," 2014; "Protección de motores eléctricos," 2011)

En la Figura 3 se muestran la ubicación necesaria para el refrigerador doméstico, según el manual de aplicación de la compañía Embraco, manual que evidencia que el refrigerador está correctamente ubicado y en estado óptimo cuando tiene una buena ventilación, evitando así que el sistema trabaje a altas temperaturas, genere un sobreconsumo y una merma en la vida útil del refrigerador.

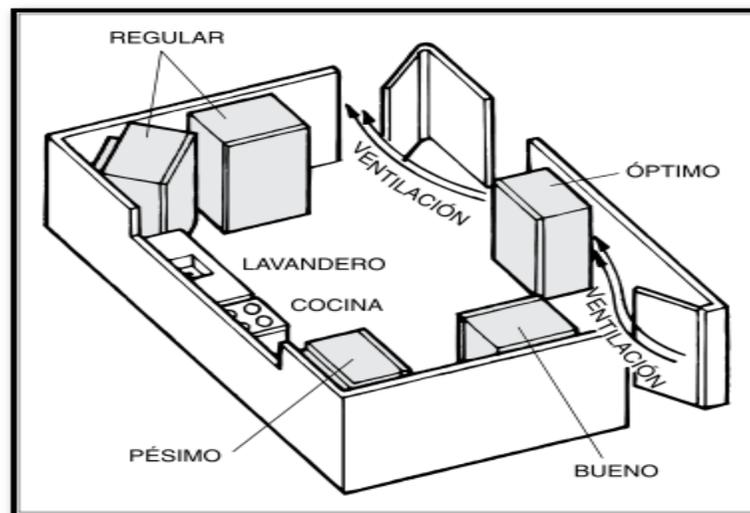


Figura 3. Ubicación del refrigerador.(Embraco, 2009)

### 1.5.1 Condiciones de explotación de los refrigeradores en Cuba:

Las altas temperaturas propias de un país tropical, como es el caso de Cuba, provocan una mayor demanda de equipos de refrigeración, por ello es elevado el número de refrigeradores existentes en el ámbito doméstico. Estos electrodomésticos deben de estar etiquetados con clase climática (T) o (ST) lo que indica que el refrigerador es tropical o subtropical, diseñado para trabajar en

temperaturas desde los 18°C hasta 43°C. Según los experimentos realizados a los refrigeradores objeto de estudio, se determinó que muy pocos cumplen con las condiciones de explotación correctas.

En Cuba, según González [54] y Rodríguez [111], las condiciones económicas que atraviesa el país limitan los códigos de confort que se utilizan a nivel mundial para las viviendas, por lo que ha sido necesario reducir a espacios mínimos de habitabilidad, y dejar insatisfechas algunas necesidades de bienestar. Dentro de ellos, se deben mencionar los vanos para fenestración (regulados por la norma cubana), que no permiten el 100 % de la ventilación cruzada dentro de los diferentes espacios de las viviendas, lo que provoca zonas viciadas de circulación y, por ende, acumulan mayor cantidad de calor dentro del hogar. (Arencibia Ávila, 2004)

Expertos de la empresa de la vivienda en Holguín consideran que en determinadas horas la concentración de calor dentro del hogar es prácticamente similar al exterior, y se debe a que los moradores de las viviendas pasan la mayor parte de las horas cálidas del día en sus trabajos, lo que implica que casi el 40 % del día estén cerradas. (Arencibia Ávila, 2004)

Los valores altos de temperatura dentro del hogar están asociados a algunos materiales en las construcciones que propician la transmisión del calor al interior, y por tanto, alteran las condiciones de temperatura a las que están sometidos los diferentes equipos dentro del hogar [66, 111, 143].(Arencibia Ávila, 2004)

En este sentido se pudo determinar que la ubicación que se les da en las viviendas no es la adecuada, por lo general no hay ni puertas ni ventanas cercas y los márgenes que se deben tener en cuenta no son respetados, estos según encuestas realizadas están entre una posición de regular a pésimo. De las 32 viviendas visitadas en el 15.63% de los casos los refrigeradores están ubicados cumpliendo las normas establecidas para su correcta explotación, el 50% de ellas se califican de regular ya que cumplen medianamente con los requisitos y el 34.37% tienen una mala ubicación dentro del hogar. En el 25.92% de las evaluadas de regular y mal los refrigeradores están ubicados muy cerca de equipos de cocción que generan calor.



## 1.6 Componentes del sistema de refrigeración doméstica.

El sistema de refrigeración doméstica está constituido por cuatro elementos principales que son: el compresor, el evaporador, el condensador y el dispositivo de expansión los mismos que son descritos a continuación:

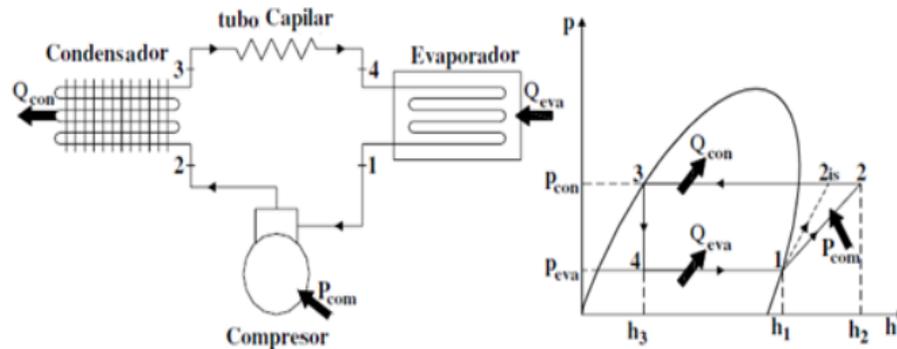


Figura 4 Esquema y diagrama p-h del ciclo de refrigeración por compresión de vapor. (Gómez Constante, 2009)

### ➤ Evaporador

En el evaporador, el refrigerante líquido se evapora al absorber el calor latente del material a ser enfriado, dicho vapor de refrigerante a baja presión pasa desde el evaporador al compresor. (Bolaji, 2011)

Existen tres tipos de evaporadores principales los cuales son: los de superficie de placa, los aleteados y los de tubo cubierto.

En los evaporadores de tubo cubierto y los de superficie de placa, casi toda la superficie externa del evaporador queda en contacto con el refrigerante vaporizado del interior, mientras que el aleteado tiene superficies secundarias (las aletas) cuya función es mejorar la eficiencia del evaporador

### ➤ Compresor

El compresor tiene dos funciones en el ciclo de refrigeración por compresión. En primer lugar, succiona el vapor refrigerante y reduce la presión en el evaporador, a un punto en el que puede ser mantenida la temperatura de evaporación deseada. En

segundo lugar, el compresor eleva la presión del vapor refrigerante a un nivel lo suficientemente alto, de modo que la temperatura de saturación sea superior a la del medio de enfriamiento disponible para la condensación del vapor refrigerante. (Mendez Lopez, 2009)

En la refrigeración doméstica el más común es el compresor hermético debido a su gran fiabilidad. Este puede trabajar por un largo tiempo en sistemas de refrigeración de pequeña capacidad sin ningún tipo de fugas producto de la compresión, ya que estos se encuentran herméticamente cerrados y dando la facilidad de que el sistema se encuentre inmerso en aceite. En este sistema no hay sellos giratorios que separen el motor del compresor, y aunque los componentes internos no son accesibles no poseen ningún requisito de mantenimiento, esto lo hace un compresor con larga vida de explotación.

#### ➤ Condensador

El condensador es un dispositivo usado para eliminar el calor del sistema de refrigeración para un medio que tiene una temperatura más baja que el refrigerante en el condensador, mismo que puede circular de forma natural o forzada. (Bolaji, 2011)

Los condensadores de convección natural eliminan calor mediante el aire que rodea al condensador y que por diferencia de temperaturas calienta el aire, el mismo se eleva por ser más liviano que el aire frío y en su lugar ingresa aire frío para continuar con el enfriamiento.

#### ➤ Dispositivo de expansión

El refrigerante líquido a alta presión pasa desde el condensador al evaporador a través de un dispositivo de expansión o un reductor, que reduce la presión del refrigerante regulando o controlando el flujo de refrigerante líquido al evaporador para que pueda ser evaporado a baja presión. (Bolaji, 2011)

Existen seis tipos básicos de control de flujo de refrigerante: válvula de expansión manual, válvula de expansión automática, válvula de expansión termostática, tubo



capilar, válvula de flotador de presión baja y válvula de flotador de alta presión.(Gómez Constante, 2009)

### 1.6.1 Principio de funcionamiento de un refrigerador doméstico:

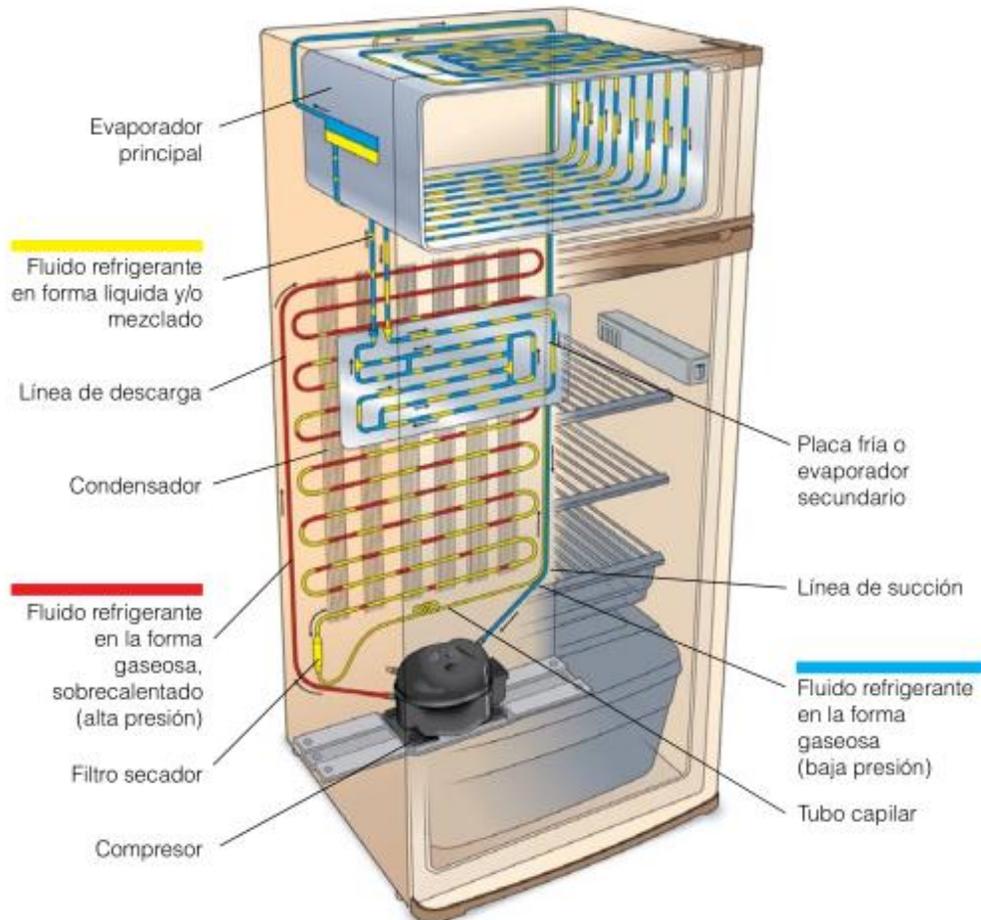


Figura 5. Componentes que intervienen en el funcionamiento de un ciclo de refrigeración (Embraco, 2009).

El compresor succiona el fluido refrigerante del evaporador, reduciendo la presión en ese componente. El fluido es comprimido por el compresor y sigue para el condensador. En el condensador el fluido refrigerante, bajo alta presión, libera el calor para el ambiente y se torna líquido. El próximo componente del circuito es el elemento de control, que puede ser un tubo capilar o una válvula de expansión. El elemento de control reduce la presión del refrigerante líquido que fue formado en el condensador. Esa reducción de presión permite la evaporación del refrigerante, que vuelve al estado gaseoso al pasar por el evaporador (Embraco, 2009).

El cambio de estado líquido para gaseoso necesita de calor. De esta forma, el fluido refrigerante retira el calor de dentro del sistema de refrigeración a través del evaporador. El condensador libera ese calor para el ambiente. El elemento de control ofrece cierta resistencia a la circulación del refrigerante, separando el lado de alta presión (condensador) del lado de baja presión (evaporador). El sistema de refrigeración usa también un filtro secador con desecante para retener, en caso de haber, la humedad residual existente en el sistema. El tubo enfriador de aceite, que existe en algunos compresores, sirve para reducir la temperatura del compresor. Existen sistemas, finalmente, que utilizan un acumulador de succión para evaporar restos de refrigerante líquido, evitando su retorno por la línea de succión (Embraco, 2009).



## **CAPÍTULO 2. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS QUE DETERMINAN EL CONSUMO DE ENERGÍA.**

La energía eléctrica hoy en día es imprescindible y su consumo irracional genera un sin número de preocupaciones, comportamiento que origina numerosos estudios hacia la mejorar de la eficiencia en el consumo energético, no solo para el sector industrial o estatal, sino también, para el área residencial. Un factor importante para el logro de esa mejora ha sido la determinación y el control del consumo, de modo que se hace necesario el uso de los medidores de energía.

En este capítulo se realizan las mediciones eléctricas necesarias para determinar el consumo de energía del refrigerador de uso doméstico en condiciones reales de explotación, a partir del análisis del comportamiento de sus parámetros eléctricos y la red de alimentación. Se presenta, además, el diseño de experimento y las bases de análisis para evaluar los resultados obtenidos.

### **2.1 Procedimiento de medición.**

Previo a la realización de las mediciones, se caracterizaron las viviendas donde fueron desarrollaron los estudios, ello con el objetivo de definir las condiciones de explotación real de los refrigeradores y conocer la conducta de los residentes, se determinó de esta manera la incidencia de estas características sobre el consumo de energía en estos equipos.

Una vez concluida la etapa de caracterización se procedido a ejecutar las mediciones, para ello fue necesario utilizar un instrumento de medición eficaz, condición indispensable para conocer el comportamiento de los parámetros eléctricos que impactan el consumo, pudiendo así determinarse su comportamiento durante un período establecido.

El instrumento utilizado fue el analizador de redes MetrelPowerQ Plus, instrumento multifuncional portátil empleado para el análisis de la calidad de la energía y la realización de las mediciones de las magnitudes eléctricas necesarias para la determinación del consumo energético de los refrigeradores a estudiar. Este equipo permite descargar los datos y analizarlos de forma rápida, intuitiva y descriptiva mediante el software informático de acompañamiento PowerView v2.0. Durante las



mediciones se activó el perfil del registrador predefinido para inspecciones según la norma EN 50160 y las mediciones de potencia conforme a las normas IEC 61557-12 e IEEE 1448. (METREL, 2013)

En principio es sumamente importante ajustar adecuadamente el equipo de medición, pues un inadecuado ajuste de la medida conduciría a resultados poco fiables. Por ello es necesario que el instrumento y el usuario estén completamente preparados antes de iniciar la medición.

Teniendo en cuenta que se desea conocer la energía consumida en condiciones reales de explotación de los refrigeradores, no resulta factible realizar las pruebas en un laboratorio o taller, por lo que se decidió efectuarlas en cada uno de los domicilios donde son empleados. Las mediciones se realizaron en un período de 24 horas durante varios días a cada uno de los refrigeradores, de modo tal que se pudiera evaluar y comparar el consumo de energía para distintos escenarios.

El intervalo de tiempo de medición básico es de 10 ciclos. La medición de 10 ciclos es resincronizada en cada señal del intervalo conforme a la norma IEC 61000-4-30 Clase B. Los métodos se basan en el muestreo digital de las señales de entrada, sincronizadas con la frecuencia fundamental. Cada entrada es muestreada simultáneamente 1024 veces en 10 ciclos. Todas las mediciones representan valores efectivos o RMS (RootMeansSquare) de las 1024 muestras de las magnitudes medidas durante el intervalo. (METREL, 2013)

Para la realización del estudio se tomaron como muestra cinco refrigeradores, Haier, LG y tres de marca Frigidaire. Estos últimos son altamente comercializados por las cadenas importadoras de estos equipos en el país, los cuales tienen un período de explotación menor de dos años, lo que significa que no se introduce consumo adicional por el desgaste de sus componentes.

### **2.1.1 Definición de las magnitudes a analizar**

Para el análisis técnico del experimento, se definen los parámetros eléctricos a medir como una introducción de terminología y conceptos de referencia necesarios para la comprensión y el estudio del desempeño energético de los refrigeradores.



Básicamente el análisis a realizar se basa en la medición eléctrica de la tensión (V) y la corriente (I) que circulan por los conductores, estos a su vez conducen a los demás indicadores: factor de potencia ( $\cos \varphi$ ), potencia (P), energía (E) (Schneider, 2008)

$$P = U * I * \cos \varphi \quad (1)$$

P representa la potencia activa y constituye la potencia capaz de transformar la energía eléctrica en trabajo útil y a su vez la potencia realmente consumida en una instalación eléctrica. Se representa por esta letra y se mide en vatios (W), su suma da el valor de la energía activa (kWh), la suma de esta potencia activa a lo largo del tiempo es la energía activa (kWh), que es lo que factura la compañía eléctrica (término de energía). (Imergia, 2018b)

El factor de potencia es la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S), representa el factor de utilización de la potencia eléctrica, mide la eficacia con la que se utiliza la energía eléctrica. La mejora del factor de potencia de una instalación presenta varias ventajas técnicas y económicas, sobre todo en la reducción de las facturas eléctricas. Tiene un importante significado técnico-económico debido a que de su magnitud dependen, en cierta medida, los gastos de capital y explotación, así como el uso efectivo de los equipos de las instalaciones eléctricas. (Schneider, 2008)

Si el factor de potencia (f.d.p.), o  $\cos \varphi$ , se aleja mucho del valor 1 es necesaria la compensación de la energía reactiva para evitar penalizaciones en la factura eléctrica, y sobrecargas y caídas de tensión en la instalación eléctrica. (Imergia, 2018a)

como expresa la ecuación 2:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (2)$$

Donde S es determinada de la siguiente forma:

$$S = P^2 + Q^2 \quad (3)$$

Siendo Q la potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos pero que es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en



funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración entre otros.(Schneider, 2008)

Una vez determinada la potencia eléctrica o activa se calcula la energía consumida por el refrigerador a partir del tiempo de trabajo del electrodoméstico como se evidencia en la ecuación 4, la misma es expresada en kilowatt-hora (kWh).

$$E = P * t \quad (4)$$

## **2.2 Resultados de las mediciones.**

En el capítulo anterior se concluyó que la temperatura ambiente, la ubicación del refrigerador dentro del hogar y la conducta de los usuarios, influyen notablemente en el consumo de energía del electrodoméstico, por lo que previo a mostrar los resultados de las mediciones se procede a caracterizar cada domicilio para analizar la influencia de estas variables en el desempeño del equipo.

### **2.2.1 Resultados de la Residencia 1**

#### Condiciones de explotación.

La vivienda donde se realizó el experimento está ubicada en planta baja, con poca incidencia directa del sol en sus paredes, lo que mantiene una temperatura relativamente fresca en el transcurso del día. En la misma conviven 5 personas, las cuales durante el día estudian y trabajan, lo que significa que durante este tiempo el refrigerador permanece cerrado y el nivel de actividad de los usuarios es menor, aunque en los horarios de la tarde aumenta.

#### Caracterización del refrigerador.

El refrigerador objeto de estudio es un electrodoméstico moderno de marca Frigidaire, con un período de explotación de dos años. Aunque está ubicado en un espacio donde la ventilación es favorable, no se cumplen del todo con las normas de uso dadas por los fabricantes, pues se encuentra situado cerca de una zona de calor (cocina), afectando su funcionamiento.



En la Tabla 2.1 se muestran los parámetros eléctricos del equipo objeto de estudio según los datos declarados en la etiqueta de fabricación

Tabla 2.1 Características del refrigerador según catálogos del fabricante.

Marca	Frigidaire
Modelo	FRT113DELW
Fuente de alimentación (V)	115
Intensidad de corriente (A)	1.1
Consumo nominal (KWh/día)	1.03
Frecuencia (Hz)	60

Tras concluir el período de medición en la Residencia 1, se conoció el comportamiento de las magnitudes que determinan el trabajo y consumo del refrigerador tal como se muestra en las gráficas expuestas a continuación.

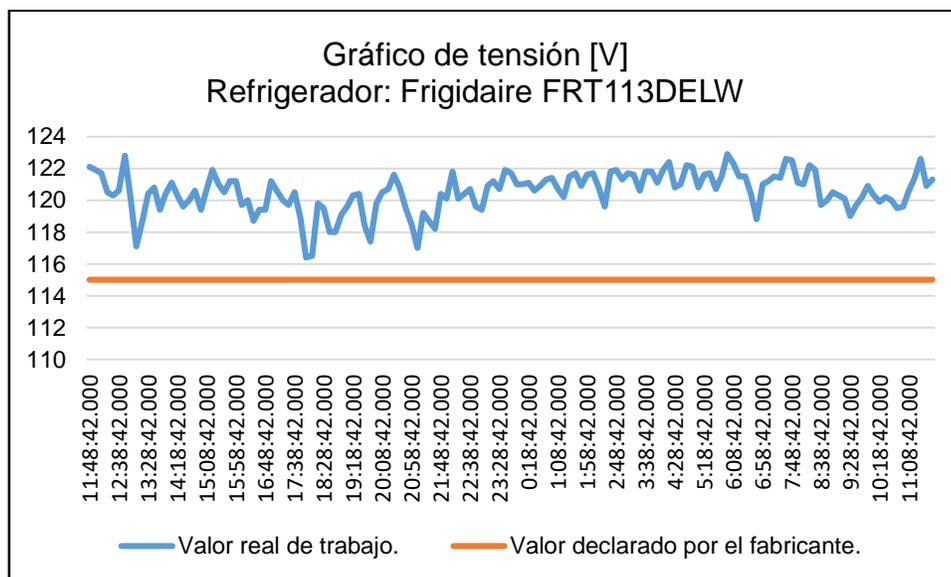


Figura 1. Comportamiento de la tensión Residencia 1.



Los valores de tensión se encuentran por encima de los valores en los que el refrigerador debe operar, ya que, como se demuestra en la Figura 1, el valor de tensión siempre está por encima de 115V que es lo declarado por el fabricante.

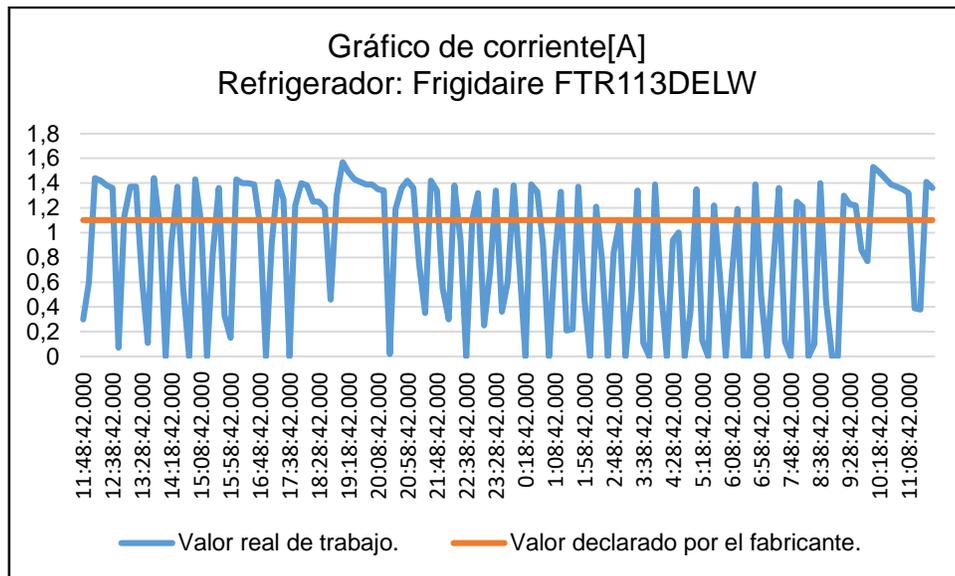


Figura 2: Comportamiento de la intensidad de corriente Residencia 1.

La Figura 2 muestra el comportamiento de la intensidad de corriente, donde en el 67.12 % de las mediciones realizadas durante el período, la intensidad de la corriente tomó valores por encima de los 1.1A declarados por el fabricante, alcanzando cifras de hasta 1.57A.

En la Figura 3 se muestra el comportamiento de la potencia activa y aparente y la relación existente entre ellas evidenciándose que la potencia aparente corresponde al valor máximo de la potencia activa que se puede obtener para una tensión y una intensidad dadas.

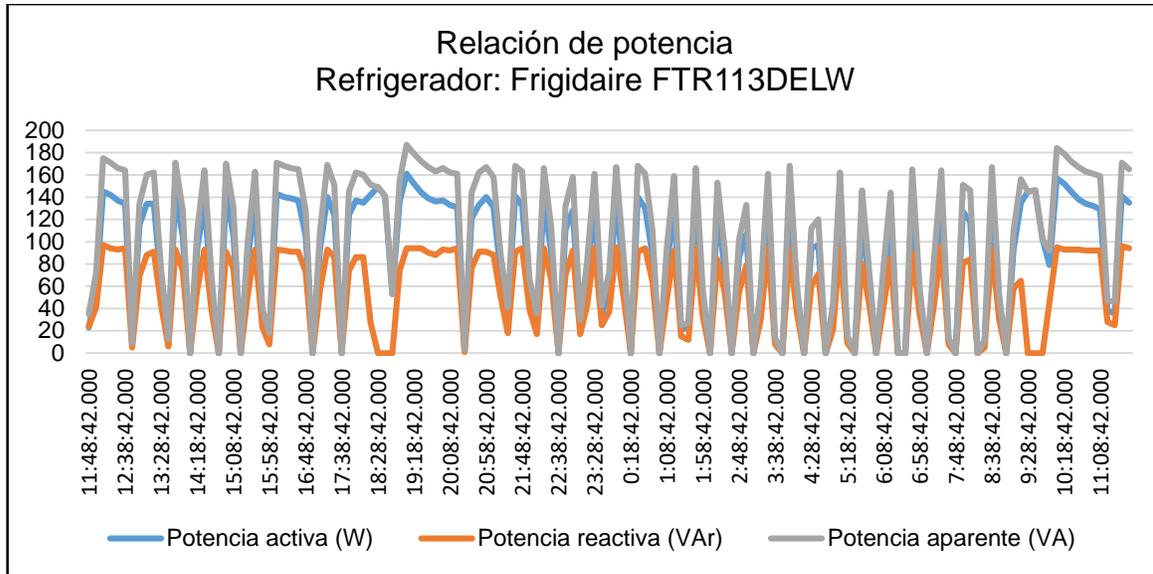


Figura 3. Comportamiento de las potencias activa, reactiva y aparente en la Residencia 1.

A partir de las mediciones de potencia activa y aparente se obtiene el gráfico del factor de potencia como se observa en la Figura 4, evidenciándose que en los momentos en los que el consumo varió de 1A a 1.57A como máximo valor de corriente el factor de potencia tuvo un comportamiento de 0.62 a 0.86 como máximo valor.

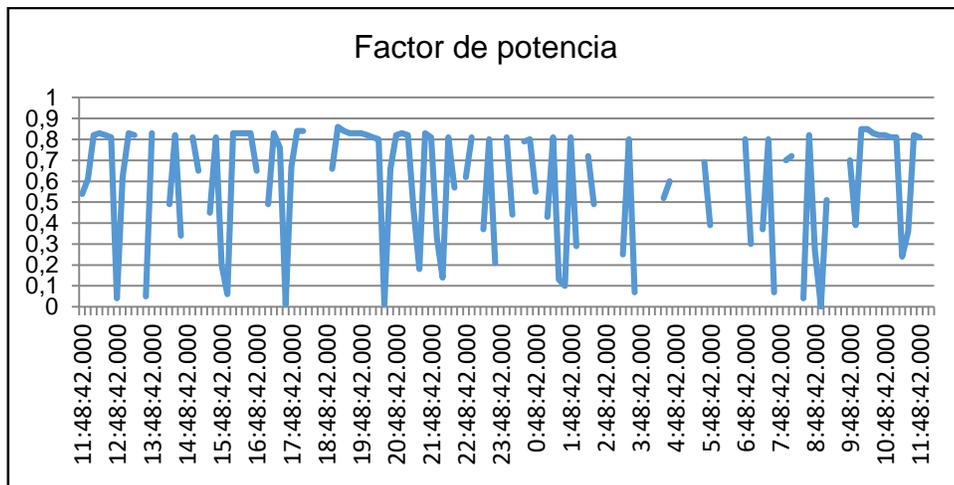


Figura 4. Comportamiento del factor de potencia Residencia 1

A partir de los valores de potencia obtenidos se determinó la energía eléctrica consumida por el refrigerador durante el período de prueba, demostrándose que el mismo consume 2.07 kWh/día lo que representa 1.04kWh/día por encima de los 1.03kWh/día que declara el fabricante.

Realizando un análisis donde se contemple lo que representan los 1.04 kWh a corto y largo plazo se calculan los datos que se muestran en la Tabla 2.2, obteniéndose la diferencia de consumo en kWh existente entre lo declarado por el fabricante y lo que consumió realmente el refrigerador para un período de hasta cinco años, de modo que esta información pueda ser utilizada para estudios posteriores relacionados con el tema de eficiencia energética en el país.

Tabla 2.2: Relación entre consumo declarado por el fabricante y el consumo medido Residencia 1.

	Fabricante (kWh)	Consumido (kWh)	Diferencia(kWh)
Día	1,03	2,07	1,04
Mes	30,9	62,1	31,2
Año	375,95	755,55	379,6
Cinco años	1879,75	3777,75	1898

Al comparar la diferencia existente entre el consumo de energía del refrigerador en condiciones normales de explotación y los valores declarados en la etiqueta se conoció que la energía consumida equivale al 200.97% de lo declarado por el fabricante.

En la Figura 5 se observa la comparación entre la información descrita en la etiqueta de fabricación y los datos calculados a partir del consumo medido para diferentes períodos de tiempo.



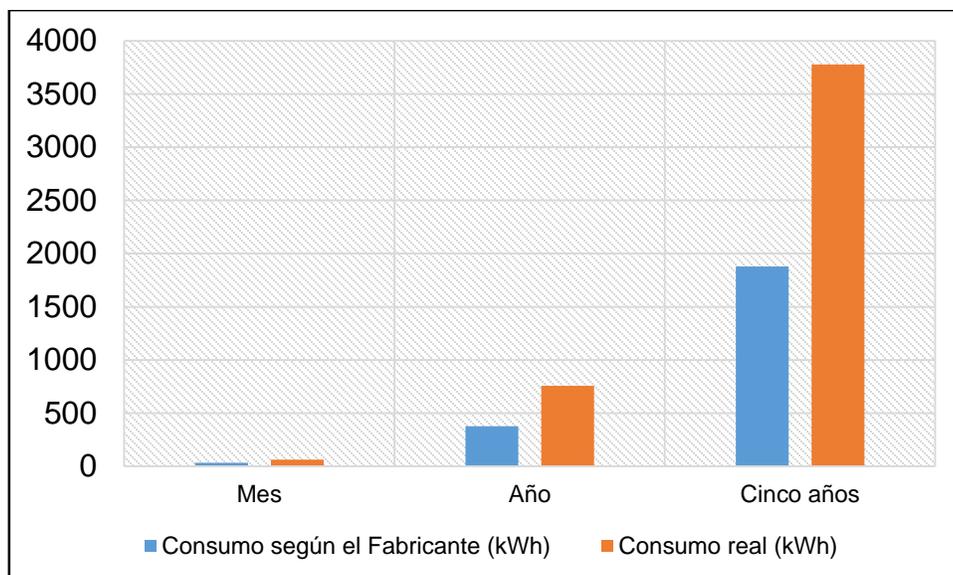


Figura 5: Relación entre consumo declarado por el fabricante y el consumo medido Residencia 1.

## 2.2.2 Resultados de la Residencia 2

### Condiciones de explotación.

La vivienda está ubicada en una segunda planta y no consta de ninguna construcción en la azotea, por lo que el sol incide directamente sobre ella durante el día, lo que genera una elevada temperatura en su interior. Conviven en esta residencia cuatro personas quienes durante el día no permanecen en el hogar, por lo que el comportamiento de los usuarios se desprecia durante este tiempo, aunque por la noche suele aumentar.

### Caracterización del refrigerador.

El refrigerador marca Frigidaire tiene poco menos de dos años de trabajo, ocupa una posición esquinada en la cocina, habitación en la cual la ventilación existente es muy buena, además está situado cerca de ventanas y puertas, hecho que permite la circulación cruzada de aire. Este refrigerador está alejado de los equipos de cocción que generan calor y se respetan los márgenes de ubicación establecidos por el fabricante.

En la Tabla 2.3 se muestran los parámetros eléctricos del equipo objeto de estudio según los datos declarados en la etiqueta de fabricación

Tabla 2.3: Características del refrigerador según catálogos del fabricante.

Marca	Frigidaire
Modelo	FRT143DELW
Fuente de alimentación (V)	127
Intensidad de corriente (A)	1.2
Consumo nominal (KWh/día)	1.15
Frecuencia (Hz)	60

Al finalizar el período de medición en la residencia se conoció que los valores de tensión para este refrigerador se encuentran por debajo del declarado por el fabricante que es 127V lo que puede traer daños como la disminución del torque de arranque disponible y disminución de la eficiencia del motor. (GM, 2019)

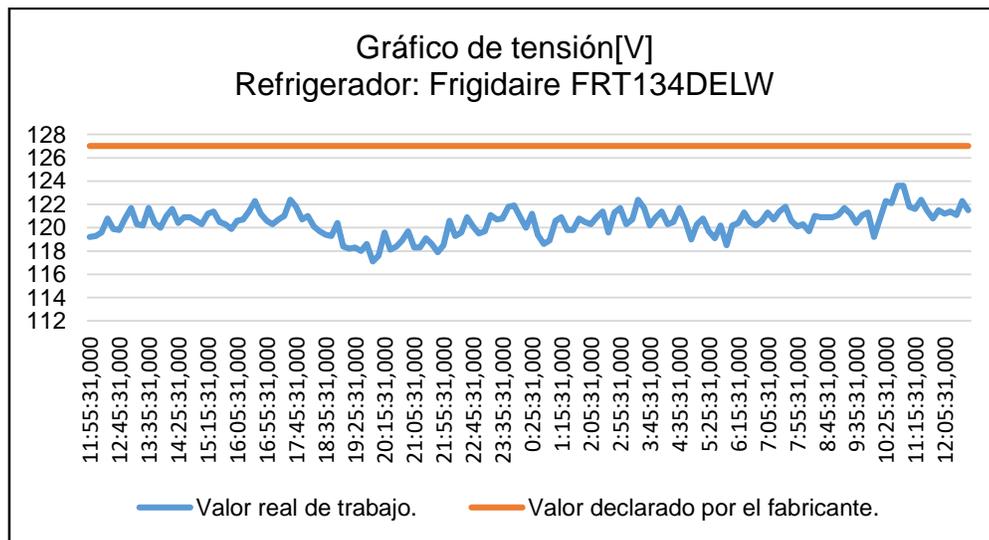


Figura 6: Comportamiento de la tensión Residencia 2.

En el caso de la intensidad de la corriente en el 44 % de las mediciones realizadas durante el período tomó valores por encima de los 1.2A declarados por el fabricante alcanzando cifras de hasta 1.54A como se evidencia en la Figura 7.

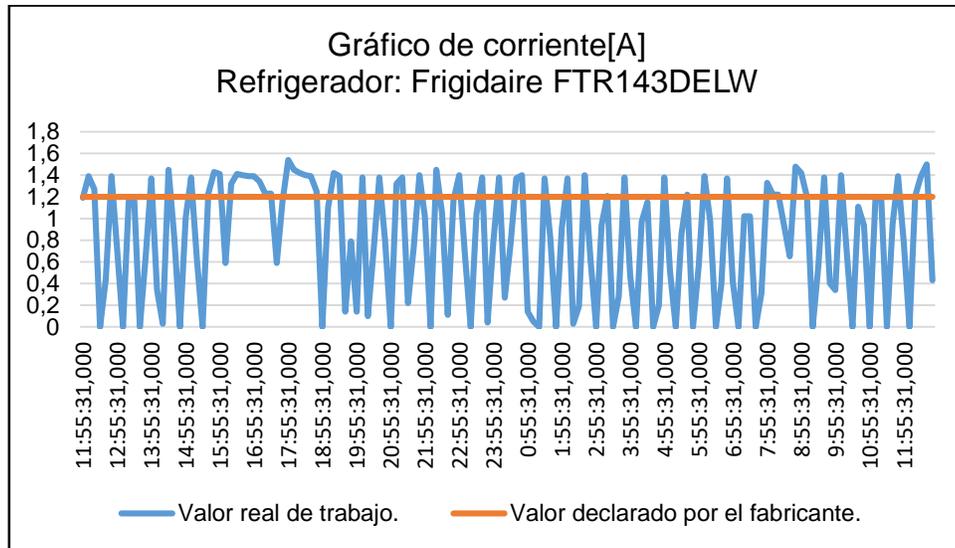


Figura 7: Comportamiento de la intensidad de corriente Residencia 2.

En la Figura 8 se ilustra la relación existente entre la potencia activa y aparente, así como el comportamiento para cada uno de estos dos indicadores.

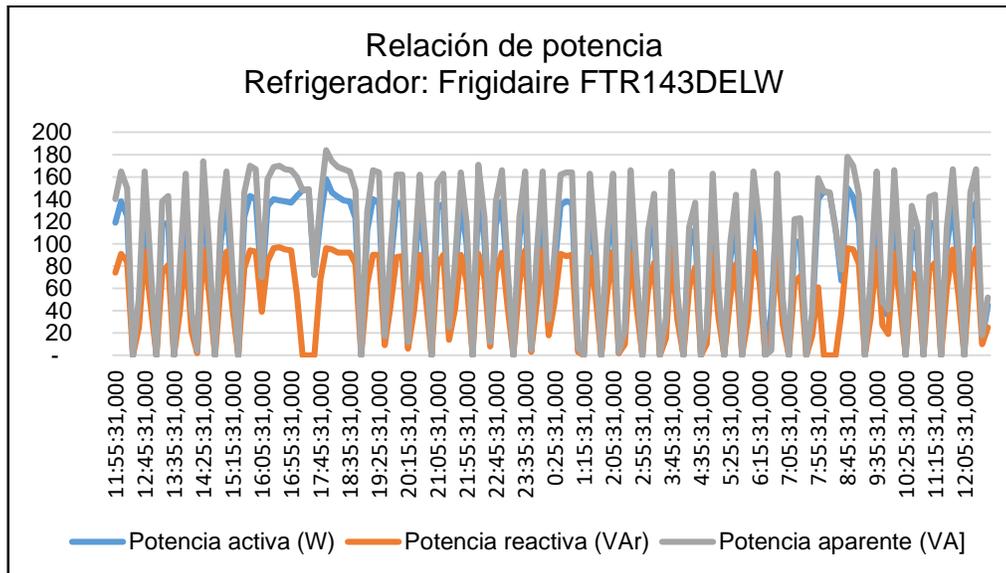


Figura 8: Relación entre la potencia activa, reactiva y aparente Residencia 2.



El factor de potencia durante los instantes en los que la intensidad de la corriente varió de 1A a 1.54A osciló entre 0.57 y 0.84 como máximo valor.

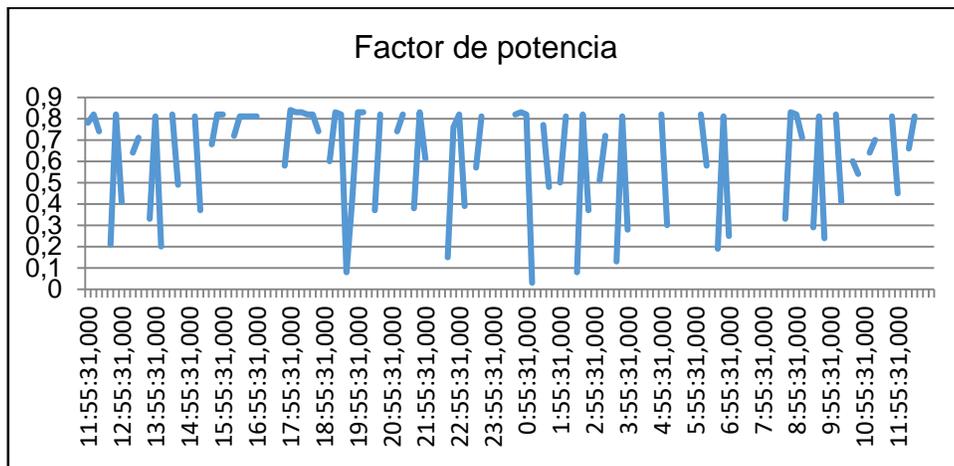


Figura 9: Comportamiento del factor de potencia Residencia 2.

Finalmente se conoció la energía consumida por el refrigerador durante las 24 horas que duró la medición realizada, demostrándose que el mismo consume 0.93 kWh por encima de lo declarado en la etiqueta energética del equipo, significando un 180.87% del consumo de energía declarado. La Tabla 2.4 muestra según los datos obtenidos de la medición como debe comportarse el consumo de energía para un período de cinco años.

Tabla 2.4: Relación entre consumo declarado por el fabricante y el consumo medido Residencia 2.

	Fabricante (kWh)	Consumido (kWh)	Diferencia(kWh)
Día	1,15	2,08	0,93
Mes	34,5	62,4	27,9
Año	419,75	759,2	339,5
Cinco años	2098,75	3796,0	1697,25



La Figura 10 muestra la relación entre los datos obtenidos de la etiqueta del refrigerador y los determinados a partir de la medición para los períodos de tiempo antes descritos en cuanto el consumo real del refrigerador.

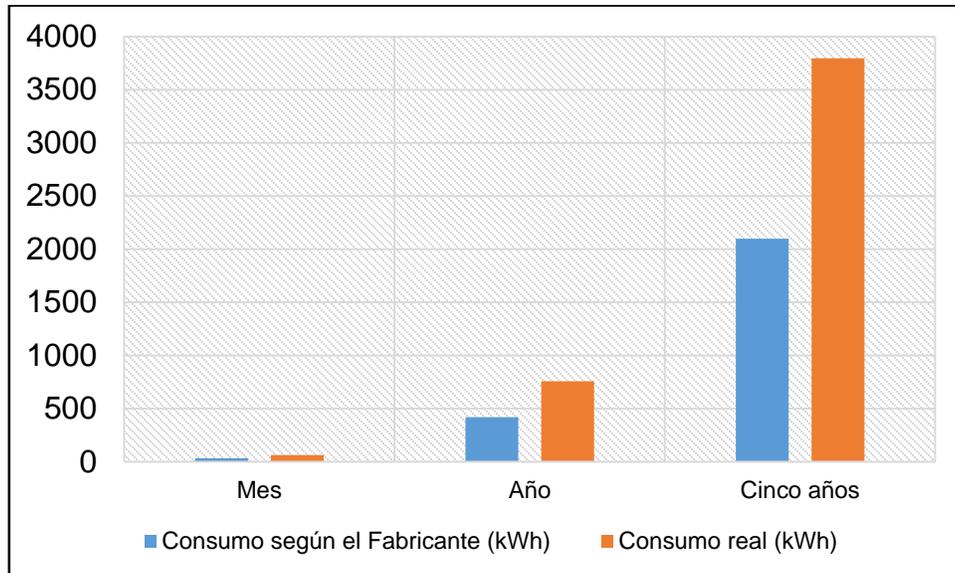


Figura 10. Relación entre consumo declarado por el fabricante y el consumo medido Residencia 2.

### 2.2.3 Resultados de la Residencia 3

#### Condiciones de explotación.

La vivienda está ubicada en primera planta, consta de una construcción encima y otras a sus laterales, lo que evita la incidencia directa del sol, razón por la cual la temperatura en el interior de la casa es relativamente más baja que en el exterior. Conviven en ella tres personas quienes durante el día se encuentran fuera del hogar.

#### Caracterización del refrigerador.

El refrigerador marca Frigidaire, modelo FRT113DELW tiene un año y medio de explotación y presenta las mismas características técnicas expuestas en la Tabla 2.1. Su posición dentro del hogar es completamente desfavorable ya que se violan todas las indicaciones de ubicación establecidas para su uso eficiente., ocupa una posición en la cocina donde no existe buena ventilación y no se respetan los márgenes de ubicación establecidos por el fabricante.



Durante las 24 horas en las que se realizaron las mediciones las personas de la vivienda permanecieron fuera del hogar, lo que significa que el consumo de energía del mismo no fue afectado por las constantes aperturas de las puertas.

Tabla 2.1: Características del refrigerador según catálogos del fabricante.

Marca	Frigidaire
Modelo	FRT113DELW
Fuente de alimentación (V)	115
Intensidad de corriente (A)	1.1
Consumo nominal (KWh/día)	1.03
Frecuencia (Hz)	60

En la Residencia 3 al igual que en las analizadas anteriormente la tensión se encuentra por encima de los valores en los que el refrigerador debe operar ya que como se demuestra en la Figura 11 el valor de tensión siempre es mayor que 115V que es lo declarado por el fabricante.

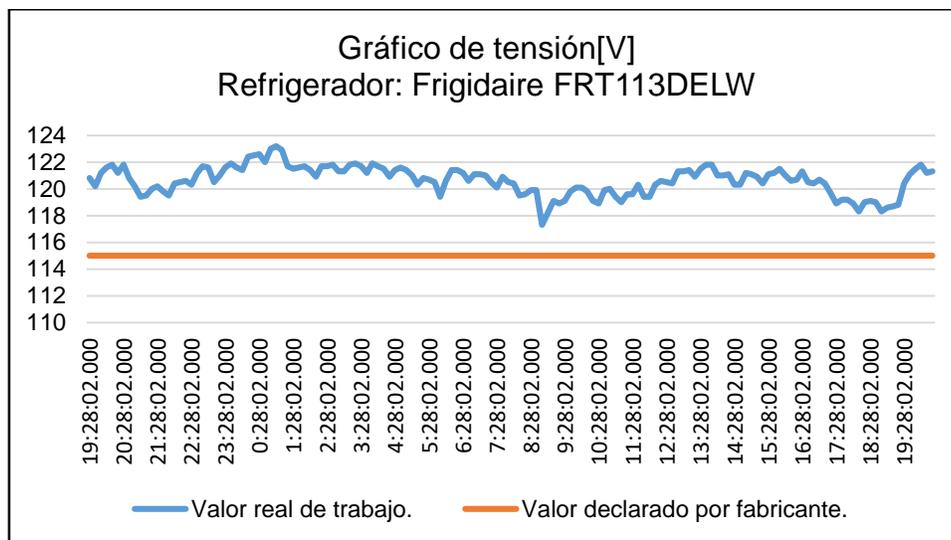


Figura 11: Comportamiento de la tensión Residencia 3.

El valor máximo de corriente alcanzado fue 1.4A sobrepasando los 1.1A establecidos en el 20% de los instantes de medición, como se evidencia en la Figura 12.

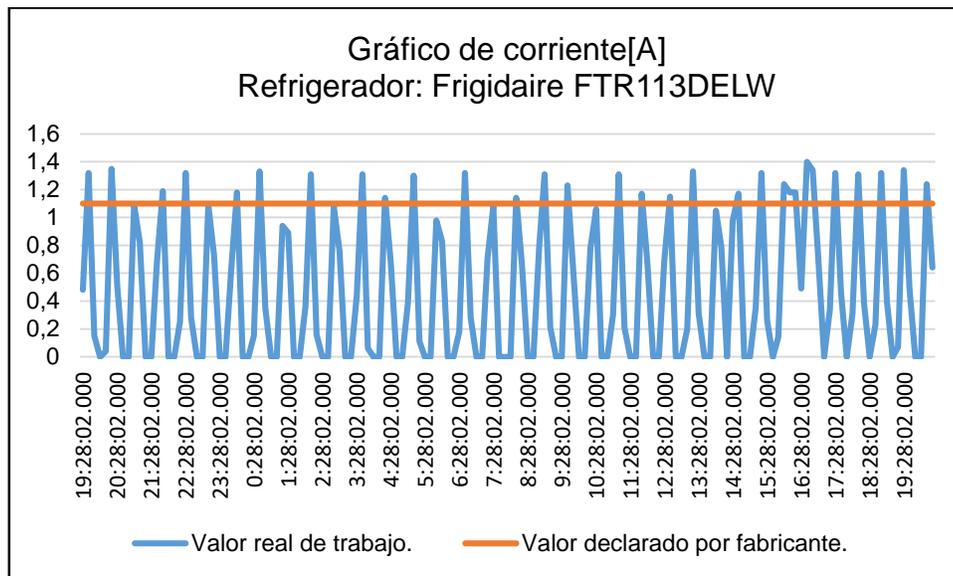


Figura 12: Comportamiento de la corriente Residencia 3.

El comportamiento de la potencia activa y aparente, así como la relación existente entre ambas, queda reflejado en la Figura 13.

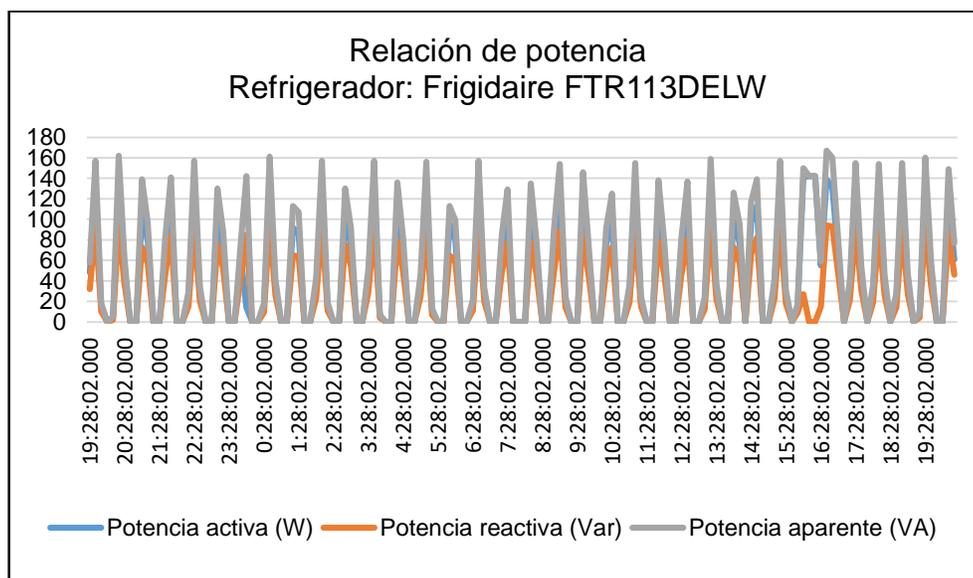


Figura 13: Relación entre la potencia activa, reactiva y aparente Residencia 3

El factor de potencia se mantuvo oscilando entre 0.60 y 0.80 en los momentos en los que la corriente se mantuvo entre 1 y 1.4A como máximo valor de corriente.



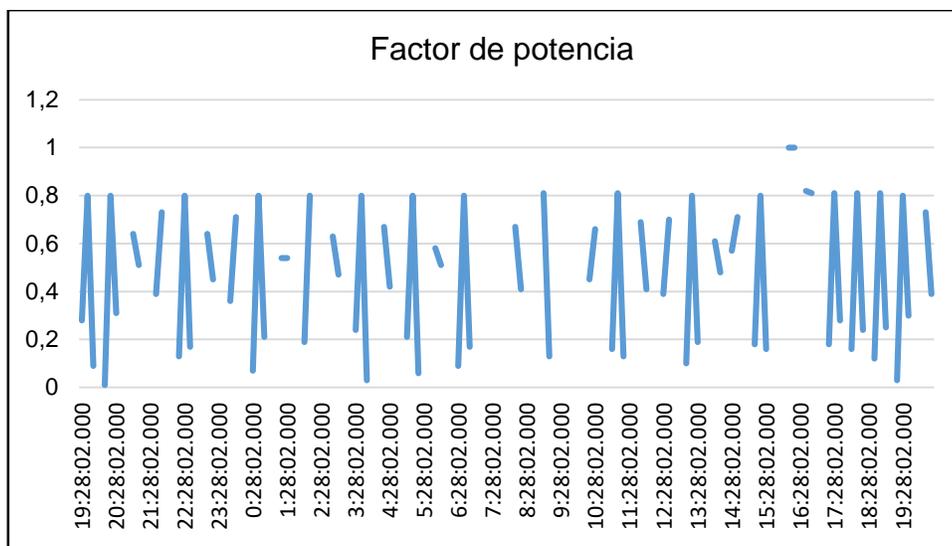


Figura 14: Comportamiento del factor de potencia Residencia 3.

La Tabla 2.5 muestra la energía consumida por el refrigerador durante el período que duró la medición realizada, demostrándose que el mismo consume 0.25 kWh por encima de lo declarado en la etiqueta energética del equipo, significando un 124.27% del consumo de energía declarado.

Tabla 2.5. Relación entre consumo declarado por el fabricante y el consumo medido Residencia 3

	Fabricante (kWh)	Consumido (kWh)	Diferencia(kWh)
Día	1,03	1,28	0,25
Mes	30,9	38,4	7,5
Año	375,95	467,2	91,25
Cinco años	1879,75	2336	456,25

La Figura 15 muestra la relación entre los datos obtenidos de la etiqueta del refrigerador y los determinados a partir de la medición para los períodos de tiempo



antes descritos en cuanto el consumo real del refrigerador. Demostrando el sobre consumo del refrigerador en parámetros reales de explotación.

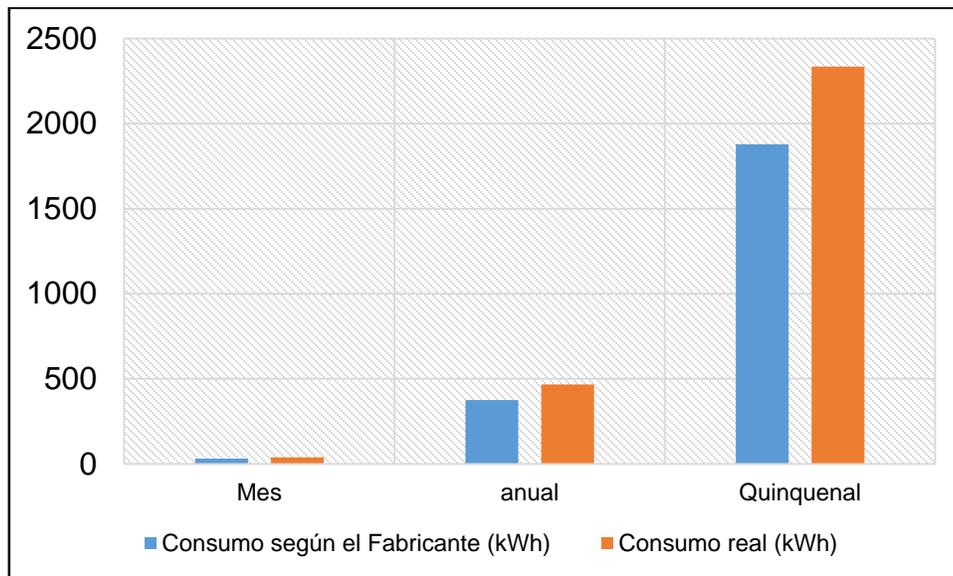


Figura 15. Relación entre consumo declarado por el fabricante y el consumo medido Residencia 3.

## 2.2.4 Resultados de la Residencia 4

### Caracterización de la vivienda.

La vivienda está ubicada en planta baja donde no tiene incidencia directa del sol por lo que la temperatura es relativamente normal de un país tropical. Conviven en ella tres personas de las cuales dos, se encuentran en el hogar durante el día, lo que significa que el consumo de energía va a estar influenciado directamente por el nivel de actividad de los usuarios, lo que representa, numerosas y prolongadas aperturas de las puertas.

### Caracterización del refrigerador.

El refrigerador marca Haier modelo HRF-250E tiene más de diez años de explotación, su consumo de energía se ve afectado por el desgaste introducido por el tiempo de vida de sus componentes. Está ubicado en la cocina, habitación donde existe buena ventilación, se encuentra además alejado de los equipos de cocción que generan calor y se respetan los márgenes de ubicación establecidos por el fabricante.

Tabla 2.6 Características del refrigerador según catálogos del fabricante.

Marca	Haier
Modelo	HRF-250E
Fuente de alimentación (V)	110
Intensidad de corriente (A)	1,2
Consumo nominal (KWh/día)	0.85
Frecuencia (Hz)	60

Los valores de tensión se encuentran muy por encima de los valores en los que el refrigerador debe operar ya que como se demuestra en la Figura 17 el valor de tensión se encuentra entre 118 y 123V.

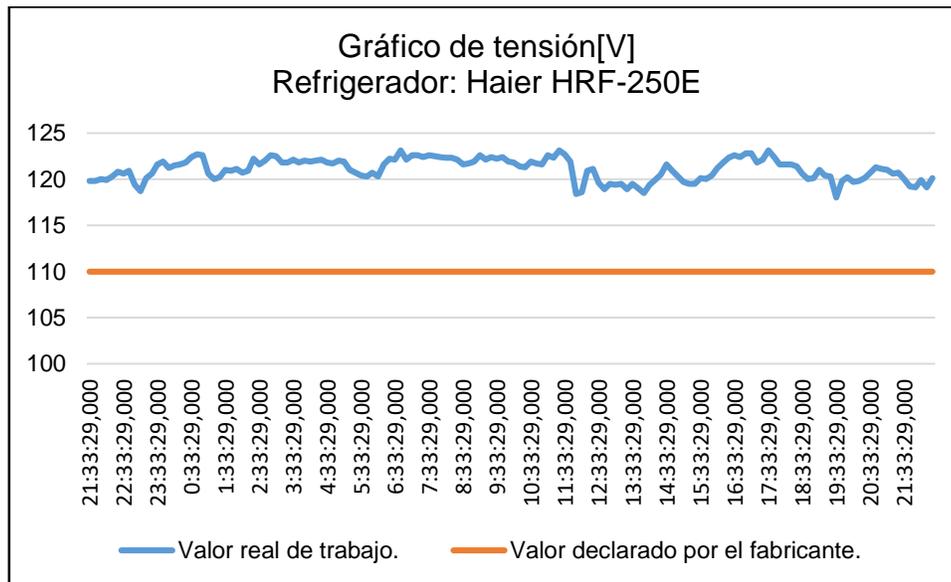


Figura 17. Comportamiento de la tensión Residencia 4.

En cuanto a la gráfica de corriente tenemos que la intensidad de la corriente que circula por los conductores alcanzó un valor máximo de 2.1A sobrepasando los 1.2A establecidos para su buen funcionamiento.



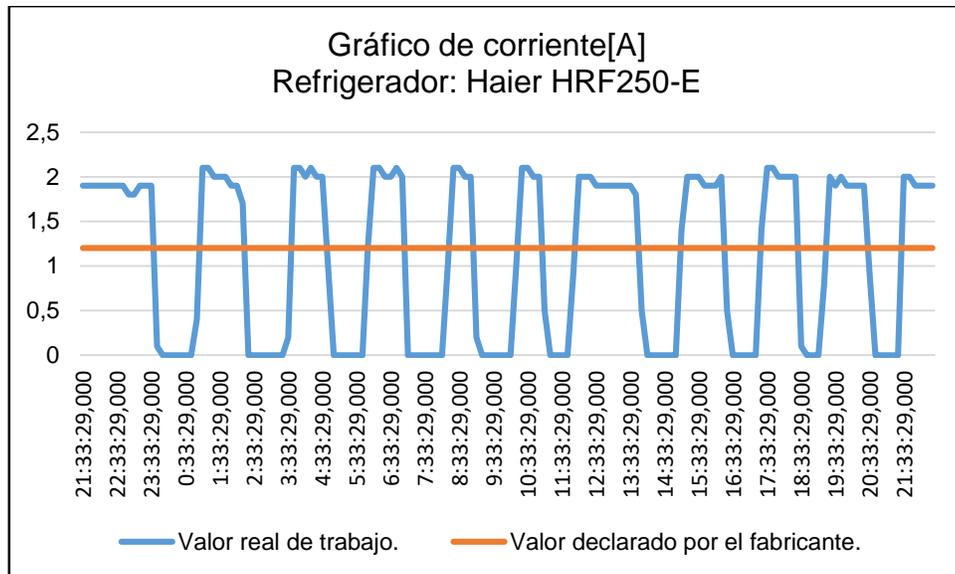


Figura 18. Comportamiento de la intensidad de la corriente. Residencia 4.

En la Figura 19 encontramos el comportamiento de la potencia activa, reactiva y aparente y la relación existente entre ellas evidenciándose en este caso que la potencia reactiva está por encima de la potencia activa debido al tiempo de trabajo y desgaste del refrigerador en sus componentes.

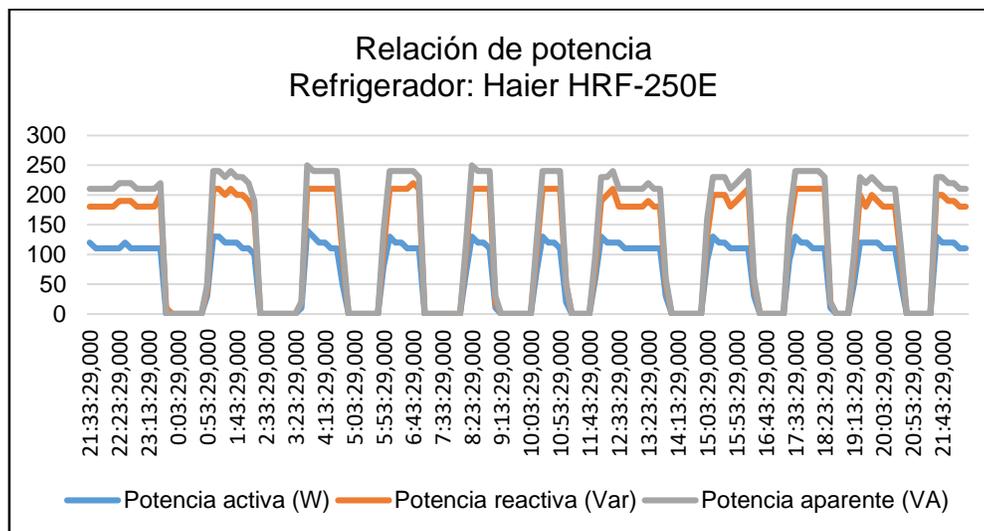


Figura 19. Relación entre potencias activa, reactiva y aparente. Residencia 4.

Del gráfico representado en la figura 20 se conoce que el factor de potencia es bajo, alcanzando un valor máximo de 0.55, lo que representa un insuficiente aprovechamiento de la energía eléctrica, que está dado por los altos valores de

potencia reactiva mostrados en la figura 19. Este valor al estar tan alejado de 1 trae consigo que la intensidad que circula por los cables es mayor que la estrictamente necesaria para la potencia útil demandada en la instalación. Y trae consigo mayores pérdidas y calentamiento en los cables, se pierde capacidad de transportar potencia en la instalación.(Imergia, 2018a)

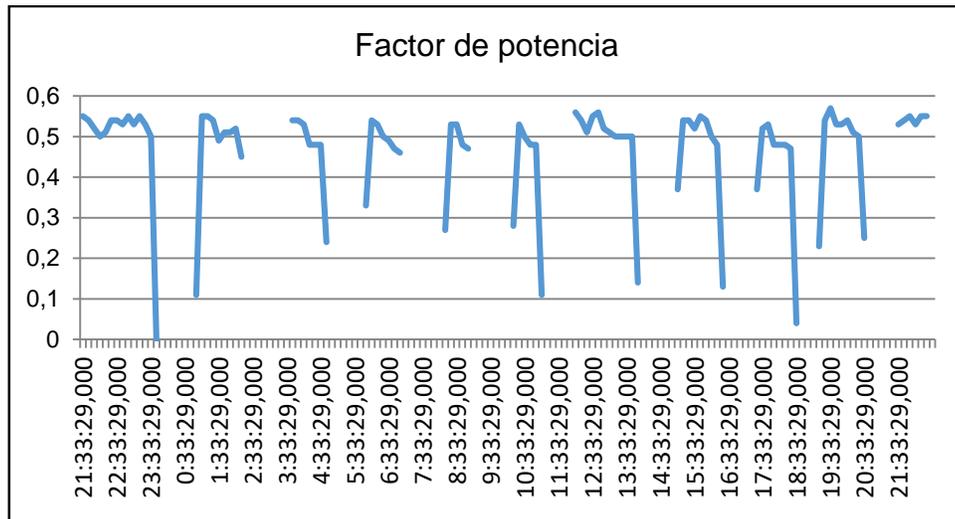


Figura 20. Comportamiento del factor de potencia. Residencia 4.

Concluidas las mediciones se conoció que la energía consumida equivale a 1,64kWh/día, superando en 0,79kWh/día lo declarado en la etiqueta de fabricación. Lo que representa un consumo de 192,94% de energía.

Asumiendo que el consumo del refrigerador se mantenga constante de acuerdo a sus condiciones de explotación, se calculó la energía que sobreconsume el mismo para diferentes períodos de tiempo. Los resultados son mostrados en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7. Relación entre consumo declarado por el fabricante y el consumo medido Residencia 4

	Fabricante (kWh)	Consumido (kWh)	Diferencia(kWh)
Día	0,85	1,64	0,79
Mes	25,50	49,20	23,70

Año	310,25	598,60	288,35
Cinco años	1551,25	2993,0	1441,75

La Figura 21 muestra la relación entre los datos obtenidos de la etiqueta del refrigerador y los determinados a partir de la medición para los períodos de tiempo antes descritos en cuanto el consumo real del refrigerador.

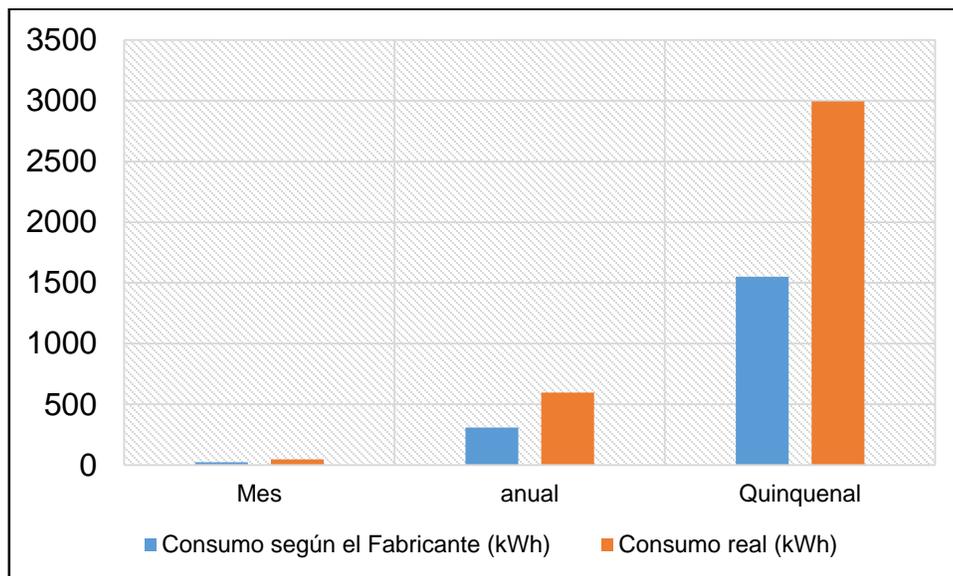


Figura 21. Relación entre consumo declarado por el fabricante y el consumo medido, Residencia 4.

## 2.2.5 Resultados de la Residencia 5

### Caracterización de la vivienda.

La vivienda es un apartamento ubicado en cuarta planta sobre el cual el sol incide directamente, condición que provoca altas temperaturas durante el día. Conviven en ella 5 personas de las cuales dos de se encuentran en el hogar a tiempo completo, lo que genera que el consumo de energía esté influenciado directamente por el nivel de actividad de los usuarios con numerosas y prolongadas aperturas de las puertas.

### Caracterización del refrigerador.

El refrigerador marca LG modelo GR28W11CPF tiene más de diez años de explotación por lo que la energía consumida está alterada por el desgaste introducido por el tiempo de vida de sus componentes. Ocupa una posición en la cocina donde existe buena ventilación. Está alejado de los equipos de cocción que generan calor y se respetan los márgenes de ubicación establecidos por el fabricante.

Tabla 2.8 Características del refrigerador según catálogos del fabricante.

Marca	LG
Modelo	GR28W11CPF
Fuente de alimentación (V)	110-127
Intensidad de corriente (A)	2.2
Consumo nominal (KWh/día)	1.20
Frecuencia (Hz)	60

En este caso particular el fabricante declara un rango de voltaje permisible entre 110 y 127V y durante las mediciones se evidenció que la mayor parte de los momentos del refrigerador opera dentro del rango establecido.



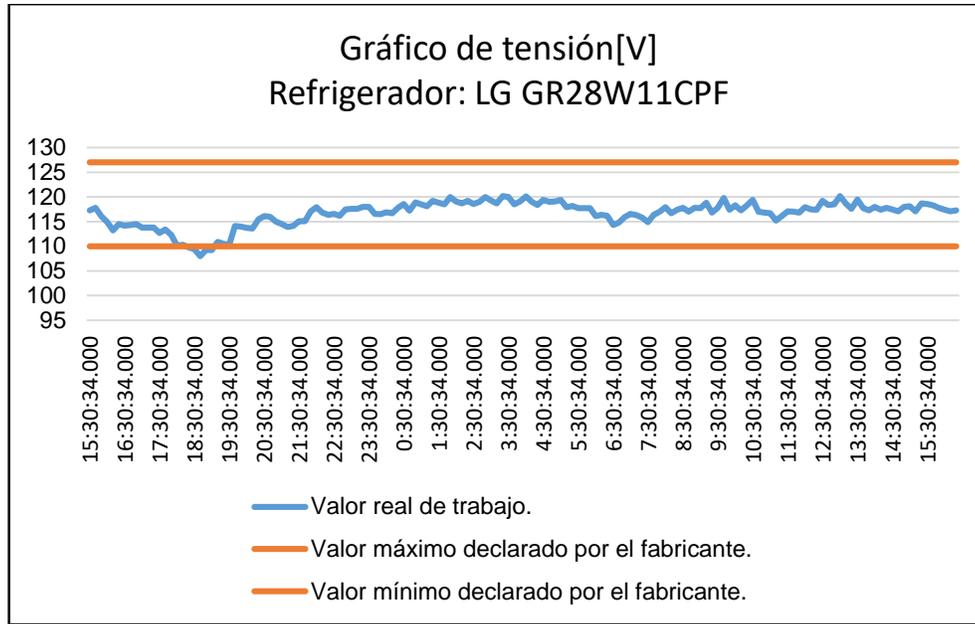


Figura 22: Comportamiento de la tensión Residencia 5.

La intensidad de la corriente coincide con la declarada en la etiqueta de fabricación como puede observarse en la Figura 23.

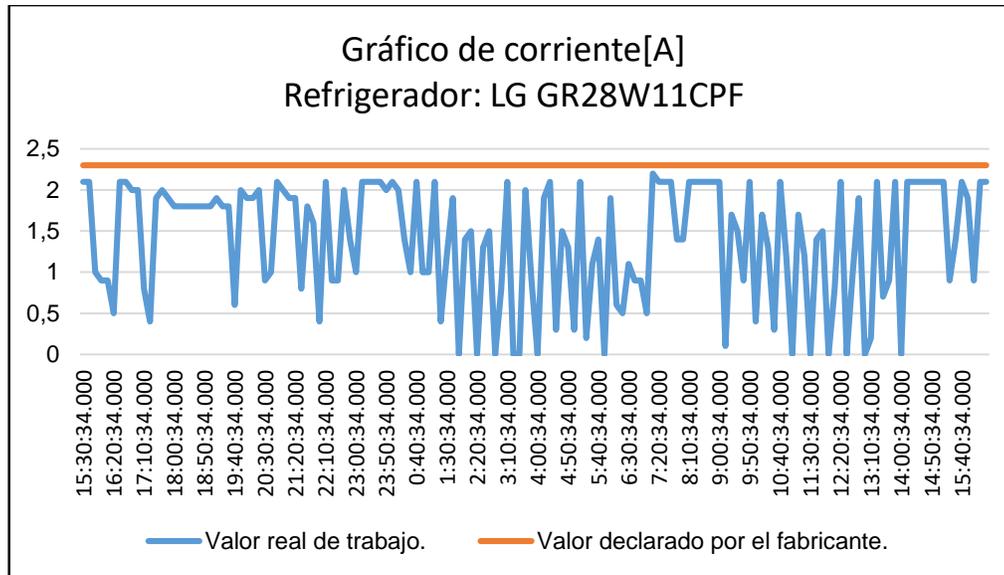


Figura 23. Comportamiento de la intensidad de la corriente. Residencia 5.

En la Figura 24 se observa que la potencia reactiva toma valores por encima de la potencia activa debido al tiempo de trabajo y desgaste del refrigerador en sus componentes.



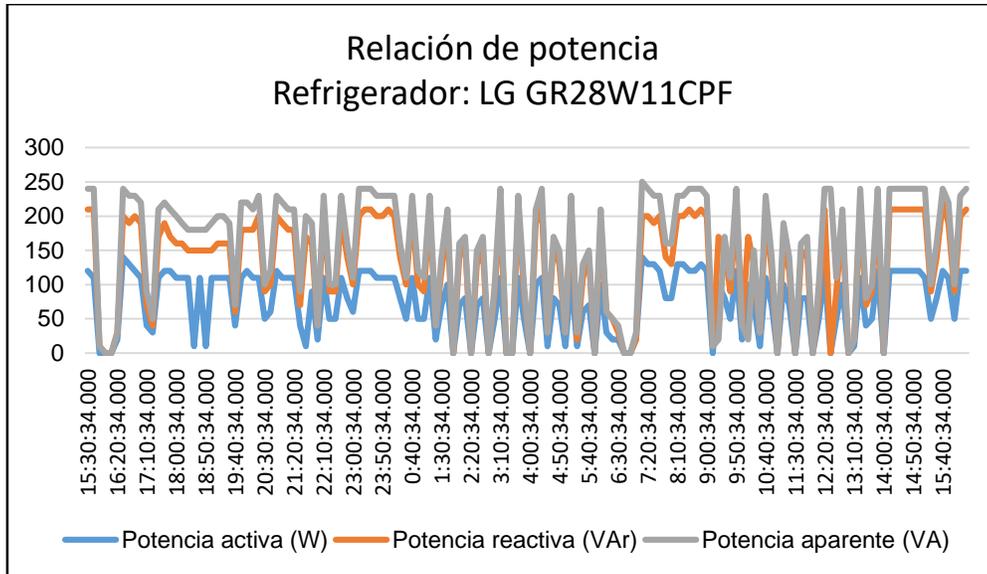


Figura 24: Relación entre la potencia activa, reactiva y aparente Residencia 5

Del gráfico representado en la Figura 20 se conoce que el factor de potencia es bajo, alcanzando un valor máximo de 0.6, lo que representa un mal aprovechamiento de la energía eléctrica.

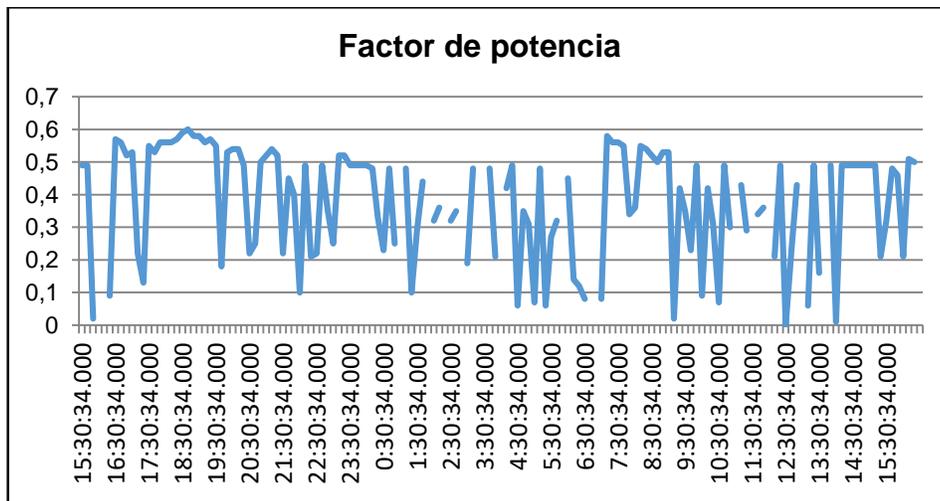


Figura 25. Comportamiento del factor de potencia. Residencia 5.

La energía consumida equivale a 1,92kWh/día, superando en 0.72 kWh/día lo declarado en la etiqueta de fabricación. Lo que representa un consumo de 160% de energía.

Asumiendo que el consumo del refrigerador se mantenga constante de acuerdo a sus condiciones de explotación, se calculó la energía que sobreconsume el mismo



para los diferentes períodos de tiempo analizados anteriormente. Los resultados son mostrados en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Relación entre consumo declarado por el fabricante y el consumo medido Residencia 5

	Fabricante (kWh)	Consumido (kWh)	Diferencia(kWh)
Día	1,2	1,92	0,72
Mes	36	57,6	21,6
Año	438	700,8	262,8
Cinco años	2190	3504	1314

En la Figura 26 se puede apreciar la diferencia entre los consumos para los períodos antes referidos.

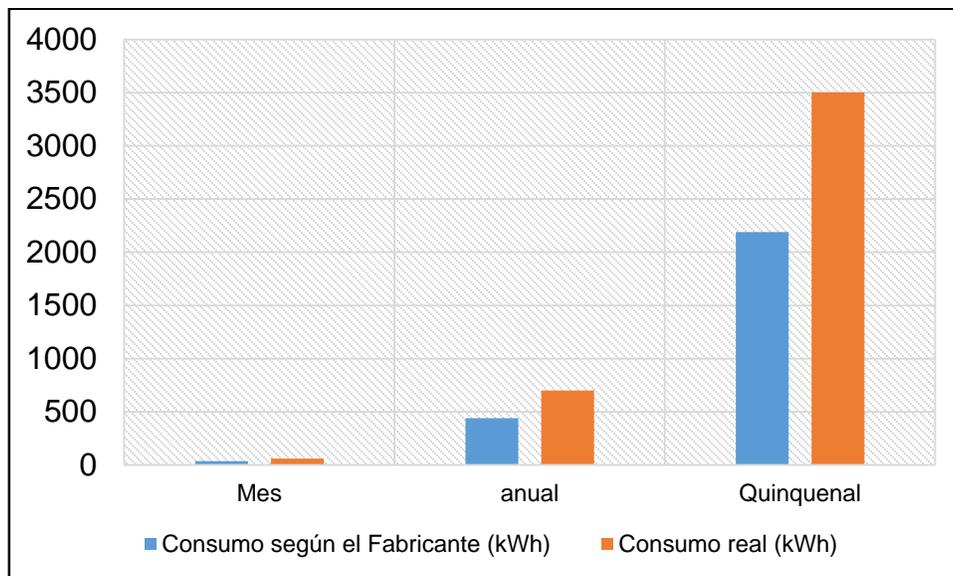


Figura 26. Relación entre consumo declarado por el fabricante y el consumo medido, Residencia 5.



### **2.3 Análisis de los resultados.**

Basándose en los resultados obtenidos y descritos en el epígrafe anterior se realiza el análisis de los parámetros eléctricos y su influencia en el comportamiento y consumo de energía de los refrigeradores estudiados.

#### **2.3.1 Análisis de la tensión.**

La tensión en las viviendas estudiadas varía entre 108 y 124V, valores que se encuentran dentro del rango de voltaje normal establecido en el país. En cuatro de los refrigeradores estudiados se constató que operan con voltajes que superan los establecidos en las etiquetas de fabricación afectando su correcto funcionamiento y disminuyendo la vida útil del equipo, ya que trae como consecuencia(GM, 2019):

- La destrucción del aislante de los devanados, lo cual con el paso del tiempo termina destruyendo el motor.
- Una disminución considerable del factor de potencia.
- La disminución de la eficiencia del motor.
- El aumento de la corriente absorbida durante el arranque. Este aumento de corriente se agrava por la saturación de la máquina.

#### **2.3.2 Análisis de la intensidad de corriente.**

Al comparar el comportamiento de los refrigeradores estudiados luego de la medición de este parámetro, se observó que en los casos de los refrigeradores de marca Frigidaire la intensidad de la corriente tomó valores por encima de los declarados en la etiqueta de fabricación el 43.7% de los instantes medios, provocando mayores consumos, ya que el amperaje en un equipo determina el consumo eléctrico. Si existe un amperaje más alto de lo normal que está en el límite tolerado por el equipo, su consumo de energía será mayor.

En el caso del refrigerador marca LG los valores de corriente coinciden con lo declarado por el fabricante y el Haier al igual que el Frigidaire tiene un mayor



consumo de corriente llegando hasta los 2.1A estando por encima de los 1.2A declarados por su fabricante.

### **2.3.3 Análisis de la Potencia.**

Para todos los casos analizados la potencia activa se comporta dentro de los valores normales definidos.

Para los refrigeradores marca Frigidaire los valores de potencia reactiva se encuentran de acuerdo a los esperados a partir de las potencias aparentes y activas obtenidas de la medición.

En los refrigeradores LG y Haier, los cuales cuentan con más de diez años de explotación, se observa que los valores de potencia reactiva son mayores que la potencia activa lo que está dado por el tiempo de vida útil de los mismos, lo que provoca el desgaste de sus componentes, por lo que se necesita mayor potencia para la formación de los campos eléctricos y magnéticos. Esto incide directamente en el consumo de energía de los equipos.

### **2.3.4 Análisis del Factor de potencia.**

El factor de potencia en los refrigeradores de tipo Frigidaire se comportó de forma normal manteniéndose cercano a los 0.8, valores que indican un correcto aprovechamiento de la energía en esos instantes.

Ya en el caso del LG y el Haier los valores fueron bajos, los valores máximos alcanzaron únicamente los 0.6, lo que evidencia un uso inefectivo de los equipos en la instalación eléctrica, lo cual está dado por los altos valores de potencia reactiva en estos casos. Un factor de potencia bajo requiere mayor generación de energía.

### **2.3.5 Análisis del consumo de energía.**

Luego de analizados los parámetros eléctricos que determinan el consumo de energía de los refrigeradores se conoció que todos los casos estudiados consumen más energía que la declarada en sus etiquetas de fabricación.

En cuanto a los Frigidaire modernos, a pesar de que la potencia activa y el factor de potencia se encuentran dentro de los rangos normales, estos tienen un consumo de



energía que va desde los 124.27% de la declarada en el caso donde el nivel de actividad es nulo por encontrarse la vivienda sin personal en el período de las mediciones, hasta un 200.97% en una vivienda donde las condiciones de explotación son favorables.

En los casos del LG y el Haier debido a su tiempo de explotación sus parámetros eléctricos se ven más afectados y la energía consumida toma valores cercanos al 200% de la definida.

Realizando una comparación entre las distintas tecnologías de refrigeración doméstica se ha llegado a la conclusión de que los refrigeradores domésticos de tipo Frigidaire, comercializados y distribuidos por la red comercial en la actualidad, presentan un mayor sobreconsumo respecto a los equipos LG y Haier estudiados. Teniendo en cuenta que estos últimos cuentan con más de 10 años de explotación su sobreconsumo viene asociado a esta condición, a diferencia de los más modernos, los cuales apenas tienen 2 años de trabajo y están generando un consumo adicional que iguala o supera los valores declarados en las etiquetas de fabricación de los mismos.

#### **2.4 Valoración económica.**

Como resultado del trabajo de campo realizado en las redes comercializadoras de estos equipos, se conoció que en el caso de los refrigeradores Frigidaire desde el inicio de su distribución en la provincia hasta la fecha, se han comercializado poco más de 1000 electrodomésticos de este tipo.

Teniendo en cuenta el sobreconsumo de energía mínimo, 7.5 kWh/mes (corresponde al estudio en el cual el refrigerador se mantuvo cerrado durante todo el período) y el máximo 31.2 kWh/mes se calcula a partir de estos valores la energía consumida para un total de mil refrigeradores en la provincia y la cantidad de combustible necesario para ello.

El sector residencial en la provincia de Holguín para el mes de febrero de 2019, consumió 61979.7 MWh. Como puede observarse en la tabla 2.10 la energía adicional consumida en un mes para 1000 refrigeradores de tipo Frigidaire alcanza los 31200 kWh ó 31.2 MWh por lo que si se compara este sobreconsumo con el de la



provincia representa un 0.5% de la energía por concepto de refrigeración contemplando únicamente esta pequeña cifra de refrigeradores de esta marca.

Tabla 2.10

Refrigeradores	Sobreconsumo eléctrico (KW/h) por Mes.	Sobreconsumo por refrigeradores vendidos (x1000) (KW/h) por Mes.	Consumo Fuel oíl, para abastecer este sobre consumo eléctrico mensual. (Kg)
Frigidaire FRT113DELW	7.5	7500	672
Frigidaire FRT113DELW	31.2	31200	2796.5

Este sobreconsumo de 31200 kWh representaría un gasto en *fuel oil* de 2796.5 Kg y sabiendo que un barril *Fuel oil* pesa 151 Kg nos dice que solo el sobre consumo puede llegar a gastar al mes unos 18.52 barriles y al año un total de 222.23 barriles Diesel.

## 2.5 Valoración medio ambiental.

En esta investigación se tuvo en cuenta, que el desarrollo de la tecnología ha traído múltiples beneficios que mejoran la vida del hombre, entre ellos la refrigeración, sin embargo, el uso irracional de los recursos en función de estas innovaciones causan daños considerables al medio ambiente, tal y como sucede cuando se producen sobreconsumos de corriente eléctrica, electricidad que generalmente no proviene de fuentes renovables, sino del petróleo, el cual requiere de todo un proceso químico para convertirse en corriente, proceso que genera gases contaminantes, por tanto, entre más energía eléctrica se consuma más petróleo deberá ser procesado y mayor cantidad de gases llegaran a la capa de ozono.



El estudio económico realizado y los datos encontrados durante el estudio respaldan el planteamiento anterior, información que revela que 1KW/h producido por una central termoeléctrica cubana, tiene aproximadamente 1.176 Kg de emisiones de CO<sub>2</sub>(Arrastía Avila, 2018). Se llega a la conclusión de que para la quema de 222 barriles al año que son 33552Kg de crudo se produce una cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> de 261072 Kg al año, lo que de manera innecesarias iría al medio ambiente.



## CONCLUSIONES

- Se determinó el comportamiento real de los principales parámetros eléctricos de los refrigeradores estudiados evidenciándose de forma genérica que los mismos operan con valores de tensión e intensidad de la corriente por encima de los establecidos por sus fabricantes, lo que influye de forma directa en su consumo de energía.
- Los refrigeradores domésticos existentes en el país cuentan con una tecnología avanzada, aunque su nivel en cuanto a eficiencia energética es bajo ya que el país realiza su compra con nivel (C) pudiendo implementarse la compra por un nivel A, A+ o A++.
- Las condiciones reales de explotación de los refrigeradores son deficientes pues solo en el 15.63% de los casos estudiados se cumplen las normas de ubicaciones establecidas para su correcta explotación.
- Los refrigeradores domésticos analizados presentan un consumo de energía en condiciones reales de explotación mayor que el definido en la etiqueta de fabricación, el cual puede llegar a ser de hasta un 200% de la energía.



## RECOMENDACIONES

Extender el estudio realizado a refrigeradores de uso doméstico de otras marcas y modelos que se encuentren en el grupo de los más comercializados por la red de distribución nacional.

Buscar en las nuevas tecnologías de refrigeración introducidas al país una mayor calidad de eficiencia energética.

Promocionar el uso correcto de las normas técnicas con el fin de lograr un uso eficiente del equipo y un mayor ahorro energético y económico tanto para el usuario como para el país.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez Abad, D. M. (2015). *Evaluación de los impactos en el consumo de energía eléctrica asociados al uso de refrigeradores eficientes en el Ecuador: Programa Renova Refrigerador*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador. Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi6rNn8kY\\_iAhWoq1kKHx38DCQQFjAAegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fdspace.ups.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F8961%2F1%2FUPS-CT005235.pdf&usq=AOvVaw30brTkAl92yyFJpqzbCEts](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi6rNn8kY_iAhWoq1kKHx38DCQQFjAAegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fdspace.ups.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F8961%2F1%2FUPS-CT005235.pdf&usq=AOvVaw30brTkAl92yyFJpqzbCEts)
2. Arencibia Ávila, K. J. (2004). *Sistemas de prueba para la comprobación de la fiabilidad y criterios de selección en Cuba*.
3. Arnabat, I. (2015). *Los gases refrigerantes sustitutos - Infografía: evolución y futuro Refrigeración y Frío*.
4. Arrastía Avila, M. A. (2018). *Electricidad y emisiones de CO2*. (consultado 20/04/2019).
5. Astudillo León, S. V., & Peralta Verdugo, A. S. (2017). *Análisis de la influencia de las variables tecnológicas en la disminución del consumo de energía eléctrica de refrigeradores domésticos, mediante la metodología de la dinámica de sistemas* Universidad Politécnica Salesiana Cuenca. Ecuador. Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwibxLTwIiAhXlo1kKHcSzDbAQFjACegQIABAC&url=https%3A%2F%2Fdspace.ups.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F14586%2F4%2FUPS-CT007166.pdf&usq=AOvVaw0f2DI1Bs\\_kBGXRtR8TQDQt](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwibxLTwIiAhXlo1kKHcSzDbAQFjACegQIABAC&url=https%3A%2F%2Fdspace.ups.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F14586%2F4%2FUPS-CT007166.pdf&usq=AOvVaw0f2DI1Bs_kBGXRtR8TQDQt)
6. Bolaji. (2011). *Selection of environment-friendly refrigerants and the current alternatives in vapour*.
7. Carreño Barrera, P. F., & Jadán Lucero, C. M. (2013). *Estudio del comportamiento termodinámico del refrigerante R-134a modificando su*



*composición química.*, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. Ecuador.  
Retrieved from  
[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiBk-qpio\\_iAhVhp1kKHdfSBKqQFjABegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fdspace.upse.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F4803%2F1%2FUPS-CT002646.pdf&usq=AOvVaw17ubPN6r\\_Gk\\_P7QXBSEQOe](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiBk-qpio_iAhVhp1kKHdfSBKqQFjABegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fdspace.upse.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F4803%2F1%2FUPS-CT002646.pdf&usq=AOvVaw17ubPN6r_Gk_P7QXBSEQOe)

8. Castillo Cabrera, B. F., & Puente Rodríguez, F. G. (2014). *Estudio termodinámico de un sistema de refrigeración no frost con R600a*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/272820802\\_Estudio\\_termodinamico\\_de\\_un\\_sistema\\_de\\_refrigeracion\\_No\\_Frost\\_con\\_R600a](https://www.researchgate.net/publication/272820802_Estudio_termodinamico_de_un_sistema_de_refrigeracion_No_Frost_con_R600a)
9. Climalife. (2017). ¿Qué refrigerantes están disponibles para aplicaciones de climatización y bombas de calor?. (consultado 14/02/2019)
10. Determinando la causa de los fallos en los motores eléctricos. . (2014). (consultado 14/02/2019)
11. Embraco. (2009). Manual de Aplicacion.
12. GasServei. (2014). Nuevo Reglamento Europeo F-Gas 517/2014 Implicaciones a corto y medio plazo. (consultado 25/02/2019).
13. Guillermo Eraso, F. (1997). Manual Práctico del Taller de Refrigeración Doméstica.
14. GM, g. m. (2019). Reparadores y Electromecánica.
15. Gómez Constante, J. P. (2009). Diseño de un procedimiento técnico detallado del funcionamiento del Banco de Pruebas de Refrigeración y Aire Acondicionado del Laboratorio de Termodinámica para efectuar un recambio de manera adecuada, permitiendo así una optimización en el uso de este equipo.
16. González, J. A. (2016). Refrigeración doméstica.



17. González Ruiz, J. D. (2012). *Estudio de impacto ambiental para el centro de regeneración de refrigerantes de la Universidad Pontificia Bolivariana*. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín. Retrieved from <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/26/TESIS%20REFRIGERANTES.pdf?sequence=1>
18. Guanipa R, G. (2010). *Sistemas de Refrigeración* Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/334139999/La-Refrigeracion>
19. Hoja de producto R134a. (2018). (consultado 03/03/2019)
20. Imergia, I. d. M. y. G. d. E., S.L. (2018a). Qué es el Factor de Potencia o Cos Phi.
21. Imergia, I. d. M. y. G. d. E., S.L. (2018b). Qué es la potencia reactiva y/o la energía reactiva.
22. Labrador Herrera, L. M. (2018). Cuba apuesta por el cambio en su matriz energética.
23. Mendez Lopez, M. A. (2009). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para el ciclo de refrigeración por compresión.*, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Mexico. Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjHop2hjl\\_iAhXy01kKHcBICtkQFjAAegQIABAC&url=http%3A%2F%2Frepositorio.uaaan.mx%3A8080%2Fxmlui%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F1940%2FT17098%2520MENDEZ%2520LOPEZ%2C%2520MARIO%2520ALBERTO%2520%2520TESIS.pdf%3Fsequence%3D1&usg=AOvVaw0mvC00YfLoLJB\\_xmTi9YoO](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjHop2hjl_iAhXy01kKHcBICtkQFjAAegQIABAC&url=http%3A%2F%2Frepositorio.uaaan.mx%3A8080%2Fxmlui%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F1940%2FT17098%2520MENDEZ%2520LOPEZ%2C%2520MARIO%2520ALBERTO%2520%2520TESIS.pdf%3Fsequence%3D1&usg=AOvVaw0mvC00YfLoLJB_xmTi9YoO)
24. METREL. (2013). PowerQ and PowerQ Plus. MI2492 and MI2392. (consultado 09/12/2018)
25. Montesinos Muñoz, V. (2013). Una aproximación a la historia de la nevera en España. *Revista internacional de investigación de mobiliario y objetos decorativos, Vol. 2.*



26. ONEI, O. N. d. E. e. I. (2014). Desarrollo de Capacidades para la Integración de Objetivos de Desarrollo Sostenible de Energía, Metas e Indicadores en los Programas Nacionales de Estadísticas en Países de América Latina. Cuba: Ministerio de energía y Minas.
27. Pardo Figueroa, A. A. (2017). Estudio de un sistema de refrigeración por compresión de vapor aplicado a la industria agroalimentaria. Universidad de Piura, Perú. Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi81NLsIY\\_iAhVyx1kKHbK-Cp8QFjAAegQIBRAC&url=https%3A%2F%2Fpirhua.udep.edu.pe%2Fbitstream%2Fhandle%2F11042%2F2991%2FIME\\_219.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&usq=AOvVaw1itl\\_XHdoEvCDT21dWb-Yy](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi81NLsIY_iAhVyx1kKHbK-Cp8QFjAAegQIBRAC&url=https%3A%2F%2Fpirhua.udep.edu.pe%2Fbitstream%2Fhandle%2F11042%2F2991%2FIME_219.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&usq=AOvVaw1itl_XHdoEvCDT21dWb-Yy)
28. Protección de motores eléctricos. (2011). [https://www.ecured.cu/Protecci%C3%B3n\\_de\\_motores\\_el%C3%A9ctricos](https://www.ecured.cu/Protecci%C3%B3n_de_motores_el%C3%A9ctricos). (consultado 22/03/2019)
29. Saydaoui, S. (2008). *Prácticas de las máquinas frigoríficas*. Barcelona: Alfaomega, Marcombo.
30. Schneider, E. (2008). Guía de diseño de instalaciones eléctricas Según normas internacionales IEC.
31. Seifried, D. (2013). La revolución energética cubana ¿un modelo para la mitigación del cambio climático? Cuba.
32. Torrella Alcaraz, E. (2015). La producción de frío.
33. UNIDAS, N. (2018). Día Internacional de la Preservación de la Capa de Ozono, 16 de septiembre.
34. Vico Zubiria, S., González Serralvo, R., & García Muñoz, A. F. (2014). *Eficiencia Energética de los frigoríficos*. Escuela Politécnica Superior de Málaga, España. Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj6wv7CkY\\_iAhWMslkKHdSzD8MQFjACegQIAxAC&](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj6wv7CkY_iAhWMslkKHdSzD8MQFjACegQIAxAC&)



[url=https%3A%2F%2Friuma.uma.es%2Fxmlui%2Fbitstream%2Fhandle%2F10630%2F7945%2FWORD%2520FINAL%2520con%2520nevera.pdf%3Fsequence%3D1&usq=AOvVaw243J8fP\\_ueVdy9N6NM4PfO](https%3A%2F%2Friuma.uma.es%2Fxmlui%2Fbitstream%2Fhandle%2F10630%2F7945%2FWORD%2520FINAL%2520con%2520nevera.pdf%3Fsequence%3D1&usq=AOvVaw243J8fP_ueVdy9N6NM4PfO)



## ANEXO 1

Encuesta realizada en las viviendas para caracterizar las condiciones de explotación de los refrigeradores de uso doméstico.

La ubicación del refrigerador dentro del hogar es significativa para su conservación e influye notablemente en su consumo de energía, por estas razones debe de colocarse lejos de equipos que generen calor, como fogones u hornos, paredes expuestas al sol y locales que carezcan de una buena corriente de aire.

Con el objetivo de caracterizar las condiciones de explotación de los refrigeradores domésticos en las viviendas solicitamos responda las siguientes preguntas:

1. ¿Cómo califica usted la ventilación en el lugar de ubicación de su refrigerador?

\_\_\_ Buena    \_\_\_ Regular    \_\_\_ Mala

2. ¿Cómo está ubicado su refrigerador respecto a los equipos de cocción que generan calor?

\_\_\_ Cerca                      \_\_\_ Adecuado                      \_\_\_ Distante

3. Califique el nivel de exposición al sol que recibe el lugar de ubicación de su refrigerador en:

\_\_\_ Poco                      \_\_\_ Normal                      \_\_\_ Excesivo



## RESULTADOS DE LA ENCUESTA REALIZADA EN LAS VIVIENDAS.

Total, de viviendas encuestadas: 32

De las viviendas evaluadas de regular y mal 7 se encuentran ubicadas en la cocina cerca de equipos que generan calor, fogones y hornos para un 25.92%.

Tabla Anexo: Clasificación de la ubicación del refrigerador dentro de la vivienda.

Criterio	Viviendas	Por ciento %
Bien	5	15.63
Regular	16	50
Mal	11	34.37

## ANEXO 2

### Instrumentos de medición.



### Metrel PowerQPlus MI2392