



Desarrollo de un sistema de visualización y análisis de datos de un Refrigerador Doméstico utilizando MATLAB y la plataforma ThingSpeak Internet de las Cosas (IoT).

**Michael Ibban Garcia Perdomo.
Johan Daniel Sterling Pastrana.**

Universidad Antonio Nariño.
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.
Neiva, Colombia.
2021.

Desarrollo de un sistema de visualización y análisis de datos de un Refrigerador Doméstico utilizando MATLAB y la plataforma ThingSpeak Internet de las Cosas (IoT).

**Michaell Ibban Garcia Perdomo.
Johan Daniel Sterling Pastrana.**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electrónico.

Director (a):

Ph.D. Francisco Maximiliano Fernández Periche.

Codirector (a):

Ph.D. Karel Arencibia Ávila.

Línea de Investigación:
Eficiencia energética.

Grupo de Investigación:
REM, FIMEB, COL0038459.

Universidad Antonio Nariño.
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.
Neiva, Colombia.
2021.

Michael Ibban García Perdomo.

Dedico este trabajo de grado primero a Dios por brindarme sabiduría y paciencia para culminarla, a mi padre muy en especial todo mi esfuerzo y dedicación colocado. Por haber estado siempre a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona.

“El hombre nunca sabe de lo que es capaz, hasta que lo intenta”. Charles Dickens.

Johan Daniel Sterling Pastrana.

Dedico con todo mi corazón a Dios el presente TIG, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera, a mis padres por haberme forjado como la persona que soy. Gracias a sus bendiciones por protegerme y llevarme por el camino del bien y a las personas que siempre han estado a mi lado.

“La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo”. Nelson Mandela.

Agradecimientos

De manera especial quisiéramos expresar nuestros agradecimientos a nuestros directores de tesis Ph.D. Francisco Maximiliano Fernández Periche, Ph.D. Karel Arencibia Ávila; por sus asesorías, por el respeto a nuestras sugerencias e ideas.

Gracias por darnos la oportunidad de ser partícipes del proyecto VCTI 2019234 de eficiencia energética.

Finalmente, gracias a nuestra familia, en especial a nuestros padres por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo, apoyo moral y económico que nos han concedido.

A todos, muchas gracias.

Resumen

El consumo eléctrico de los refrigeradores domésticos que entregan los fabricantes en el etiquetado energético es el resultado de un conjunto de mediciones estandarizadas a nivel internacional. Las pruebas que se realizan para determinarlo son altamente costosas por las condiciones que son necesarias establecer en los laboratorios. Varias investigaciones realizadas en condiciones reales de trabajo son limitadas, y su principal problema tiene que ver con la obtención del comportamiento de las variables en esas condiciones.

En este trabajo se presenta una propuesta de un sistema de medición y visualización de datos de un refrigerador doméstico para analizar el comportamiento del consumo energético y de los parámetros termodinámicos (temperatura, presión, potencia y COP) en condiciones reales de operación, caso de estudio Neiva (Huila). La instrumentación virtual utilizada para simular las variables es soportada por un módulo de programación en Arduino y está integrada a la plataforma IoT ThingSpeak. Con esta solución se logró establecer diferentes correlaciones entre algunas de las variables medidas por medio de MatLab.

Para llevar a cabo dicha investigación teórica fueron utilizados el método histórico lógico para el estudio del arte, el método de inducción deducción para determinar las regularidades de los compresores herméticos, el de análisis y síntesis para determinar los factores claves que influyen en el fenómeno.

Finalmente se encontró que el consumo eléctrico del refrigerador doméstico en condiciones de operación real para climas tropicales (superiores a 32°C de temperatura ambiente) y variaciones del voltaje [97 (V)-127 (V)] puede llegar a ser un 30% mayor que el proporcionado por el fabricante ya que dichas variables afectan en gran medida a la potencia frigorífica y COP las cuales son determinantes en el consumo.

Palabras clave: Refrigerador doméstico, IoT (Internet Of Things), ThingSpeak, Matlab, Parámetros Termodinámicos, Consumo energético, Instrumentación virtual.

Abstract

The power consumption of domestic refrigerators shown by manufacturers is the result of a set of internationally standardized measurements. The tests performed to determine it are highly expensive due to the conditions that need to be established in laboratories. Several investigations carried out in real working conditions are limited, and their main problem has to do with obtaining the behavior of the variables under these conditions.

This document presents a proposal for a system of measurement and display of data from a domestic refrigerator to analyze the behavior of energy consumption and thermodynamic parameters (temperature, pressure, power and COP) in real operating conditions, case study Neiva (Huila). The virtual instrumentation used to simulate the variables is supported by an Arduino programming module and is integrated to the IoT ThingSpeak platform. With this solution it was possible to establish different correlations between some of the variables measured by means of MatLab.

To carry out this theoretical research, the historical logical method was used for the study of the art, the method of induction deduction to determine the regularities of the hermetic compressors, the analysis and synthesis to determine the key factors that influence the phenomenon.

Finally, it was found that the power consumption of the domestic refrigerator in real operating conditions for tropical climates (above 32°C ambient temperature) and voltage variations [97 (V)-127 (V)] can be up to 30% higher than that provided by the manufacturer, since these variables greatly affect the cooling power and COP variables, which are extremely important in consumption.

Keywords: Home Cooler, IoT (Internet of Things), ThingSpeak, MatLab, Thermodynamic Parameters, Energy consumption, Virtual instrumentation.

Contenido.

	Pág.
Introducción.	1
1. Marco teórico.	11
1.1 Estado del Arte.....	11
1.1.1 Situación energética en la sección domiciliaria en Colombia.	11
1.1.2 El internet de las cosas (IoT).	12
1.1.3 ThingSpeak.	12
1.1.4 Empresas productoras de frigoríficos en Colombia.	15
1.1.5 Refrigeradores que tienen la mayor demanda en el mercado actual en Colombia.	16
1.1.6 Ubicación correcta del refrigerador en el domicilio.	16
1.1.7 Tipos de refrigeradores que existen en el mercado colombiano.	18
1.2 Marco conceptual.	18
1.2.1 Sistema de refrigeración.	18
1.2.1.1 Compresor.	19
1.2.1.2 Evaporador.	20
1.2.1.3 Condensador.	22
1.2.1.4 Dispositivos de expansión.	23
1.2.2 Tubo capilar.	24
1.2.3 Refrigerante.	24
1.2.3.1 Refrigerantes más utilizados en el sector comercial.	24
1.2.4 Presión.	24
1.2.5 Clases climáticas.	25
1.2.6 Etiqueta energética.	26
1.2.7 Programas de eficiencia energéticas actuales.	27
1.2.7.1 Programa de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales (PROURE).	27
1.3 Marco legal y normativa.	27
2. Propuesta de solución.	29
2.1 Ubicación de los sensores para la instrumentación física.	30
2.2 Propuesta de instrumentación física.	32
2.2.1 Sistema de adquisición de datos para la instrumentación física.	34
2.2.2 Diagrama de bloques propuesto para la implementación de la instrumentación física. 36	36
2.3 Temperaturas del ciclo de refrigeración residencial.	36
2.3.1 Temperatura en el evaporador.	36
2.3.2 Sobrecaentamiento.	38
2.3.3 Temperatura y presión del condensador.	38
2.3.4 Subenfriamiento.	39
2.3.5 Temperatura de un compresor.	40
2.4 Temperaturas internas del refrigerador.	40
2.5 Materiales y métodos.	42

2.5.1	Esp 32.....	43
2.5.2	Esp 8266.....	44
2.5.3	ThingSpeak.....	45
2.5.4	MatLab®.....	46
2.5.5	Computador portátil INTEL Core I5 8th Generación, RAM8Gb.....	47
2.5.6	Caracterización IDE Arduino.....	48
2.6	Magnitud que tendrán las variables que intervienen en la instrumentación virtual. 49	
2.6.1	Variaciones del voltaje.....	49
2.6.2	Frecuencia.....	51
2.6.3	Temperatura ambiente.....	51
2.6.4	Temperaturas del condensador.....	53
2.6.5	Temperaturas del evaporador.....	54
2.6.6	Potencia frigorífica y consumida.....	54
2.6.7	Potencia calorífica.....	55
2.6.8	COP (Coeficiente de Rendimiento).....	55
2.6.9	Algoritmos desarrollados en el entorno de programación IDE Arduino.....	55
2.6.10	Gráficos correlacionados.....	56
2.6.11	Criterios para la identificación de las correlaciones.....	57
2.6.12	MatLab®.....	57
2.6.13	ThingSpeak.....	58
2.6.14	Algoritmos implementados para la visualización de las correlaciones identificadas.....	70
3.	Análisis de los resultados.....	74
3.1	Correlación 1.....	75
3.2	Correlación 2.....	76
3.3	Correlación 3.....	76
3.4	Correlación 4.....	77
3.5	Correlación 5.....	78
3.6	Correlación 6.....	78
3.7	Correlación 7.....	79
3.8	Correlación 8.....	80
4.	Conclusiones y Recomendaciones.....	81
4.1	Conclusiones.....	81
4.2	Recomendaciones.....	82
	BIBLIOGRAFÍA.....	83

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1- 1: Consumó de energía eléctrica en el sector residencial urbano-Colombia.(Fernanda & Falquez, 2019).....	12
Figura 1- 2: Entorno ThingSpeak.(IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things, n.d.-b).	15
Figura 1- 3: Ubicación del refrigerador correcta, incorrecta y regular.(Fernanda & Falquez, 2019).....	17
Figura 1- 4: Ciclo de refrigeración.(A. Jara, 2018).	18
Figura 1- 5: Esquema del funcionamiento de un compresor alternativo y partes de un compresor hermético.(Fernández, 2014).....	19
Figura 1- 6: Funcionamiento de un evaporador.(Ministerio Federal de Cooperacion economica y Desarrollo., 2015).	20
Figura 1- 7: Esquema de evaporador de expansión seca.(Morocho & Byron, 2016).....	21
Figura 1- 8: Esquema de evaporador inundado.(Cerdas, 2015).	22
Figura 1- 9: Condensador de tubo con aletas modificadas.(Rusmania, 2015).	23
Figura 2- 1: Sistema de adquisición de datos para la instrumentación virtual. Fuente: Autores.....	29
Figura 2- 2: Sistema de adquisición de datos para la instrumentación física. Fuente: Autores.....	30
Figura 2- 3: Posición de los sensores de temperatura, presión y frecuencia. (Morocho & Byron, 2016).....	31
Figura 2- 4: Posición de sensores de temperatura y presión.(Bi et al., 2011).	31
Figura 2- 5: Diagrama electrónico para la adquisición de los datos de la instrumentación física. Fuente: Autores.....	35

Figura 2- 6: Diagrama de bloques para la implementación de la instrumentación física. Fuente: Autores.	36
Figura 2- 7: Temperatura y presión del evaporador para el refrigerantes R-22.(Whitman & Johnson, 2008)	37
Figura 2- 8: Temperatura y presión del condensador.(Whitman & Johnson, 2008).	39
Figura 2- 9: Ejemplo de medidas de presión-temperatura reales en un sistema operando normalmente con refrigerante R134a.(Parker Hannifin Corporation, 2011).	42
Figura 2- 10: Módulo esp32.(Herranz, 2019).....	43
Figura 2- 11: Distribuciones de pines esp32.(Bruno, 2019).	44
Figura 2- 12: Microcontrolador esp8266.(Herranz, 2019).	44
Figura 2- 13: Distribución de pines esp8266.(C, 2017).....	45
Figura 2- 14: Computador portátil INTEL Core I5 8th Generación. Fuente: Autores.	47
Figura 2- 15: Entorno de programación de Arduino (IDE Arduino).(Herranz, 2019).....	48
Figura 2- 16: Variaciones de voltaje que se presentan en un domicilio de la ciudad de Neiva, Huila. Fuente:(Fernanda & Falquez, 2019).	50
Figura 2- 17: Caracterización del estado climático de la ciudad Neiva-Huila para el periodo de 2019.Fuente:(IDEAM, 2020).	52
Figura 2- 18: Temperatura ambiente interna en la posición del frigorífico. Neiva, Huila. Fuente:(Fernanda & Falquez, 2019).	53
Figura 2- 19: Canales Implementados en ThingSpeak. Fuente: Autores.....	70
Figura 2- 20: Algoritmo desarrollado en MatLab para la visualización de las correlaciones. Fuente: Autores.	71
Figura 2- 21: Diagrama de bloques correspondiente al algoritmo desarrollado para la programación del módulo Wi-Fi Esp 32 y Esp8266. Fuente: Autores.....	72
Figura 2- 22: Algoritmo implementado en el entorno de programación IDE Arduino para cada uno de los módulos Wi-Fi. Fuente: Autores.	73

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1- 1: Distribución de frigoríficos en Colombia.(Gustavo & Cobos, 2018).	15
Tabla 1- 2: Modelos más vendidos de refrigeradores LBP/LST en Colombia.(Gustavo & Cobos, 2018).....	16
Tabla 1- 3: Clases climáticas en el sector de la refrigeración.(Zubiria, n.d.).....	25
Tabla 2- 1: Nomenclatura de los sensores.(Bi et al., 2011).....	32
Tabla 2- 2: Rango, presión de la temperatura y la presión.(Bi et al., 2011).	32
Tabla 2- 3: Temperatura de compartimiento de un refrigerador no frost.(Número, 2003).	41
Tabla 2- 4: Correlaciones. Fuente: Autores.....	56
Tabla 2- 5: Canales de ThingSpeak. Fuente: Autores.....	59
Tabla 2- 6: Canales de Correlaciones ThingSpeak. Fuente: Autores.	68
Tabla 2- 7: Caracterización de la licencia gratuita para estudiantes de la plataforma ThingSpeak (IoT). Fuente: Autores.....	69

Lista de gráficos

	Pág.
Gráfico 2- 1: Comportamiento entre la relación de la presión de saturación vs temperatura de evaporación para 3 diferentes refrigerantes.(Rusmania, 2015).	37
Gráfico 2- 2: Comportamiento entre la relación de la presión de saturación vs temperatura del condensador para 3 diferentes refrigerantes.(Rusmania, 2015).	38
Gráfico 3- 1: Correlación 1 Temperatura de condensación VS potencia calorífica a diferentes temperaturas ambiente. Fuente: Autores.....	75
Gráfico 3- 2: Correlación 2 Temperatura de evaporación VS temperatura de condensación a diferentes temperaturas ambiente. Fuente: Autores.....	76
Gráfico 3- 3: Correlación 3 Temperatura de evaporación VS potencia frigorífica a diferentes temperaturas ambiente. Fuente: Autores.....	77
Gráfico 3- 4: Correlación 4 Temperatura de condensación VS coeficiente de rendimiento (COP) a diferentes temperaturas ambiente. Fuente: Autores.....	77
Gráfico 3- 5: Correlación 5 Temperatura de evaporación VS coeficiente de rendimiento (COP) a diferentes temperaturas ambiente. Fuente: Autores.....	78
Gráfico 3- 6: Correlación 6 Potencia consumida VS variaciones de voltaje a diferentes temperaturas ambiente. Fuente: Autores.	79
.....	79
Gráfico 3- 7: Correlación 7 Potencia frigorífica VS variaciones de voltaje a diferentes temperaturas ambiente. Fuente: Autores.	79
Gráfico 3- 8: Correlación 8 Coeficiente de rendimiento (COP) VS variaciones de voltaje a diferentes temperaturas ambiente. Fuente: Autores.....	80

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI
°C	Grados Celsius.	°C
Hz	Frecuencia.	Hz
Pa	Pascal	1 N/m^3
V	Voltaje.	V
K	Kilo	K
T	Temperatura	°C
W	Watt.	W

Abreviaturas

Abreviatura	Término
COP	Coeficiente de rendimiento.
<i>IoT</i>	Internet Of Things.
<i>N</i>	Clima Normal.
<i>SN</i>	Clima Sub-Normal.
<i>ST</i>	Clima Sub-Tropical.
<i>T</i>	Clima Tropical.
<i>T.Amb</i>	Temperatura ambiente.
<i>T.Cond</i>	Temperatura del condensador.
<i>T.Evap</i>	Temperatura del evaporador.
<i>P.Calor</i>	Potencia Calorífica.
<i>P.Cons</i>	Potencia consumida.
<i>P.Frig</i>	Potencia frigorífica.
μC	Microcontrolador.
<i>P</i>	Presión.

Introducción.

En los últimos años los sistemas de refrigeración domésticos han presentado cambios tecnológicos en alguna medida debido a la utilización de nuevos refrigerantes, aceites lubricantes y materiales. Como resultado, el comportamiento de los refrigeradores domésticos puede presentar una serie de características y parámetros desconocidos tanto eléctricos como termodinámicos en condiciones particulares de funcionamiento. (Mecánica, 2015).

El refrigerador doméstico al ser un equipo de uso continuo representa un alto consumo a nivel domiciliario, por lo que ha sido preocupación de varios países implementar planes y programas que lleven a la población a utilizar equipos más eficientes.(Nelson Jara et al., 2017).

Diversas e importantes investigaciones sobre los sistemas de refrigeración doméstica se desarrollan con el objetivo de lograr una mayor eficiencia. En la literatura publicada sobre los refrigeradores domésticos en los últimos 40 años se observa en sentido general que han sido analizados por separado todos los elementos constituyentes del sistema de refrigeración bajo determinadas condiciones de funcionamiento.

Diferentes tecnologías digitales se han desarrollado para ayudar a comprender determinados comportamientos de un sistema determinado. Con herramientas de analíticas en línea, se puede integrar en una misma aplicación todos esos elementos, para explorar y visualizar datos, descubrir relaciones, patrones, y tendencias. Con ellas es posible, además:

- Programar cálculos para que se ejecuten en determinados momentos.
- Comprender visualmente las relaciones en los datos mediante funciones de trazado integradas.
- Combinar datos de varios canales para crear un análisis más sofisticado.

Es crucial identificar la forma en que se puede incrementar la capacidad de reciprocidad de los aparatos domésticos y la fusión del espacio, sumado con la combinación del entorno de la informática con el físico a fin de que el área de la computación sea generalizada y esté a disposición para los interesados en cualquier momento y en el lugar que se disponga.(Luis García, 2015).

Las Tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) se enfocan en la relación de los dispositivos con las personas, analizando cada uno de los artefactos y agrupándolos en aquellos de carácter electrónico y no electrónico, brindando solución a problemáticas visuales y comunicativas. Identificando el estado del artefacto; encendido, apagado o a punto de caducar a fin de lograr la monitorización y controlabilidad del equipo de manera automática o configurada por el usuario.

La nube es la naturaleza de las IoT, por ende, el seguimiento y análisis de artefactos electrónicos mitigan el suceso de emergencias por la capacidad de ponerse en acción en el momento que se necesite.(Buitrago Herrera, 2019) (Benito, 2019).

Los sistemas IoT están contruidos con nodos simples que recogen y comunican un número limitado de información a un controlador principal o marco de conexión que da información a Internet y servicios a la nube. Los nodos y los marcos de la conexión deben contar con un modelo para disminuir la demanda de energía, proporcionar conectividad de redes confiables y completas y alargar el tope de comunicación inalámbrica tanto como sea necesario.(Berrueco, 2019).

En el centro de los sistemas IoT, hay una consolidación del computador o minicomputador (microcontrolador, uC) que decodifica información y ejecuta tareas de software interconectadas a un dispositivo móvil para poder dar marcha. Los protocolos para uC como para los dispositivos móvil son precisos para la aplicación final y los requisitos del sistema.(Higuera Astudillo, 2019).

Por lo anterior, actualmente se busca el avance de una red de ordenadores conectados entre sí a una red de objetos interconectados (Del Inglés Internet of Things, IoT), así, el desarrollo tecnológico que brindará la siguiente generación de Internet será IoT.(Salazar & Silvestre, 2017)(American Journal of Sociology, 2017).

Las más importantes aplicaciones de las IoT se encuentran en los sectores industrial, doméstico, salud, etc.(ESCOBAR ALBUJA, 2019)(Ortiz Monet, 2019)(BENÍTEZ, 2020).

En el sector industrial las plataformas IoT, más destacadas: Amazon Web Services IoT, Azure IoT Hub, Oracle Internet of Things Cloud Service, Watson IoT, Xively, Samsung Artik, Carriots, Adafruit.IO, Ubidots, My Devices Cayenne, Machinna.IO.

Dentro de las IoT de código abierto, ThingSpeak, lanzado inicialmente como un servicio en apoyo de aplicaciones de IoT por IoBridge en 2010 se caracteriza por permitir el almacenamiento y recuperación de datos mediante los protocolos HTTP y MQTT a través de Internet o desde una red de área local.

ThingSpeak posee soporte integrado del software de computación numérica MATLAB de MathWorks, garantizando a los usuarios analizar y visualizar datos cargados usando Matlab sin necesidad de la compra de una licencia Matlab de MathWorks, siendo esta, una de las principales ventajas de su uso para aplicaciones de desarrollo e investigaciones de numerosos Proyectos.

Diferentes y muy destacadas investigaciones en torno a los sistemas de refrigeración en casa tienen su avance con el propósito de tener más eficiencia.(Montero-Sarmiento, Romilio; Arencibia-Ávila, 2012).

En múltiples escritos se observa que todas buscan y muestran la necesidad de una mejor funcionalidad de estos equipos para que disminuya el consumo de energía utilizando elementos y componentes que sean más amigables con el entorno.(Gustavo & Cobos, 2018).

Una aproximación adecuada para lograr la eficiencia en la refrigeración del hogar es contabilizar la conducta de sus medidas termodinámicas y eléctricas en condiciones de funcionabilidad real.

Los procedimientos de refrigeración en el hogar hasta los circuitos más grandes no son capaces de lograr todos los requisitos y anhelos que se han expuesto más arriba, dada a la alta cantidad de equipos que se ofrecen con muchas otras particularidades, bajo unos mismo roles y sistemas de fabricación (gasto de energía, capacidad de refrigeración, desempeño, temperatura y presión del sistema).(Montero-Sarmiento, Romilio; Arencibia-Ávila, 2012).

El “Internet of Things” (IoT) actualmente se apropia en gran medida de todo lo que está alrededor de los seres humanos, como equipos que se logran comunicar con redes inalámbricas en un tiempo rápido y fácil. Todos estos datos se interrelacionan por dispositivos hiperconectados que se pueden rastrear sencillamente en cualquier momento o lugar. Finalmente, El IoT se da como una tecnología de gran uso a todos los usuarios.(Mihai, 2014)(Ortiz Monet, 2019).

Últimamente se ha observado un gran avance tecnológico en el hogar llegando a ser en gran medida digital.(Domínguez Sánchez-Pinilla, 2003).

De este modo, y teniendo en cuenta todo lo dicho anteriormente se plantea la siguiente interrogante:

¿El uso de sistemas IoT permiten mostrar y analizar el comportamiento de los principales parámetros e indicadores de un refrigerador doméstico en condiciones reales de funcionamiento?

Objetivos:

Desarrollar un sistema de visualización y análisis de datos de un Refrigerador Doméstico utilizando MATLAB y la plataforma ThingSpeak Internet de las Cosas (IoT).

- Caracterizar el Módulo Matlab de la Plataforma ThingSpeak para la transformación, análisis y visualización de datos de un sistema de refrigeración doméstica.
- Desarrollar pruebas de adquisición de datos de las variables termodinámicas de presión y temperatura y consumo energético del sistema de refrigeración doméstica.
- Determinar los flujos de datos para realizar pre-procesamiento, visualizaciones y análisis de los datos obtenidos.
- Establecer las plantillas de visualizaciones y análisis de los datos para mostrar diferentes comportamientos de las variables de interés.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL (Kreuzer & Wilmsmeier, 2014), en su proyecto “Eficiencia Energética en América Latina y el Caribe” se puede observar la importancia que le dan a este tema creando instituciones, agencias, ministerios que estudien, regularicen, normen y contribuyan a mejorar la eficiencia energética. En este sentido en Colombia se cuenta con el Consejo Colombiano de Eficiencia Energética (2010).(Nelson Jara et al., 2016).

En Colombia, se han establecido metas en eficiencia energética, tiene un potencial de ahorro de 13,515 GWh (20.2%) y, en consecuencia, de acuerdo con la ejecución del plan de acción se establece una meta de ahorro de 9,900 GWh (14.8%). Dicha meta equivale a un ahorro de 2.26% sobre el total del consumo final de energéticos. Dentro de este programa se han establecido distintos subprogramas para cada uno de los sectores: residencial, comercial e industrial del país. En el sector residencial aparece como una de las prioridades el uso eficiente de energía en equipos de refrigeración y aire acondicionado doméstico.(N Jara et al., 2015).

La UAN ha venido consolidando de forma significativa su función sustantiva de investigación. Ha logrado ser reconocida como una institución generadora de conocimiento a partir del volumen de sus publicaciones y la calidad e impacto de las mismas. De igual manera se han fortalecido y cualificado los grupos de investigación, procurando la

presentación de proyectos con la participación de diversas disciplinas y la vinculación de estudiantes de diferentes áreas, orientando la generación de nuevos conocimientos para la solución de problemáticas locales o regionales.

La apuesta para este nuevo periodo es desarrollar proyectos que puedan tener impacto y reconocimiento en el ámbito internacional. Se espera lograr un sobresaliente posicionamiento en el contexto mundial y brindar una investigación íntimamente relacionada con la enseñanza y la extensión. La Universidad apuesta además por un fortalecimiento interno de trabajo en redes, de la cualificación profesoral y de los grupos, el fomento a la creatividad y al emprendimiento, a la generación de espacios de innovación y una mayor presencia y participación en los programas de la denominada triple hélice (Universidad-Empresa-Estado)".

Tomando en cuenta este referente institucional, la Vicerrectoría de Ciencia, Tecnología e Innovación – VCTI, convoca anualmente a los profesores de tiempo completo a participar en sus Convocatorias Internas, la cual debe contribuir en el proceso de consolidación de la UAN, como una Universidad generadora de Conocimiento, de Carácter Nacional y Vocación Regional, fuertemente conectada con el País y el Mundo, siendo capaz por sus resultados de agregar valor al entorno (desde los puntos de vista científico, social, cultural, económico, ambiental y ético) y a sí misma (especialmente a sus currículos, micro-currículos y espacios de interacción de todo el proceso de enseñanza/aprendizaje).

Estas convocatorias priorizan integrar equipos de alto desempeño conformados por profesores y estudiantes de pre y posgrado los cuales sean inter-disciplinarios, inter-sedes, inter-instituciones nacionales e internacionales, y trabajen en torno a proyectos pertinentes de ciencia, tecnología, innovación y creación artística de impacto en la comunidad. (*Investigación UAN - Inicio*, n.d.).

El presente trabajo se vincula a las etapas 3 y 4 del Proyecto de Investigación VCTI 2019234: Eficiencia energética de un refrigerador doméstico en condiciones reales de funcionamiento: caso de estudio Huila, de la Sede Neiva.

Se desarrolla un sistema de visualización IoT para el análisis de los principales parámetros termodinámicos y eléctricos de un refrigerador doméstico instrumentado de forma virtual

LBP/LST (Low Suction Pressure / And Low Starting Torque). En condiciones simuladas basados en los parámetros específicos de la Nevera MABE No Frost Congelador Superior 230 Litros Brutos RMA230FJCG (Refrigerador proporcionado por la universidad), utilizando MatLab y la plataforma ThingSpeak, Se utilizará el refrigerante R600a.

Este proyecto se divide en 4 fases:

Se utilizan el método histórico lógico para el estudio del arte, el método de inducción deducción para determinar las regularidades de los compresores herméticos, el de análisis y síntesis para determinar los factores claves que influyen en el fenómeno.

Fase 1:

- Realizar una revisión bibliográfica para conocer las características, ciclo de refrigeración y variables que intervienen en el caso de estudio.
- Definir los sensores adecuados para cada variable y su esquema de interconexión con el sistema de adquisición de datos.
- Determinar el tiempo de muestreo para las variables teniendo en cuenta el tiempo mínimo de la plataforma IoT el cual es de 15 segundos.
- Determinar el número y las referencias adecuadas del módulo WiFi para la recepción de los datos obtenidos.
- Crear los canales de recepción de los datos y definir en qué diseño se van a mostrar.

Fase 2:

- Diseñar un código en el IDE Arduino para generar los datos de entrada al sistema de instrumentación virtual de acuerdo al comportamiento del sistema en condiciones reales de operación, puesto que las medidas por el COVID-19 no fue permitido el acceso físico al equipo, cabe destacar que el sistema tendrá la capacidad de recibir los datos de entrada provenientes de sensores reales del refrigerador instrumentado de forma física.
- Elaborar un código para el envío de los datos a la plataforma IoT ThingSpeak.
- Desarrollar pruebas de adquisición de datos de las variables termodinámicas de presión y temperatura y energía del sistema de refrigeración doméstica.

Fase 3:

- Definir qué tipo de análisis es el indicado para cada una de las variables.
- Determinar los parámetros específicos del ciclo de refrigeración y del refrigerador (sobrecalentamiento, subenfriamiento, temperaturas, presiones, COP etc.).
- Elaborar y ejecutar un algoritmo en Matlab/ThingSpeak a partir de las correlaciones y fuentes estadísticas identificadas.

Fase 4:

- Crear los nuevos canales de recepción de los datos procesados por el algoritmo de MatLab.
- Visualizar en la plataforma ThingSpeak cada una de las mediciones procesadas por el algoritmo realizado.
- Realizar el análisis adecuado a cada una de las gráficas obtenidas.

Finalmente se espera lograr:

1. Instrumentación virtual de un refrigerador doméstico.
2. Determinar y configurar el sistema de adquisición de datos
3. Diseño algoritmo de MatLab/ThingSpeak que permita descubrir relaciones, patrones y tendencias en los datos del caso de estudio.
4. Visualización y análisis de los datos procesados por el algoritmo de MatLab/ThingSpeak.

Los directos usuarios que le darán uso, serán los investigadores implicados en el proyecto VCTI 2019234 de eficiencia energética para el desarrollo de la etapa 5 del mismo.

Por lo que se espera que para continuar con el cronograma de actividades general se realice la instrumentación de forma física implementando el desarrollo de este proyecto para proponer soluciones a la problemática global.

1. Marco teórico.

1.1 Estado del Arte.

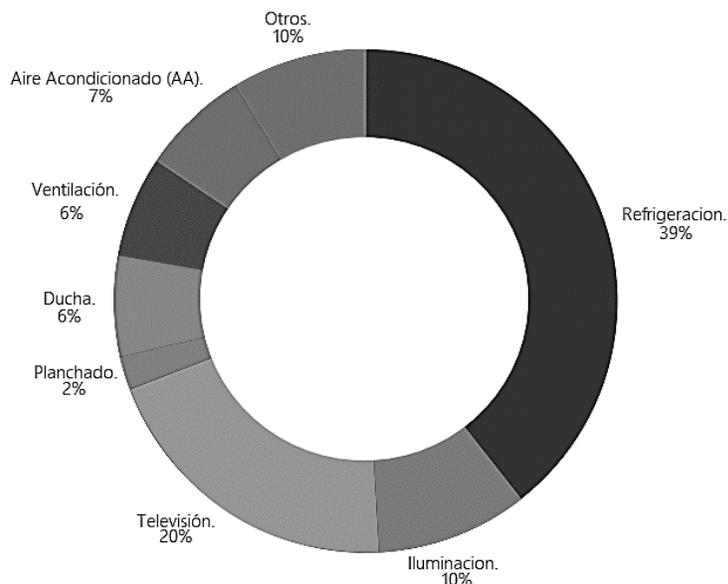
Un refrigerador doméstico es uno de los equipos con el más elevado consumo en comparación con los demás electrodomésticos, por lo que la eficiencia energética de su sistema de refrigeración ha sido de mayor importancia en diversas investigaciones, es por ello que la mayoría se enfocan en cómo conseguir la mejora del sistema para aumentar su rendimiento y disminuir el consumo de energía eléctrica, dentro de la literatura se encuentran los estudios que han alineado el sistema de refrigeración mediante la instrumentación de un refrigerador domestico determinando las diferentes variables que participan.(Morocho & Byron, 2016).

El volumen aproximado del mercado de refrigeración en Colombia para el año 2018 corresponde a 618.000 unidades. cifra que atiende al 1.4% aproximadamente del total de los colombianos, donde se contaba con una base de datos de aproximadamente 44,451 millones de habitantes de acuerdo al repositorio de la Universidad Nacional de Colombia.(Fernanda & Falquez, 2019).

1.1.1 Situación energética en la sección domiciliaria en Colombia.

Los más relevantes consumos de energía se evidencian en el sector de refrigeración, televisión, iluminación y cocción, los energéticos más empleados son electricidad (55%) y gas natural (35%). El sistema Interconectado Nacional de Colombia (SIN), mostró una capacidad instalada de 16.597,3 MW, Por lo cual las centrales hidroeléctricas mantienen una participación del 69,93% y las centrales térmicas llegan a un 20,78% en diciembre del 2016.(Fernanda & Falquez, 2019).

Figura 1- 1: Consumó de energía eléctrica en el sector residencial urbano-Colombia.(Fernanda & Falquez, 2019).



En la **Figura 1- 1** Se puede visualizar la división de los consumos de energía eléctrica en los domicilios colombianos, llevándose la mayor parte el sector de refrigeración con un 39%. (Fernanda & Falquez, 2019).

1.1.2 El internet de las cosas (IoT).

Las IoT en esencia es la comunicación entre el mundo real y el mundo de la internet, por lo que se genera una gran magnitud de información, lo que permite procesar los datos para el desarrollo de diferentes aplicativos que perfeccionaran la calidad de vida.(Ortiz Monet, 2019). Esta nueva tecnología principalmente está vinculada con sensores y redes de comunicación, de igual forma contiene un software que dirige todos los datos adquiridos. Los sensores empleados deben reunir algunos requisitos entre ellos el bajo costo, consumo y del menor tamaño posible.(Benito, 2019).

1.1.3 ThingSpeak.

Es una plataforma IoT construida para el acceso a diferentes aplicaciones, gracias a su tecnología concede la conexión entre el mundo real y la nube. Sus principales características es que es un servidor Open Source con una API para cargar datos, utiliza el protocolo HTTP. su empresa creadora es MathWorks esto hace que el procesamiento de los datos cargados se pueda pasar directamente a MatLab de una forma más sencilla

que otros frameworks, cuenta con soporte técnico, con licencias de pago para tener acceso a más funciones y también tiene licencia gratuita con algunas limitaciones; utilizar estas aplicaciones permite monitorear el estado en tiempo real de una planta y tomar acciones en determinados comportamientos. (Banks & Kay, 2003). (Guzmán, 2018).

Esta plataforma brinda tanto un hosting en la nube trabajando por la desarrolladora (MathWorks), como el código de su plataforma para transformarlo y poniéndolo en marcha en sus computadores propios o en la nube.

Brinda aceptabilidad en los siguientes dispositivos:

- Arduino.
- Los módulos Photon y Electron de Particle.
- Módulo WiFi ESP8266-ESP32.
- Raspberry Pi.

Así, cualquiera de estos dispositivos es capaz de interactuar con las APIs RESTful de la plataforma. Esta salida se vale de una gran lista de aplicaciones y programas con las que se pueden integrar como Twitter y Twilio, logrando mostrar la información en tiempo real por medio de canales múltiples. Finalmente, el análisis de la información se realiza por medio de MATLAB, pensado por aquella empresa matriz.

La plataforma labora sobre una definición llamada “Canal ThingSpeak”. Un canal reúne los datos que informan los equipos, y se construye con las siguientes partes:

- Ocho canales para reunir información de cualquier tipo: este tipo de canales logran ser utilizados para reunir información de un sensor o un aparato empleado.
- Tres canales para reunir información: se usan para almacenar anchura, distancia y altura.
- Un canal llamado estado, es utilizado para detallar la información reunida en el canal.

La información se da desde los equipos al API por medio de los protocolos HTTP y MQTT; Cuando se crea el canal, los dispositivos logran comunicar sus informaciones con los caracteres ya precisos en el canal. Cuando la información es con una dimensión precisa, la plataforma lo guardará y los procesará. Luego, con la fusión de MATLAB se logra

examinar la información y comunicarla en manera de esquema. Cuando se desee buscar otra salida por parte de otros dispositivos, hay probabilidades de presentar los datos por medio de otra API RESTful. Finalmente, se pueden concordar reuniones para no tener anuncios o encender respuestas de los equipos, siendo un ejemplo muy común, prender un led como significado de equivocación.(Choudhary & Velaga, 2017)(Mihai, 2014).

Algunos proyectos realizados con la plataforma ThingSpeak son:

- Prototipo Funcional Estación Meteorológica Portable Con Dispositivos De Bajo Costo (Arduino)(Mihai, 2014).
- Diseño e implementación de un dispositivo IoT para seguridad de niños.(Adi et al., 2020).
- Sistema De Comunicación Mediante Wsn Para Detección Y Alerta Temprana De Deslizamientos De Tierra.(Herranz, 2019).
- Implementación Red De Sensores Inalámbricos De Bajo Costo Utilizando Protocolo Lorawan Aplicada Al Monitoreo De Material Particulado, Monóxido De Carbono Y Dióxido De Nitrógeno Como Indicadores De Calidad De Aire En Exteriores.(F et al., 2020).

De acuerdo a lo anterior podemos evidenciar que la plataforma ThingSpeak es muy utilizada en las diferentes áreas para la visualización y análisis de los diferentes datos medidos.

Actualmente se desarrollan proyectos con la plataforma ThingSpeak entre los cuales están:

- Estación de monitoreo de polvo fino cerca de Jeongwang 3-dong, Gyeonggi, Corea del Sur.[19](*IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things*, n.d.-a)
- Mini estación meteorológica. BMP280, Si7021, DS18B20, TSL2561, ESP8266, NodeMCU, Kharkiv, Ucrania.(*IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things*, n.d.-a)
- Diseño de un sistema de monitoreo meteorológico en tiempo real basado en una aplicación móvil utilizando Automatic Weather Station (AWS). Pune, India.(Sabegh & Bingham, 2019)(*IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things*, n.d.-a)

En la **Figura 1- 2** se muestra el Entorno de la plataforma ThingSpeak donde se ve de manera clara gráficos correlacionados y procesados en las diferentes formas de visualización que permite dicha interfaz.

Figura 1- 2: Entorno ThingSpeak.(IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things, n.d.-b).



1.1.4 Empresas productoras de frigoríficos en Colombia.

En la actualidad en el sector doméstico se encuentran empresas como MABE, HACEB, LG, CHALLENGER, ABBA, etc. Las cuales son las encargadas de la distribución de la mayor parte de electrodomésticos entre ellos los refrigeradores de tipo LBP/LST además es importante destacar que hoy por hoy se encuentra un estimado de 1'550.000 unidades de los diferentes equipos que pertenecen a la línea blanca y se encuentran dispersos de la siguiente manera 700.000 neveras, 280.000 estufas y finalmente 525.000 lavadoras estos datos fueron tomados a partir de las diferentes base de datos de cada una de las empresas ya mencionadas.(Gustavo & Cobos, 2018). El aporte en el mercado de estas empresas se muestra en la **Tabla 1- 1** la cual contiene la siguiente distribución:

Tabla 1- 1: Distribución de frigoríficos en Colombia.(Gustavo & Cobos, 2018).

Marca	Porcentaje (%)
MABE	46%
HACEB	23%
LG	9%
CHALLENGER	7%
ABBA	4%
OTROS	11%

1.1.5 Refrigeradores que tienen la mayor demanda en el mercado actual en Colombia.

En la **Tabla 1- 2** se muestra las referencias de frigoríficos más vendidos en Colombia de tipo congelador arriba - refrigerador abajo(Top-Mount).

Tabla 1- 2: Modelos más vendidos de refrigeradores LBP/LST en Colombia.(Gustavo & Cobos, 2018).

País.	Modelos.	Volumen Neto(L).	Ancho (cm).	Prof. (cm).	Alto (cm).	Precio (\$).	Etiqu
Colombia	220LSE2PDA TI	229,21	61	69	147	\$ 950.000(COP)	B
	240LSE2PDA TI	257,96	61	69	159	\$ 1.100.000(COP)	
	272LSE2PDA TI	274,55	61	69	168	\$ 1.300.000(COP)	
	300LSE2PDA TI	292,79	61	69	176	\$ 1.350.000(COP)	
	N375LSE2PDATI	375	70	73	172	\$ 1.600.000(COP)	
	420LSE2PDA	420	70	73	185	\$ 1.830.00(COP)	

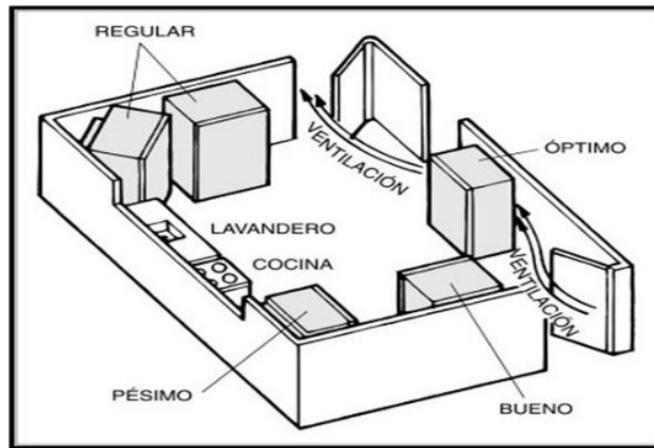
1.1.6 Ubicación correcta del refrigerador en el domicilio.

De acuerdo a diversas investigaciones se ha identificado que el refrigerador domestico es un equipo el cuál se debe tener algunas consideraciones al momento de ser instalado, las cuáles son las siguientes(Fernanda & Falquez, 2019):

- Es importante ubicarlo alejado de artefactos que proporcionen calor como estufas, hornos, fogones etc.(Fernanda & Falquez, 2019).
- Situarlo en un lugar que cuente con la posibilidad de ingreso de aire ambiental ya que es necesario que el equipo logre extraer el calor proporcionado por el condensador.(Fernanda & Falquez, 2019).
- Garantizar que en el tomacorriente donde se localice de preferencia se encuentre un voltaje de 115 V.(Fernanda & Falquez, 2019).

Si no se tienen en cuenta estas recomendaciones al momento de ser instalado el frigorífico automáticamente el equipo trabajara en condiciones diferentes a las que fue diseñado por lo que se evidenciara un consumo más elevado.

Figura 1- 3: Ubicación del refrigerador correcta, incorrecta y regular.(Fernanda & Falquez, 2019).



Como se puede visualizar en la

Figura 1- 3 La posición más adecuada del refrigerador es en un lugar donde cuente con una gran ventilación con el propósito de tener ingreso de aire exterior para que la temperatura elevada que se encuentra en el condensador pueda reducirse por medio del intercambio de calor y de esta manera el funcionamiento de este equipo sea más óptimo, también posicionarlo en un lugar que cumpla con estas características evitara averías que cause mantenimientos correctivos en poco tiempo.

Es importante precisar que estas consideraciones están directamente relacionadas con frigoríficos comunes en los domicilios de Colombia los cuales son de tipo de doble compartimiento (en la sección superior congelador y en la división inferior refrigerador).

1.1.7 Tipos de refrigeradores que existen en el mercado colombiano.

En la actualidad se encuentran diversos tipos de neveras entre las cuales están (Tipos de Refrigeradores y Características., n.d.):

- Puerta francesa (French Door).
- Congelador inferior (Bottom Freezer).
- Refrigerador de lado a lado (Side-By-Side).
- Refrigeradores con congelador superior (Top Freezer).
- Refrigeradores para vinos y bebidas.
- Refrigeradores compactos.
- Entre otros.

1.2 Marco conceptual.

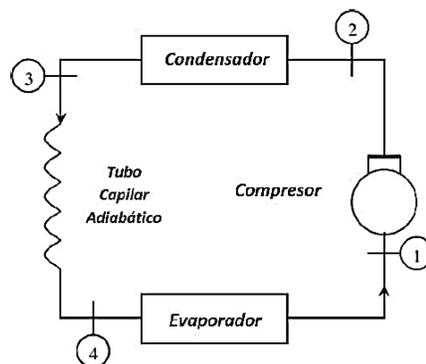
1.2.1 Sistema de refrigeración.

Habitualmente un sistema de refrigerador contiene cuatro dispositivos fundamentales:

- Compresor.
- Evaporador.
- Condensador.
- Dispositivo de expansión.

La siguiente **Figura 1- 4** muestra el ciclo de refrigeración de un frigorífico residencial.

Figura 1- 4: Ciclo de refrigeración.(A. Jara, 2018).

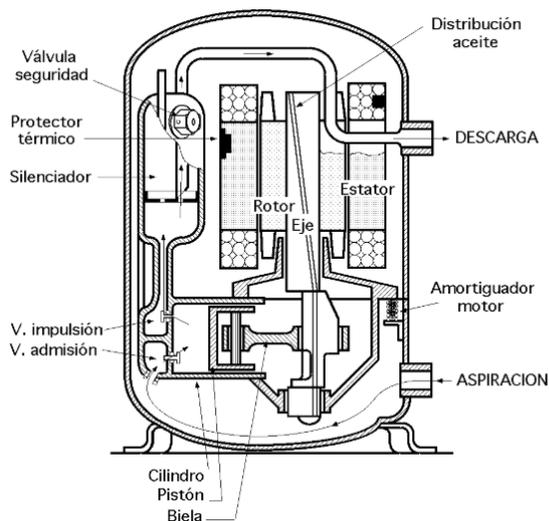


1.2.1.1 Compresor.

Es un dispositivo en el que su objetivo principal se debe a suministrar energía a los fluidos compresibles, con el propósito de hacerlos fluir por todo el ciclo de refrigeración es importante mencionar que este tipo de dispositivos se diferencia de otros gracias a que cuenta con la particularidad de dirigir enormes cantidades de fluidos sin cambiar su presión. El principio de funcionamiento de este equipo esencialmente es introducirle un fluido con una presión inicial y entregarlo con una mayor presión.(Fernández, 2014).

A continuación en la **Figura 1- 5**, se muestran las partes de un compresor hermético.

Figura 1- 5: Esquema del funcionamiento de un compresor alternativo y partes de un compresor hermético.(Fernández, 2014).



Los compresores son el centro del sistema de refrigeración ya que es el encargado de bombear el refrigerante hacia los otros ciclos del sistema.

Es el componente del ciclo de refrigeración más costoso de reemplazar además es el que tiene el mayor consumo y trabajo (más del 80% de la energía eléctrica del sistema de refrigeración).(Ministerio Federal de Cooperación económica y Desarrollo., 2015).

Se clasifica según las temperaturas del refrigerante a comprimir:

- Baja Temperatura: de $[(-30^{\circ}\text{C}) - (-10^{\circ}\text{C})]$.
- Media Temperatura: $[(-10^{\circ}\text{C}) - (0^{\circ}\text{C})]$.
- Alta Temperatura: $[(-5^{\circ}\text{C}) - (7^{\circ}\text{C})]$.

Los cuatro tipos de compresores más comunes usados en refrigeración son:

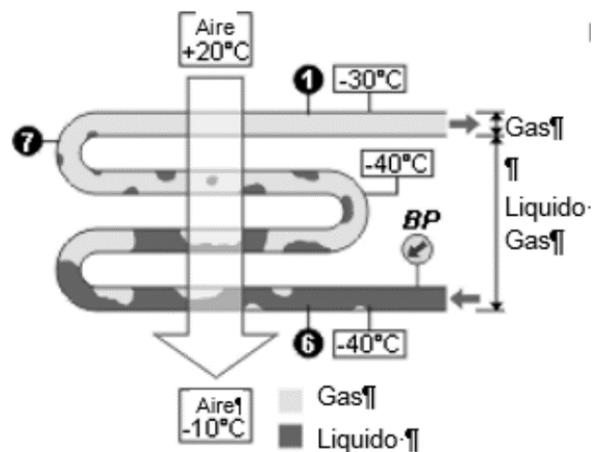
- Compresor a pistón (alternativo).
- Compresor scroll.
- Compresor de tornillo.
- Compresor centrífugo.

1.2.1.2 Evaporador.

El evaporador es un intercambiador de calor, en el que se da la transmisión de calor desde el fluido que se quiere enfriar (generalmente aire que circula en la cámara de frío) y el refrigerante que se está evaporando (Morocho & Byron, 2016).

De una forma gráfica se muestra en la **Figura 1- 6** El funcionamiento de un evaporador que compone el ciclo de refrigeración de una nevera.

Figura 1- 6: Funcionamiento de un evaporador. (Ministerio Federal de Cooperación económica y Desarrollo., 2015).



Dentro de la refrigeración doméstica y comercial los evaporadores se clasifican en dos grandes grupos:

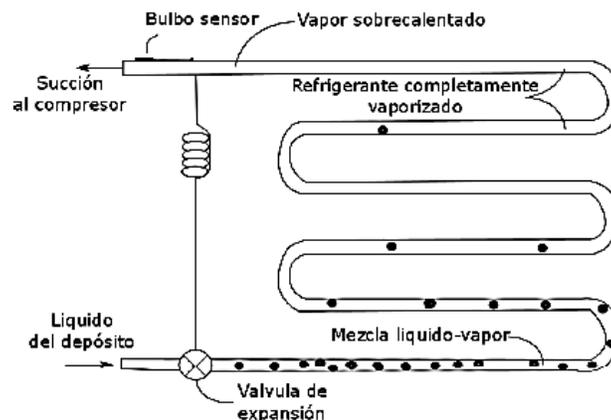
- Evaporadores secos.
- Evaporadores inundados.

Evaporadores secos:

En esta clase de evaporadores el fluido refrigerante ingresa en estado gaseoso ya sea como vapor húmedo o vapor saturado, es decir no existe la presencia de refrigerante líquido en él, esto se alcanza con la ayuda de una válvula de expansión instalada en la entrada del evaporador lo que causa la gasificación del fluido refrigerante con el apoyo de la expansión del mismo.(Morocho & Byron, 2016).

De acuerdo a esta información la **Figura 1- 7** explica el proceso de evaporación cuando se tiene una expansión seca.

Figura 1- 7: Esquema de evaporador de expansión seca.(Morocho & Byron, 2016)

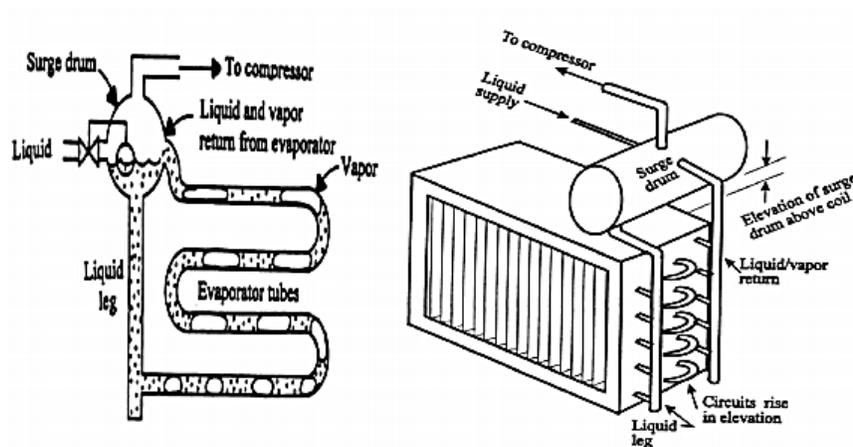


Evaporador inundado:

Los evaporadores inundados se elaboran con refrigerante líquido con lo cual se saturan por completo a fin de tener humedecida toda la superficie interior del intercambiador y, por consiguiente, la mayor razón posible de transferencia de calor. El evaporador inundado está equipado con un acumulador de vapor que sirve, a la par, como receptor de líquido, desde el cual el refrigerante líquido es circulado por gravedad a través de los circuitos del evaporador. Preferentemente son utilizados en aplicaciones industriales. (Cerdas, 2015).

En la siguiente **Figura 1- 8** Se muestra de una manera más clara lo mencionado.

Figura 1- 8: Esquema de evaporador inundado. (Cerdas, 2015).



1.2.1.3 Condensador.

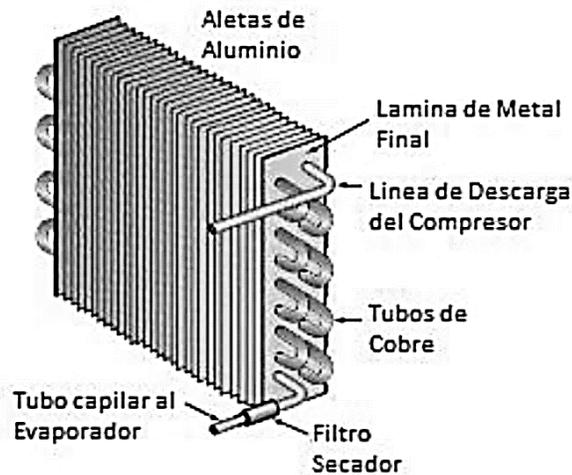
El condensador expulsa del sistema de refrigeración el calor recibido por el evaporador y el generado por el proceso de compresión. El compresor fuerza al gas caliente a ingresar por la parte superior de la bobina del condensador. El gas es impulsado con alta velocidad y temperatura (95°C).

El gas ingresa en el condensador con una temperatura mucho mayor, comparado con el aire circundante, por lo que inicia a producirse un intercambio de calor inmediatamente en el aire. El aire que circula cuando pasa sobre el condensador está a 35°C, mucho menos que los cerca de 95°C del gas que se introduce en el condensador. A través del tiempo

que el gas se mueve por el condensador, comienza a generar calor al aire circundante, lo que origina una disminución en la temperatura del gas. El gas sigue enfriándose hasta que alcanza la temperatura de condensación de 52°C y el cambio de estado comienza a producirse.(Whitman & Johnson, 2008).

La **Figura 1- 9** Indica las partes de un condensador de tubo con aletas modificadas.

Figura 1- 9: Condensador de tubo con aletas modificadas.(Rusmania, 2015).



1.2.1.4 Dispositivos de expansión.

Son elementos que disminuyen la presión de un fluido pasándolos de un estado más elevado a uno menor de presión y temperatura. Al generarse la ampliación del líquido en un ambiente de menor presión, se evapora parcialmente reduciéndose la temperatura al absorber calor de él mismo.(PediaPress, 2011).

Válvula de expansión:

La válvula de expansión es un instrumento (un elemento de las máquinas frigoríficas por compresión) en el cual la expansión es regulable manual o automática (PediaPress, 2011).

Clases:

1. Manual.
2. Termostática.
3. Termostática con compensación de presión externa.
4. Electrónica o electromecánica.
5. Automática.

1.2.2 Tubo capilar.

El tubo capilar es un componente muy fácil de fabricar, resulta ser un tubo generalmente de cobre con diámetros que oscilan entre 0.66mm a 2mm y longitudes que varían desde 2 hasta 6 metros. El tubo capilar se posiciona entre la salida del condensador y la entrada del evaporador y cumple con funciones de mayor importancia en el sistema de refrigeración, ante todo por los cambios de fases y la presencia de estados metal-estable que sufre el refrigerante que lo atraviesa, en relación a lo mencionado la complejidad para el diseño no radica en la parte mecánica del tubo, sino en la conducta termodinámica.(A. Jara, 2018).

1.2.3 Refrigerante.

El refrigerante es una sustancia química líquida o gaseosa, es práctico para combinarse y usarse como medio de transmisor de calor entre otras dos máquinas térmicas, especialmente en equipos de refrigeración. Su principal uso son los refrigeradores y los aires acondicionados. (PediaPress, 2011).

1.2.3.1 Refrigerantes más utilizados en el sector comercial.

R11, R12, R22, R23, R32, R123, R124, R134a, R502, R600A, R410A, R507, R517.

1.2.4 Presión.

La presión se define como el cociente entre la fuerza sobre una superficie y el área de dicha superficie.

$$P = \frac{F_n}{S} \quad (1)$$

En sistema de refrigeración domésticos, existen básicamente dos presiones: la línea de alta presión que va a partir de la descarga del compresor hasta el dispositivo de expansión y la línea de baja presión que va desde la salida del dispositivo de expansión hasta la succión del compresor. Puesto que los tramos de tubería son aproximadamente cortos y que se presentan pocas pérdidas de presión en los equipos, en muchas ocasiones se asume, para equipos de refrigeración doméstica, que la presión es constante en cada línea.(Morocho & Byron, 2016)

1.2.5 Clases climáticas.

El Reglamento Técnico de Etiquetado - RETIQ clasifica rangos de temperatura etiquetables según su clase climática de diseño a los refrigeradores domésticos y congeladores en 4 zonas según su clase climática a la que los fabricantes sugiere para su operación, de la siguiente manera; la primera es la Subnormal "SN" que tiene como rangos de temperaturas de 10°C a 32°C, la siguiente zona es la denominada Normal "N" la cual comprende temperaturas de 16°C a 32°C, consecuente la tercera zona climática es la Subtropical "ST" con temperaturas de 18°C a 38°C y la última zona Tropical "T" tiene un rango de temperaturas entre 18°C a 43°C..(Barbosa & Gamboa, 2019).

En la siguiente **Tabla 1- 3** Se aprecia las clases climáticas en el campo de la refrigeración.

Tabla 1- 3: Clases climáticas en el sector de la refrigeración.(Zubiria, n.d.).

Clase climática.	Siglas.	Temperaturas.
SubNormal	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

Es de mayor relevancia precisar las clases climáticas en los refrigeradores por lo que el clima en Colombia es muy variado debido a su geografía, debido a esto, las elevadas temperaturas en distintos departamentos como Atlántico, Magdalena o la Guajira, entre otros, se hace necesario el uso de refrigeradores de clase climática tropical para su correcta operación.(Suárez, 2017).

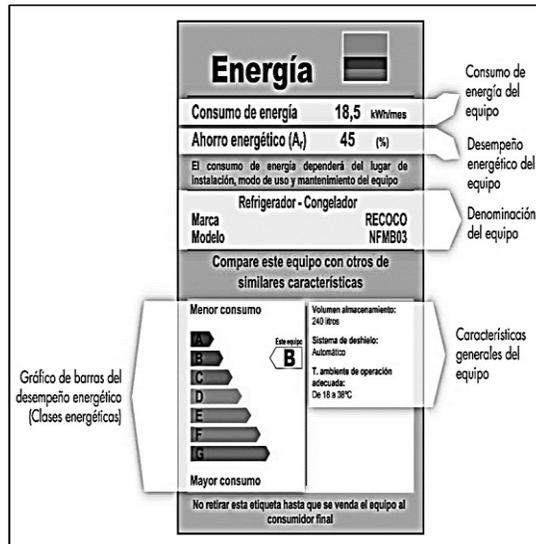
1.2.6 Etiqueta energética.

La etiqueta de eficiencia energética visualiza información acerca del consumo de energía de electrodomésticos y gasodomésticos de uso domiciliario o comercial; balastos electrónicos, electromagnéticos; Es un rótulo de color amarillo, que abarca información sobre un dispositivo específico lo que permitirá comparar los diferentes artefactos para seleccionar el más eficiente de acuerdo a cada necesidad.(Barbosa & Gamboa, 2019).

Las etiquetas tienen una parte universal, que hace énfasis a la marca, denominación del aparato y clase de eficiencia energética.(Zubiria, n.d.).

En la **Figura 1- 10** Se evidencia la etiqueta energética que se implementa en frigoríficos pertenecientes a Colombia.

Figura 1- 10: Descripción de la etiqueta de eficiencia energética.(Barbosa & Gamboa, 2019).



1.2.7 Programas de eficiencia energética actuales.

1.2.7.1 Programa de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales (PROURE).

De acuerdo con el plan de acción del PROURE como una de las actividades que sin duda contribuirá a mejorar la eficiencia energética de los domicilios, no solo en la capital del país sino en otras, debido a los efectos de divulgación y replicación. Dado a que se promoverá la consolidación de la información técnica necesaria y se favorecerá a la ejecución de acciones concretas, así como la evaluación y seguimiento de las mismas de manera que se cuente con los insumos adecuados para la toma de decisiones en la materia.(UPME, 2016).

1.3 Marco legal y normativa.

- **Resolución 19629 de 2003 (ministerio de minas y energía COL):** en esta resolución se encuentran las especificaciones de temperatura interna de operación del refrigerador.(Ministerio de Minas y Energía, 2010)
- **Resolución 40247 de 2020 (ministerio de minas y energía COL):** en esta resolución se encontró viable hacer un reescalado energético para el 1 de septiembre de 2021 para los equipos de refrigeración.(Ministerio de Minas y Energía, 2020)
- **Resolución 180919 de 2010 (ministerio de minas y energía COL):** esta resolución contiene el programa de uso racional y eficiente de la energía(PROURE) 2010-2015 en Colombia, donde enfatiza la importancia en el sector residencial del aumento de la eficiencia en los equipos de refrigeración.(Ministerio de Minas y Energía, 2010)
- **IEC62552-2015:** en esta norma se muestra que las pruebas de consumo de energía de los refrigeradores son en temperaturas ambiente de referencia 16°C – 32°C.(IEC, n.d.)
- **NTC 5891:** Esta norma se encarga de las pruebas del consumo estándar donde establece los parámetros en los cuales opera la nevera durante la prueba de consumo de energía.(OSPINA, 2014).
- **NTC 5020:** En esta norma establece los consumos de energía de referencia , y los rangos de consumo de energía donde permite la clasificación de los refrigeradores.(ICONTEC, n.d.).

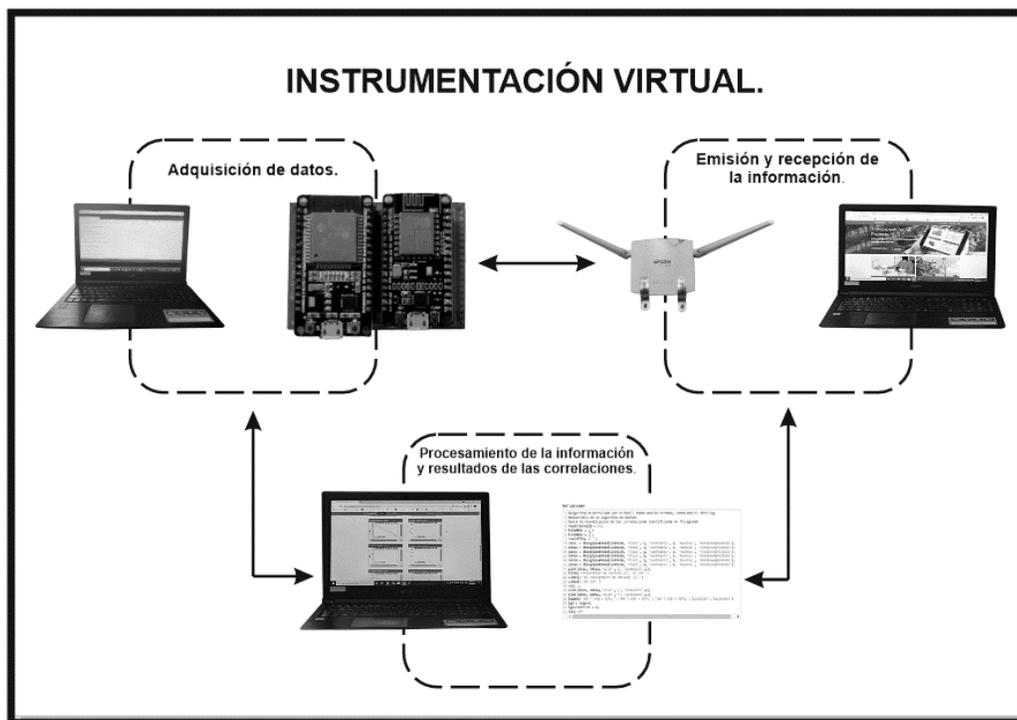
- **NTC 5182:** Esta norma establece los métodos de medición del ruido aéreo emitido por los refrigeradores, conservadores y congeladores eléctricos de uso doméstico.(Icontec, 2003).
- **ANSI/ISA: (Instrument Society of America)** Norma usadas en la instrumentación empleada en todo proceso.(Lopez, 2003).

2.Propuesta de solución.

En este capítulo se presenta la metodología que se lleva a cabo para concebir cada uno de los objetivos propuestos.

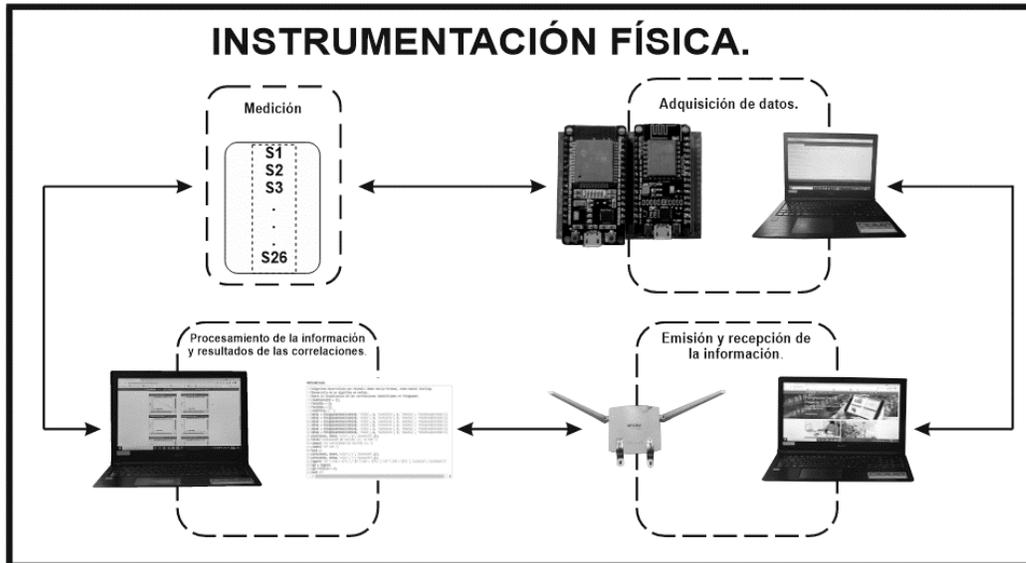
La **Figura 2- 1** que se encuentra a continuación muestra las etapas que componen el ciclo de instrumentación virtual (adquisición de datos, envío y recepción de la información, procesamiento de la información y resultados de las correlaciones).

Figura 2- 1: Sistema de adquisición de datos para la instrumentación virtual. Fuente: Autores.



La siguiente **Figura 2- 2** está incluida en este capítulo con el propósito de mostrar cómo queda cada una de las divisiones del sistema de adquisición de datos para la instrumentación física.

Figura 2- 2: Sistema de adquisición de datos para la instrumentación física. Fuente: Autores.

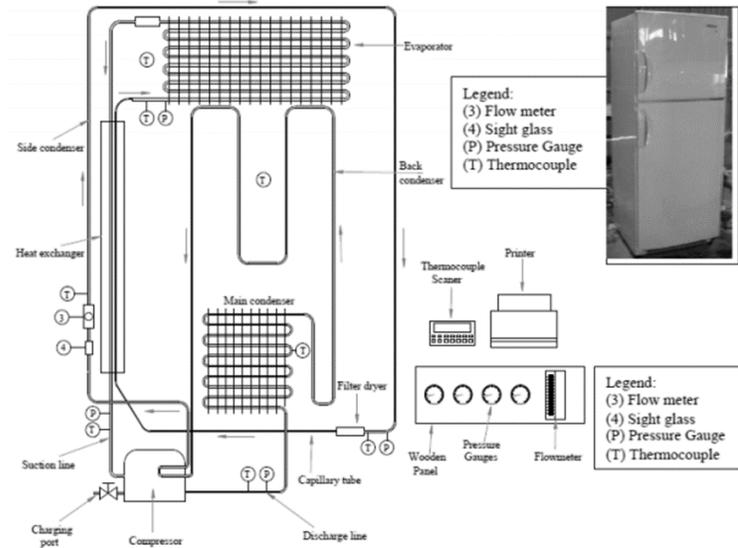


2.1 Ubicación de los sensores para la instrumentación física.

En la revisión de la literatura se encuentran algunos trabajos realizados con instrumentación física donde proponen la ubicación más adecuada para los diferentes sensores que se necesitan incorporar en la instrumentación del ciclo de refrigeración, sin embargo, estos trabajos no tienen a consideración variables como lo son apertura y cierre de cada una de las puertas de los compartimientos que hacen parte de los frigoríficos, la posición estratégica para medir las vibraciones del compresor de igual manera no están presentes, las variables eléctricas que hacen parte del compresor. Los puntos de medición para los dispositivos de expansión tampoco se encuentran.

A continuación, se evidencian las **Figura 2- 3** y **Figura 2- 4** que contienen las ubicaciones de los sensores para la instrumentación física más adecuadas en el ciclo de refrigeración para los autores de esas literaturas. (Morocho & Byron, 2016)(Bi et al., 2011).

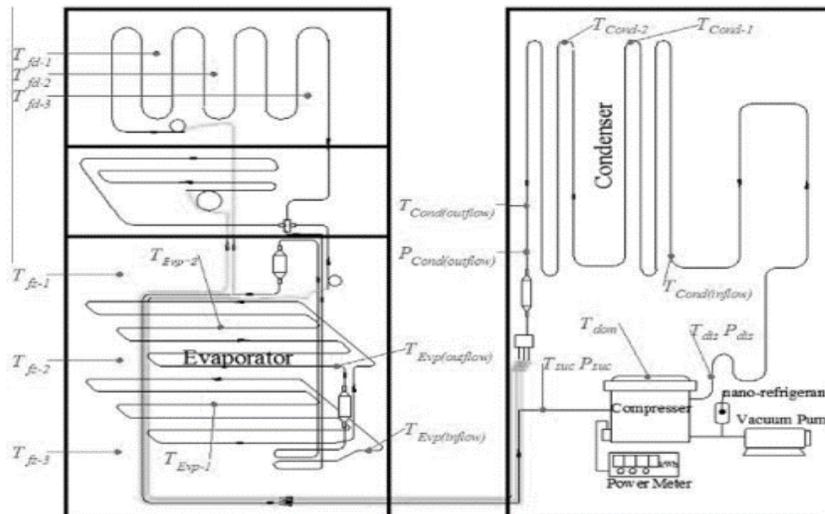
Figura 2- 3: Posición de los sensores de temperatura, presión y frecuencia. (Morocho & Byron, 2016).



En este proyecto los autores colocan 8 sensores de temperatura, 4 de presión y uno para medir frecuencia además mencionan que es adecuado el uso de tubería de cobre de $\frac{1}{4}$ "

Otra investigación considera adecuado el uso de 19 sensores de temperatura y 3 sensores de presión a lo largo de todo el ciclo de refrigeración.

Figura 2- 4: Posición de sensores de temperatura y presión.(Bi et al., 2011).



La **Tabla 2- 1** que se muestra a continuación describe el significado de cada una de las lecturas que toman los sensores posicionados en la investigación anterior.

Tabla 2- 1: Nomenclatura de los sensores.(Bi et al., 2011).

T suc (Flujo de entrada).	Temperatura de succión del compresor.
T Cond (Flujo de entrada).	Temperatura de entrada del condensador.
T dis (Flujo de salida).	Temperatura de descarga del compresor.
T Cond (Flujo de salida).	Temperatura de salida del condensador.
T dom (Flujo de entrada).	Temperatura de la cúpula del compresor.
T Evp.(Flujo de entrada).	Temperatura de entrada del evaporador.
T Cond-1,2 (Flujo de salida).	Temperatura de condensación 1, 2.
T Evp (Flujo de entrada).	Temperatura de salida del evaporador.
T Evp-1,2(Flujo salida).	Temperatura de evaporación 1,2.
T fz-1,2,3(Flujo de salida).	Temperatura del evaporador del compartimiento de almacenamiento de alimentos congelados 1,2,3.
PAGS (Flujo de entrada).	Presión de succión del compresor.
T fd-1,2,3 (Flujo de entrada).	Temperatura de entrada del evaporador del compartimiento de almacenamiento de alimentos frescos 1,2,3.
PAGS dis (Flujo de salida).	Presión de descarga del compresor.
PAGS cond (Flujo de salida).	Presión de salida del condensador.

Ahora, en la **Tabla 2- 2** se presentan las características que tienen los sensores utilizados en el trabajo anterior.

Tabla 2- 2: Rango, precisión de la temperatura y la presión.(Bi et al., 2011).

Variable	Device	Accuracy	Range
T	Pt100.	0.1°C.	-50 to 100°C.
P	Piezoelectric.	0.2%.	0-6 bar, 0-20 bar.
Power	Digital Watt/Watt-h meter.	0.4%.	-

2.2 Propuesta de instrumentación física.

Los criterios ingenieriles que fueron tomados en cuenta para escoger la siguiente información son los siguientes:

- En base a los estudios antes mencionados.
- Los parámetros que intervienen en el ciclo de refrigeración, se estudia cada uno de los procesos (condensación, evaporación, compresión, válvula de expansión, tubo

capilar) donde se identifican los puntos clave para realizar mediciones ya que el gas refrigerante en dicho ciclo en lugares específicos tiene diferentes transformaciones (vapor, vapor sobrecalentado, líquido, líquido saturado) por lo que se hace importante tomar mediciones en estos lugares ya que de acuerdo a esto se puede verificar el comportamiento termodinámico del refrigerador.

De acuerdo a esta información se propone medir las siguientes variables:

- Variable temperatura: 17 puntos de medición digitales.
- Variable presión: 04 puntos de medición analógicos.
- Variable eléctrica: 02 puntos de medición analógicos.
- Variable apertura/cierre: 02 puntos de medición digital.
- Variable vibraciones 01 puntos de medición analógico.
- 22 sensores en el ciclo de refrigeración (evaporador, condensador, salida e ingreso del motor, dispositivos de expansión).
- 02 instrumentos de medición en la parte posterior del frigorífico para el conteo de las aperturas/cierre de las puertas.
- 02 dispositivos de medición en la conexión de la red eléctrica para el monitoreo de los picos y fluctuaciones.

ISO 917:

Esta normativa trata sobre la evaluación de compresores de gas refrigerante allí se encuentran descrito como debe ser su comportamiento (ideal, sin pérdidas de fricción), también deja en claro que los fabricantes deben realizar pruebas de funcionamiento a temperaturas ambientales de 32°C y temperaturas de evaporación de -24°C.

La ubicación de cada uno de estos dispositivos viene dada de acuerdo a la norma ISO 917 y se encontró que la ubicación más adecuada es la que corresponde con el trabajo de investigación "*Performance of a domestic refrigerator using TiO₂-R600a nano-refrigerant as working fluid*".(Bi et al., 2011) ya que los criterios que toman para realizar el posicionamiento de cada uno de los instrumentos de medición corresponden:

- Tienen en cuenta los principales parámetros que intervienen en el ciclo de refrigeración (temperatura, presión, potencia, COP), en cada uno de los elementos que lo componen.
- Consideran la norma ISO 917 cuando realizan la validación del funcionamiento del sistema con el refrigerante R600a.

De esta manera de acuerdo a las diferentes literaturas consultadas sobre la instrumentación física se encontró que dicha investigación tiene criterios adecuados para evaluar el comportamiento termodinámico para un refrigerante en específico y de esta manera obtiene los mejores resultados ya que además de esto la instrumentación la realizan con ayuda de expertos evitando posibles fugas que harán que las lecturas sean incorrectas.

2.2.1 Sistema de adquisición de datos para la instrumentación física.

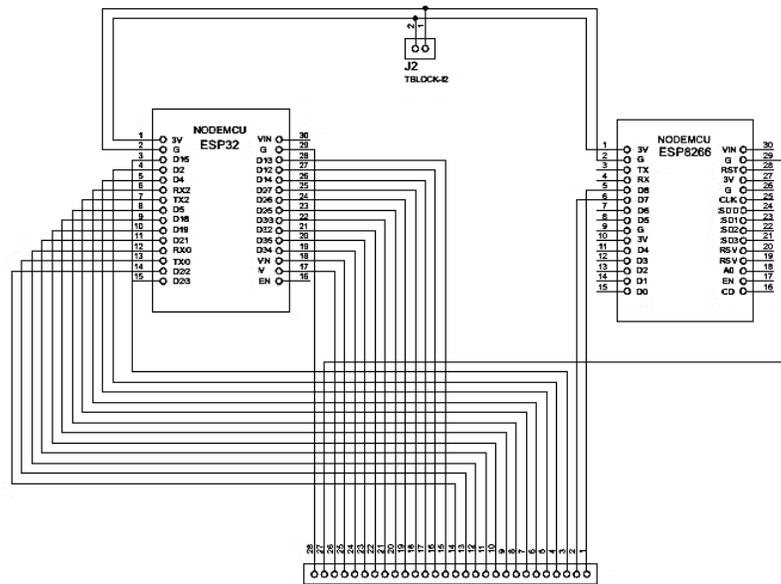
En este plano (**Figura 2- 5**) se evidencia los dos módulos WiFi necesarios para realizar la instrumentación física, también un componente de dos pines con el propósito de permitir el ingreso de voltaje para cada una de las plataformas y finalmente se visualiza un conector de 28 pines de los cuales son 19 para entradas digitales, 7 con entradas analógicas y dos para conexiones de tierra.

Solo quedaría la programación de cada uno de los módulos WiFi para la recepción de los datos por parte de los sensores y posteriormente su emisión hacia la plataforma ThingSpeak.

Es importante precisar que este plano no tiene en cuenta el sistema de procesamiento de la señal entregada por cada sensor ya que es necesario identificar con exactitud cada instrumento de medición que será instalado para diseñar el sistema adecuado.

La siguiente **Figura 2- 5** muestra la conexión de la señal entregada por el sistema de procesamiento de la señal de los sensores con el sistema de adquisición de datos para la instrumentación física.

Figura 2- 5: Diagrama electrónico para la adquisición de los datos de la instrumentación física. Fuente: Autores.



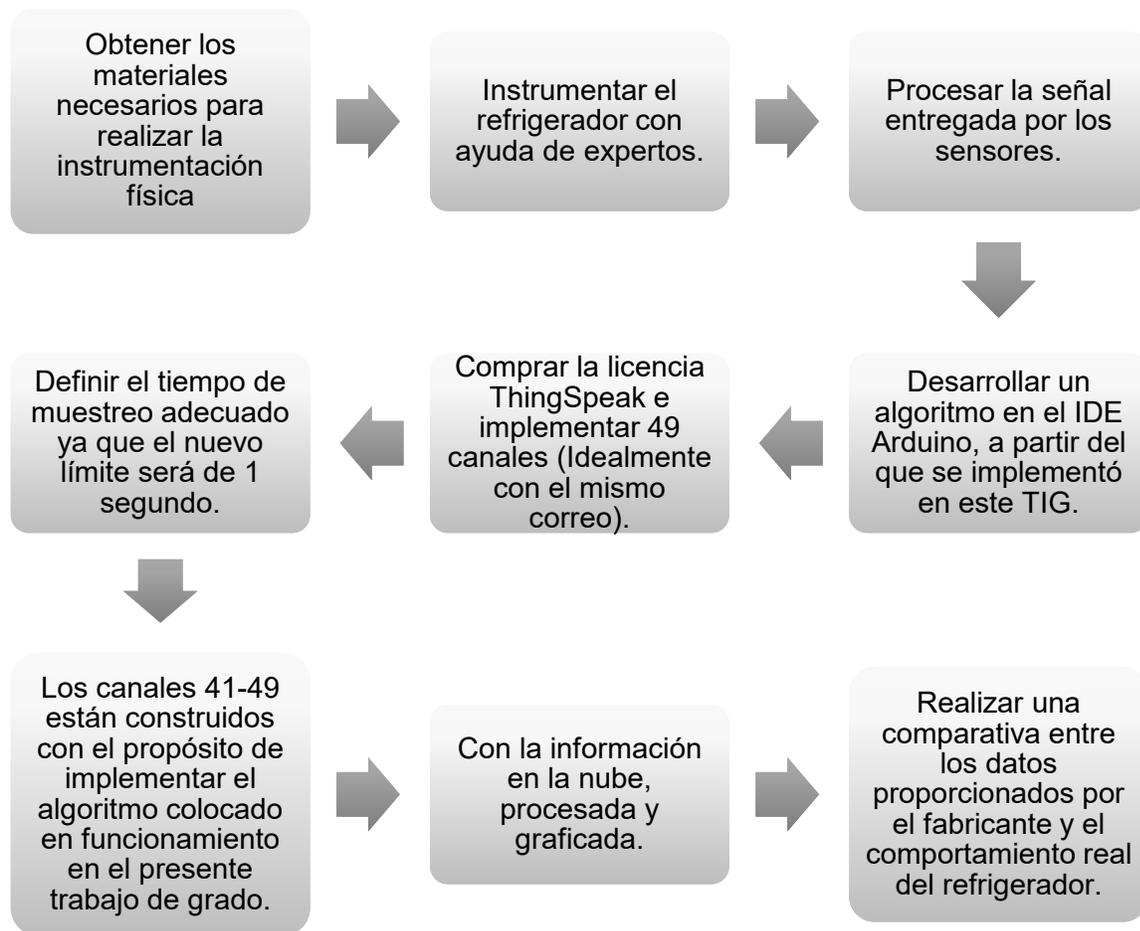
Como se observa en el sistema de adquisición de datos propuesto en este trabajo. El T-block que se encuentra en la parte superior es para el ingreso de corriente y voltaje hacia los módulos Wi-Fi, luego se encuentran dos módulos a cada lado que corresponden a las referencias Esp 8266 y Esp32 las cuales tendrán que ser programadas con el nuevo código (Este código hará el envío de los datos medidos por los sensores). construido para la instrumentación física, cabe mencionar que este código en su momento debe ser desarrollado en base al que se implementó en este proyecto, finalmente se encuentra un puerto (M/F) con 28 pines el cual tiene la función de 26 para el ingreso de la salida del sistema de procesamiento de cada una de las señales por parte de los sensores necesarios ya mencionados y además cuenta con dos puertos para la conexión de tierra común.

En este trabajo de investigación por las medidas adoptadas del COVID-19 no fue permitido el acceso físico al equipo, en consecuencia, se propone una instrumentación virtual, cabe destacar que el sistema tendrá la capacidad de recibir los datos de entrada provenientes de sensores reales del refrigerador instrumentado de forma física, esto se hará por medio de la programación en la interfaz del IDE Arduino para generar los datos de entrada de las variables citadas.

2.2.2 Diagrama de bloques propuesto para la implementación de la instrumentación física.

En esta sección se presenta la **Figura 2- 6** la cual describe cada una de las fases que hacen parte del proceso a realizar para desarrollar la instrumentación física de manera correcta.

Figura 2- 6: Diagrama de bloques para la implementación de la instrumentación física.
Fuente: Autores.



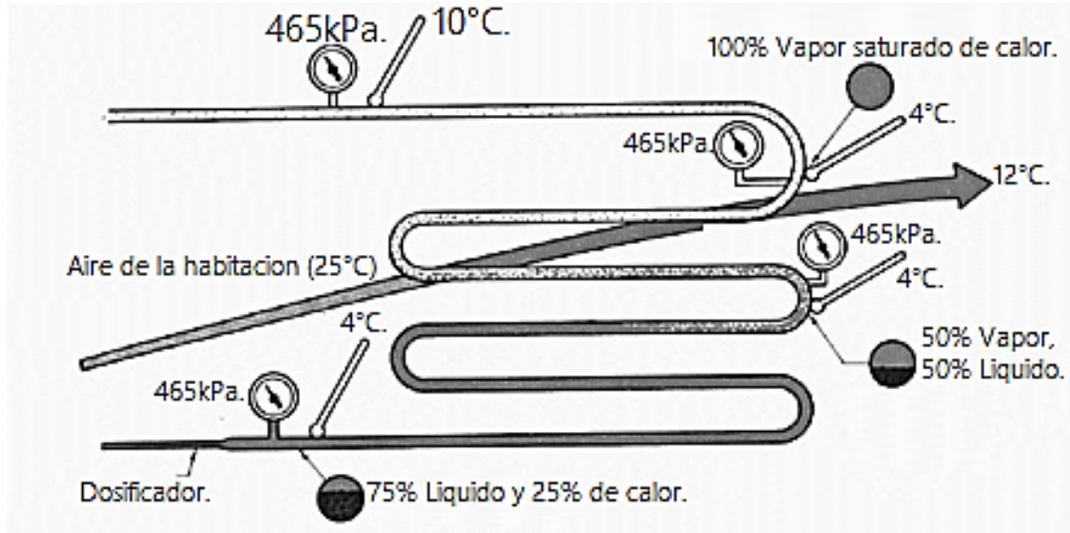
2.3 Temperaturas del ciclo de refrigeración residencial.

2.3.1 Temperatura en el evaporador.

La temperatura en el evaporador normalmente diseñada es de 4°C, la razón de esto es que generalmente la temperatura ambiente está próxima a los 25°C y una presión de 465kpa.(Whitman & Johnson, 2008), otras fuentes afirman que varía entre -23°C y -25°C

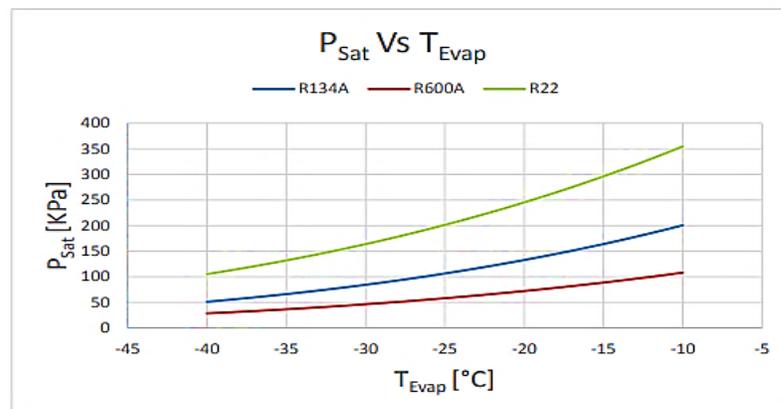
además sus presiones entre 7kpa y 20kpa de acuerdo a la construcción del evaporador.(Rusmania, 2015).(Morocho & Byron, 2016).

Figura 2- 7: Temperatura y presión del evaporador para el refrigerantes R-22.(Whitman & Johnson, 2008)



Como se puede apreciar en la **Figura 2- 7** es importante colocar varios instrumentos de medición en el evaporador ya que allí ocurre una transformación importante en el gas refrigerante.

Gráfico 2- 1: Comportamiento entre la relación de la presión de saturación vs temperatura de evaporación para 3 diferentes refrigerantes.(Rusmania, 2015).



En el **Gráfico 2- 1** se evidencia que el refrigerante base que se está tomando en cuenta en el presente trabajo de investigación tiene la posibilidad de operar en rangos de presión menores en comparación con los demás refrigerantes esto lo hace recomendable para lograr consumos menores de energía.

2.3.2 Sobre calentamiento.

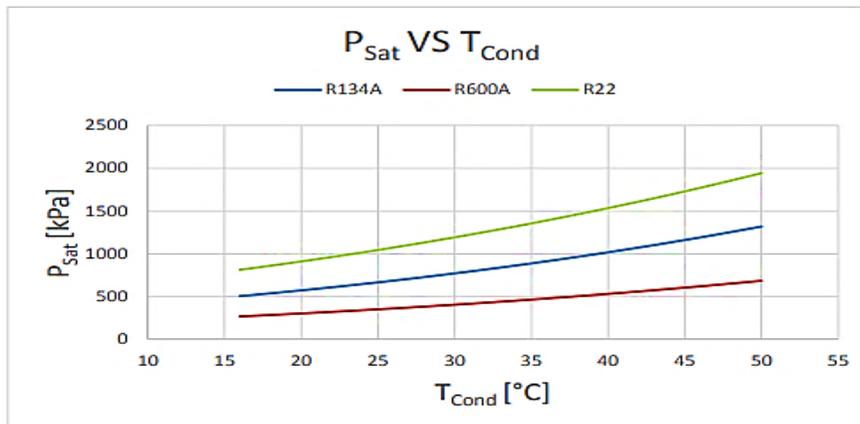
Ocurre cuando el refrigerante está en el ciclo de evaporación y pasa de ser vapor húmedo a vapor sobrecalentado o también llamado recalentamiento útil y de esta forma llegar al proceso de compresión.

El parámetro de subenfriamiento, de acuerdo a diferentes investigaciones encontramos que puede tener rangos de $[3^{\circ}\text{C} \text{ A } 10^{\circ}\text{C}]$.(Quimobásicos, n.d.).

2.3.3 Temperatura y presión del condensador.

Estas temperaturas varían de acuerdo al gas refrigerante que le apliquen al frigorífico. De acuerdo a lo mencionado el comportamiento que tienen las variables de presión y temperatura en el condensador en función del gas refrigerante R-22 es de una temperatura de operación (52°C) y una presión de descarga del compresor (1.925kpa).(Whitman & Johnson, 2008) otras literaturas afirman que las temperaturas están entre 18°C y 43°C acorde a la fabricación del condensador.(Rusmania, 2015).(Morocho & Byron, 2016).

Gráfico 2- 2: Comportamiento entre la relación de la presión de saturación vs temperatura del condensador para 3 diferentes refrigerantes.(Rusmania, 2015).

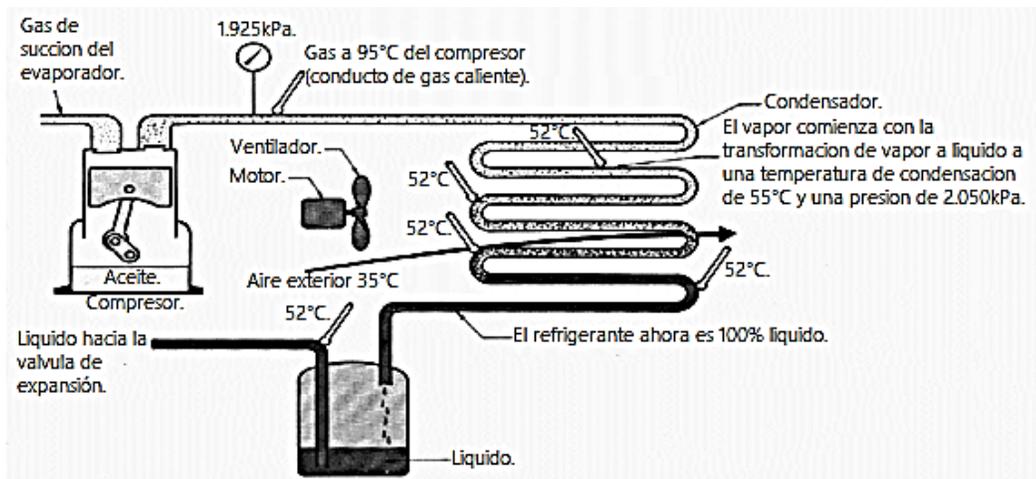


En el **Gráfico 2- 2** se puede visualizar el refrigerante R134a, presenta un comportamiento con condiciones de presión de saturación y temperaturas de condensación intermedio en comparación con los refrigerante R600a y R22. También la relación presión-temperatura para cada uno de estos refrigerantes es directamente proporcional.

Las presiones de operación más comunes para estos refrigerantes es cuando la temperatura de condensación es de 52°C, sin embargo, de acuerdo a la tabla de relación T-P equivale a una presión de 307.9psig - 491.2psig.

En la siguiente **Figura 2- 8** se muestra de una manera más clara la transformación del gas refrigerante de líquido a vapor sobrecalentado en el proceso de condensación.

Figura 2- 8: Temperatura y presión del condensador.(Whitman & Johnson, 2008).



2.3.4 Subenfriamiento.

Este fenómeno ocurre cuando el refrigerante está finalizando el ciclo de condensación en esta parte inicia el proceso de cambio de vapor saturado a líquido subenfriado y es allí donde adquiere la llamada temperatura de subenfriamiento está, variable es de mucha importancia ya que en ella podríamos diagnosticar diferentes comportamientos del refrigerador.(Efecto Del Subenfriamiento En El Rendimiento Del Compresor, n.d.).

En el caso de tener una temperatura de subenfriamiento mínima significaría:

- Dificultad en el dispositivo de expansión (deterioro, desajuste, etc.).
- Carga del refrigerante inadecuada.
- Carencia de aire en el condensador.

En caso contrario es una situación de:

- Carga excesiva del refrigerante.
- Obstrucción en el dispositivo de expansión.
- Imperfección en la presión de alta para temperatura medio ambientales bajas.

2.3.5 Temperatura de un compresor.

La temperatura de funcionamiento cambia conforme a su capacidad y tipo de refrigerante, normalmente trabaja a temperaturas mayores a 43°C.(Rusmania, 2015)(Morocho & Byron, 2016).

2.4 Temperaturas internas del refrigerador.

Esta sección está enfocada directamente a refrigeradores no frost (sin escarcha) de tipo LBP/LST, a fin de dar a conocer las temperaturas establecidas por el ministerio de mina y energía de Colombia. Las cuales son de suma importancia para los fabricantes de este tipo de electrodomésticos en el diseño de cada uno de ellos.

Generalmente los frigoríficos que se encuentran en los domicilios tienen la capacidad de dos estrellas ya que los alimentos más comunes no requieren una menor temperatura de congelamiento.

La temperatura del compartimiento para conservar vegetales según la normativa establecida por el ministerio de minas y energías de Colombia (Minminas) es la mismo para todos los refrigeradores domésticos (en todas sus presentaciones).

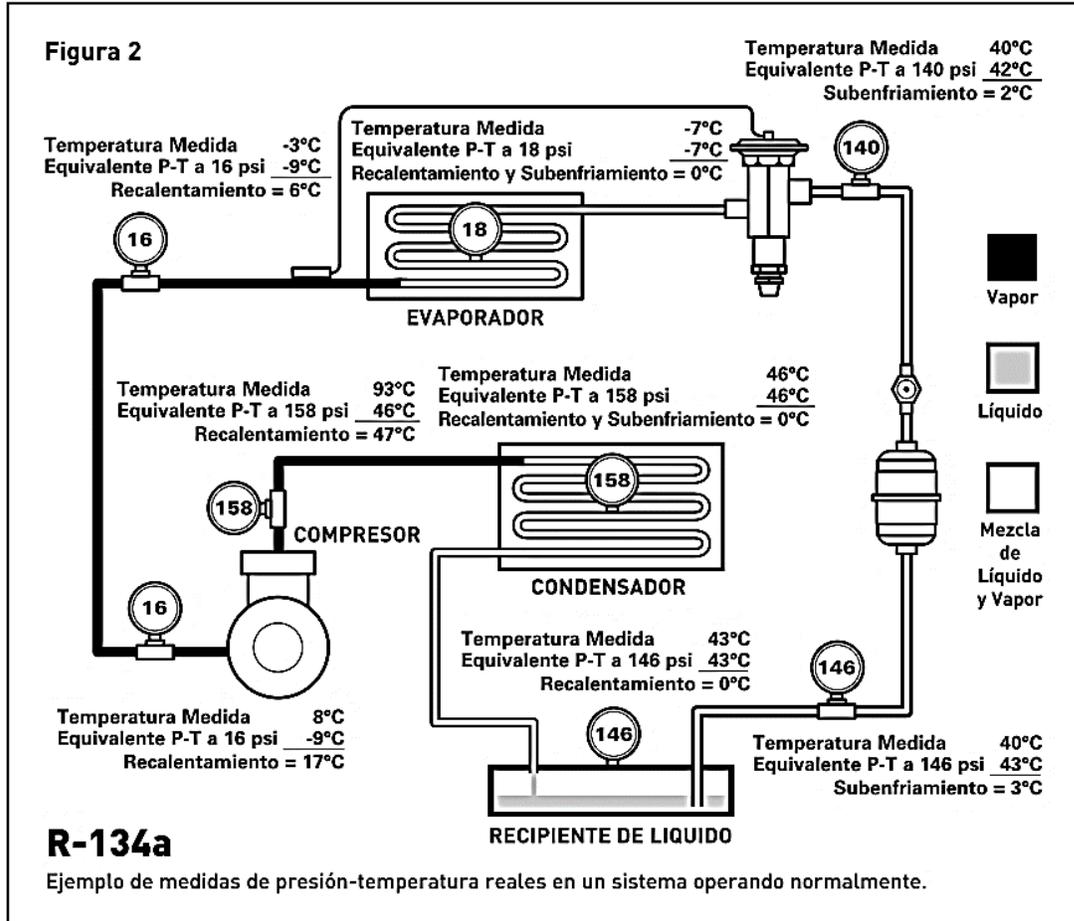
Tabla 2- 3: Temperatura de compartimiento de un refrigerador no frost.(Número, 2003).

Compartimiento una estrella.	Temperatura de almacenamiento no debe ser mayor a -6°C .
Compartimiento dos estrellas.	Temperatura de almacenamiento no debe ser mayor a -12°C .
Compartimiento tres estrellas.	Temperatura de almacenamiento no debe ser mayor a -18°C .
Compartimiento cuatro estrellas.	Temperatura de almacenamiento no debe ser mayor a -24°C .
Compartimiento frigorífico.	Las temperaturas deben estar entre -2°C y $+3^{\circ}\text{C}$.
Compartimiento para conservar vegetales.	Las temperaturas deben estar entre 8°C y 14°C .

La **Tabla 2- 3** muestra las principales características que contiene la norma establecida por el ministerio de minas y energías de Colombia (Minminas) para las temperaturas internas de un frigorífico.

En la siguiente **Figura 2- 9** se evidencian algunas de las temperaturas y presiones que hacen parte del ciclo de refrigeración mostrando como el gas refrigerante tiene su transformación de estado (vapor a liquido) es conveniente destacar que muestra el funcionamiento de operación real de dicho ciclo ya que tienen en cuenta las temperaturas de sobrecalentamiento y subenfriamiento que no se consideran en ciclos de operación ideal.

Figura 2- 9: Ejemplo de medidas de presión-temperatura reales en un sistema operando normalmente con refrigerante R134a.(Parker Hannifin Corporation, 2011).



2.5 Materiales y métodos.

Los materiales utilizados para la instrumentación virtual y el desarrollo del proyecto son los siguientes:

Se escogieron dos (2) módulos WiFi de acuerdo a los siguientes criterios:

- Las variables a medir (26 sensores) por lo que uno (1) solo no tiene la totalidad de puertos.
- Los módulos WiFi de la familia ESP tienen compatibilidad con el entorno de programación Arduino (IDE Arduino).
- Tienen un bajo costo en comparación con otros módulos WiFi.
- Cuenta con una capacidad de almacenamiento que puede soportar programas de hasta 16MB (con el uso de memorias externas).

- El voltaje y corriente de alimentación es bajo por lo que mantenerlo conectado no generará un consumo eléctrico elevado.

De acuerdo a esta información este módulo WiFi se hace más atractivo en comparación con los que se encuentran en el mercado actual.

Las referencias son el esp8266 y el esp32, se toman estas porque el primero tiene más número de puertos digitales que el segundo y para el presente caso de estudio fue necesario una totalidad de 7 puntos analógicos razón por la cual el esp32 proporciona 18 entradas analógicas y el resto son pines digitales, es un número que se acomoda a los requerimientos del proyecto de investigación, sin embargo, el primero brinda 17 pines de medición digital para terminar de conectar todos los instrumentos de medición.

2.5.1 Esp 32.

Es un microcontrolador con Wi-Fi incluido y Bluetooth. Junto al Esp8266 son el corazón del proyecto ya que es utilizado para conectar 24 sensores (En el caso de la instrumentación virtual es el encargado de generar los datos de entrada de 16 sensores y la transmisión por medio de wifi hacia el servidor de ThingSpeak en dos canales). El modulo está programado con el código fuente para realizar la recepción de los datos y la transmisión por medio de wifi hacia el servidor de ThingSpeak. El código fuente es diseñado en el IDE Arduino y almacenado en la memoria en chip disponible. El rango de voltaje de funcionamiento es de 2,2 a 3.6V. En funcionamiento normal.(Herranz, 2019).

La **Figura 2- 10** muestra el modulo WiFi ESP32 como se puede encontrar de manera física en el mercado actual (2021).

Figura 2- 10: Módulo esp32.(Herranz, 2019).

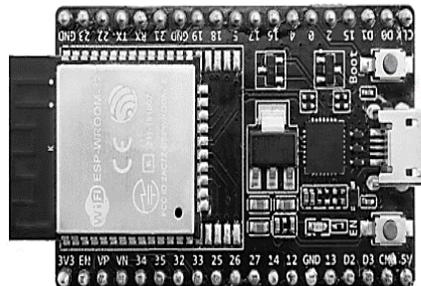
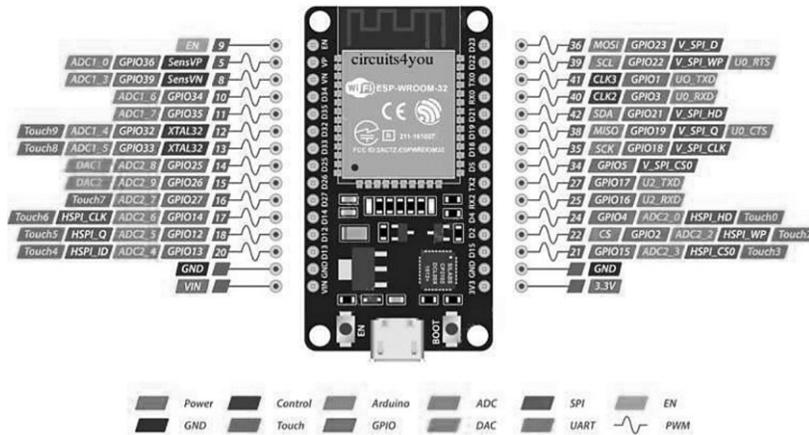


Figura 2- 11: Distribuciones de pines esp32.(Bruno, 2019).



La Figura 2- 11 muestra la compatibilidad de cada uno de los pines del ESP32.

2.5.2 Esp 8266.

Es un chip WiFi de bajo coste con pila TCP/IP completa y capacidad de MCU (Micro Controller Unit). Este módulo es utilizado para la conexión de 2 sensores en la instrumentación física (Para la instrumentación virtual su utilidad se ve reflejada en generar datos de entrada para 10 sensores y la transmisión de estos por medio de wifi hacia el servidor ThingSpeak en dos canales). El microcontrolador esta codificado por medio del IDE Arduino para la recepción y transmisión de los datos hacia el canal de ThingSpeak.

A continuación en la

Figura 2- 12 se muestra el ESP8266 de una manera gráfica.

Figura 2- 12: Microcontrolador esp8266.(Herranz, 2019).

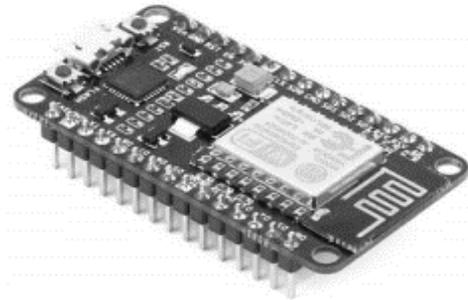
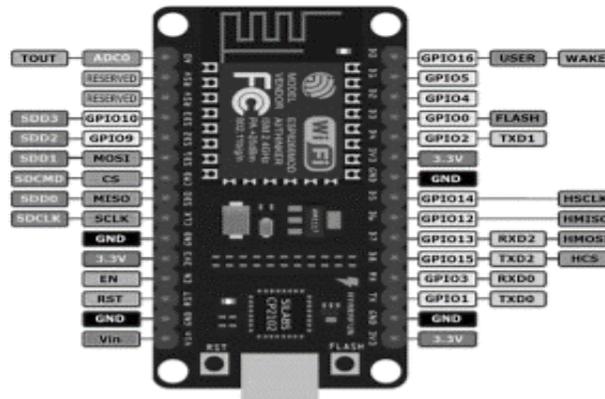


Figura 2- 13: Distribución de pines esp8266.(C, 2017).



En la **Figura 2- 13** se muestra la función que se le puede otorgar a cada uno de los pines del módulo WiFi ESP8266.

2.5.3 ThingSpeak.

Esta plataforma IoT se escogió de acuerdo a los siguientes criterios:

- Brinda la posibilidad de obtener una licencia gratuita (con algunas limitaciones).
- Tiene compatibilidad con MatLab para el procesamiento de los gráficos.
- Tiene compatibilidad con el entorno de programación Arduino (IDE Arduino).
- Guarda una gran cantidad de datos en la nube (3 millones/año).
- Permite procesar la información y tiene aplicación para ordenador y móvil.

- Ofrece diversas formas de visualización de los datos almacenados (display, led, grafica).

2.5.4 MatLab®.

Es una herramienta computacional que cuenta con un lenguaje propio de programación (lenguaje.m), requiere de una licencia para su uso. Es muy utilizado para el procesamiento de datos, representación de datos y funciones, implementación de algoritmos, creación de interfaces de usuario (GUI) etc. (Holly Moore, 2010).

Además, ha sido utilizado en millones de investigaciones con el propósito de mejorar los sistemas que realizan actividades más simples como también las que permiten descubrir nuevos conocimientos, este software se aplicado en la actualidad en diferentes áreas de aprendizaje como son los sistemas de(*MATLAB - MathWorks - MATLAB & Simulink*, n.d.):

- Seguridad.
- Aeroespacial.
- Salud.
- Redes inteligentes.
- Redes móviles LTE.
- Procesamiento de señales.
- Procesamiento de imágenes.
- Visión artificial.
- Comunicaciones.
- Finanzas computacionales.
- Control.
- Robótica.

Este programa está optimizado para solucionar problemas científicos y de ingeniería. El lenguaje que utiliza MATLAB, está basado en matrices, es la forma en que el software expresa las matemáticas computacionales (III, 2001).

Entre sus principales características encontramos:

- Lenguaje de programación utilizado para realizar cálculos científicos y de ingeniería
- Herramientas para construir graficas que permitan visualizar un conjunto de datos.
- algoritmos para ajustar curvas, clasificar datos, analizar señales, ajustar sistemas de control etc.
- Toolboxes diseñadas para aplicaciones científicas y de ingeniería
- Herramientas para crear aplicaciones con interfaces de usuario personalizadas
- Compatibilidad con C/C++, Java®, .NET, Python, SQL, Hadoop y Microsoft® Excel®.

En este trabajo se utiliza para el desarrollo de un algoritmo que realice un procesamiento de visualización a los datos almacenados en la plataforma ThingSpeak.

Se escogió este programa ya que es el único que brinda compatibilidad con la plataforma IoT.

2.5.5 Computador portátil INTEL Core I5 8th Generación, RAM8Gb.

El uso de este equipo es con el fin de realizar la programación del IDE Arduino, configurar la plataforma ThingSpeak además programar el algoritmo en MatLab.

Los requerimientos de los módulos WiFi para la comunicación son los siguientes:

- Soporte 802.11 b/g/n
- Compatibilidad con 802.11 n (2.4GHz) hasta 150Mbps

Dicho dispositivo cumple con todas las exigencias mencionadas.

En la **Figura 2- 14** se puede apreciar el diseño del computador descrito anteriormente.

Figura 2- 14: Computador portátil INTEL Core I5 8th Generación. Fuente: Autores.



2.5.6 Caracterización IDE Arduino.

La interfaz del entorno de desarrollo integrado IDE Arduino se puede visualizar en la **Figura 2- 15**, es un programa informático compuesto por un conjunto de herramientas de programación. Esta plataforma se utiliza para la transmisión de los datos recibidos en el caso de la instrumentación física y en la instrumentación virtual los datos generados hacia la plataforma ThingSpeak por medio de los módulos WiFi esp8266 y esp32.

Figura 2- 15: Entorno de programación de Arduino (IDE Arduino).(Herranz, 2019).

```

PROYECTO Arduino 1.8.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
PROYECTO $
void MQTT_connect();
//Funcion Setup
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  xTaskCreatePinnedToCore (Mqtt_Task, "Mqtt_Task", 10000, NULL, 4, NULL, 1);
  delay(1000);
  xTaskCreatePinnedToCore (Web_Task, "Web_Task", 10000, NULL, 4, NULL, 1);
  delay(1000);
  xTaskCreatePinnedToCore (oled_Task, "oled_Task", 10000, NULL, 3, NULL, 1);
  xTaskCreatePinnedToCore (BME_Task, "BME_Task", 10000, NULL, 3, NULL, 0);
  xTaskCreatePinnedToCore (PIR_Task, "PIR_Task", 10000, NULL, 3, NULL, 1);
  xTaskCreatePinnedToCore (PPTV_Task, "PPTV_Task", 10000, NULL, 3, NULL, 1);
  delay(2000);
  xTaskCreatePinnedToCore (ThingSpeak_Task, "ThingSpeak_Task", 10000, NULL, 3, NULL, 1);
}

void loop() { vTaskDelay(1000); }

void BME_Task() void * parameters
{
  Wire.begin(1024, 0x28);
  status = Wire.begin(1024, 1024);
  if (status) { Serial.println("Sensor BME280 no conectado"); }
}

```

Esta estructura de conexión Arduino-IoT permite realizar las mediciones de las variables identificadas.

Criterios que se tuvieron a consideración para escoger este entorno de programación:

- Tiene compatibilidad con los módulos WiFi Esp32 y ESP8266.
- Se cuenta con un mayor conocimiento en este lenguaje de programación.
- Tiene compatibilidad con la plataforma IoT ThingSpeak.
- La implementación del algoritmo es más sencilla en comparación con otros microcontroladores (μC) como el PIC, Raspberry etc.
- Tiene un costo computacional reducido.

2.6 Magnitud que tendrán las variables que intervienen en la instrumentación virtual.

En esta división se explica cómo fue el desarrollo para descubrir los valores nominales de cada una de las variables que intervienen en la instrumentación virtual (temperatura de evaporación, variaciones del voltaje, temperatura de condensación, coeficiente de rendimiento COP, temperatura ambiente, frecuencia).

Cabe resaltar que la magnitud de estas variables en la instrumentación física viene dada por la salida de los sensores.

2.6.1 Variaciones del voltaje.

Las fluctuaciones que se encuentran específicamente en la ciudad de Neiva, Huila (lugar donde se está realizando la investigación), en el tomacorriente viene dada en un rango de [93 voltios (V) – 127 voltios (V)], con ayuda de los directores se concluyó especificar tres diferentes valores que se encuentren en el rango anteriormente mencionado los cuales son 93 V, 115 V, 127 V estas magnitudes fueron las que más se repiten.

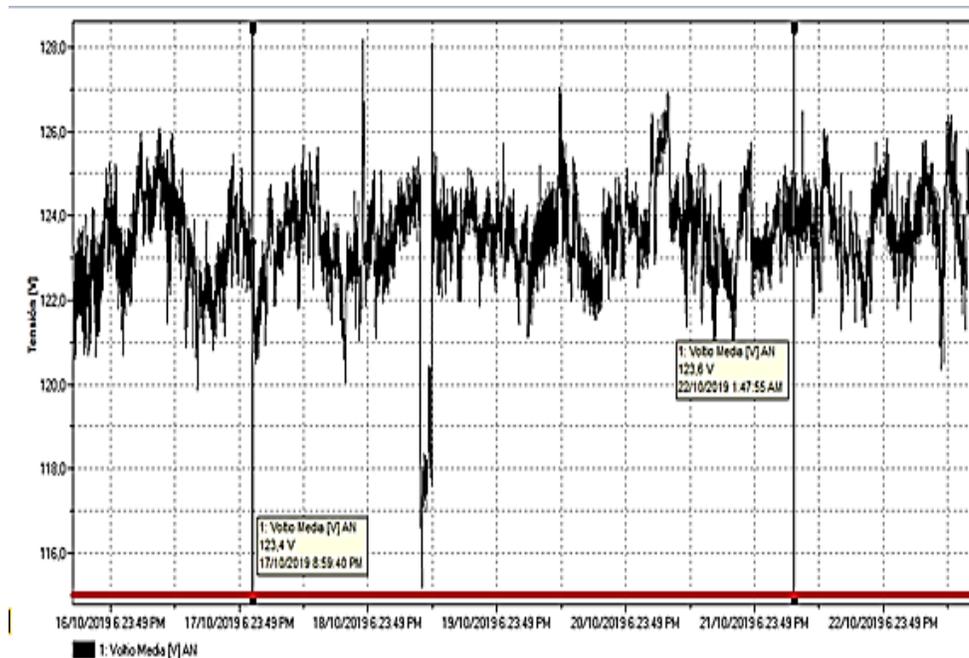
El instrumento de medición utilizado para encontrar el rango de variación fue el multímetro.

Las lecturas se les realizó un seguimiento durante 5 días (lunes-viernes) donde se evidencio que de cada 100 datos se repetían el 10% aproximadamente de las veces estos valores, esta información puede ser evidenciada en el **Anexo C**.

Es importante dejar claro que las fluctuaciones del voltaje en la red eléctrica dependen de muchos factores ya que cuando se realizan las implementaciones eléctricas en una residencia se cometen muchas violaciones a las normativas que rigen en este campo por lo que incluir cableado inadecuado hará que las fluctuaciones sean mayores.

En la **Figura 2- 16** se muestra un análisis de las fluctuaciones de voltaje en un domicilio específico de la red eléctrica en la ciudad de Neiva, Huila. Información recopilada por un Analizador de redes fluke 1730.

Figura 2- 16: Variaciones de voltaje que se presentan en un domicilio de la ciudad de Neiva, Huila. Fuente:(Fernanda & Falquez, 2019).



Finalmente, el criterio tenido en cuenta para escoger este rango es:

- Evaluar el comportamiento termodinámico del refrigerador, en específico el comportamiento de trabajo del compresor el cual es el único que va conectado al tomacorriente en el ciclo de refrigeración, con el valor mínimo que entrega la red

eléctrica, con el valor al cual viene diseñado el equipo y el máximo que entrega el tomacorriente.

De esta manera se escogen los 3 valores ya mencionados.

2.6.2 Frecuencia.

De acuerdo a la empresa que suministra la red eléctrica en el Huila (ELECTROHUILA) la frecuencia que tiene la red domiciliaria es de un valor de 60 Hz, este valor no se tiene en cuenta ya que los equipos de refrigeración vienen diseñados con esta magnitud.

2.6.3 Temperatura ambiente.

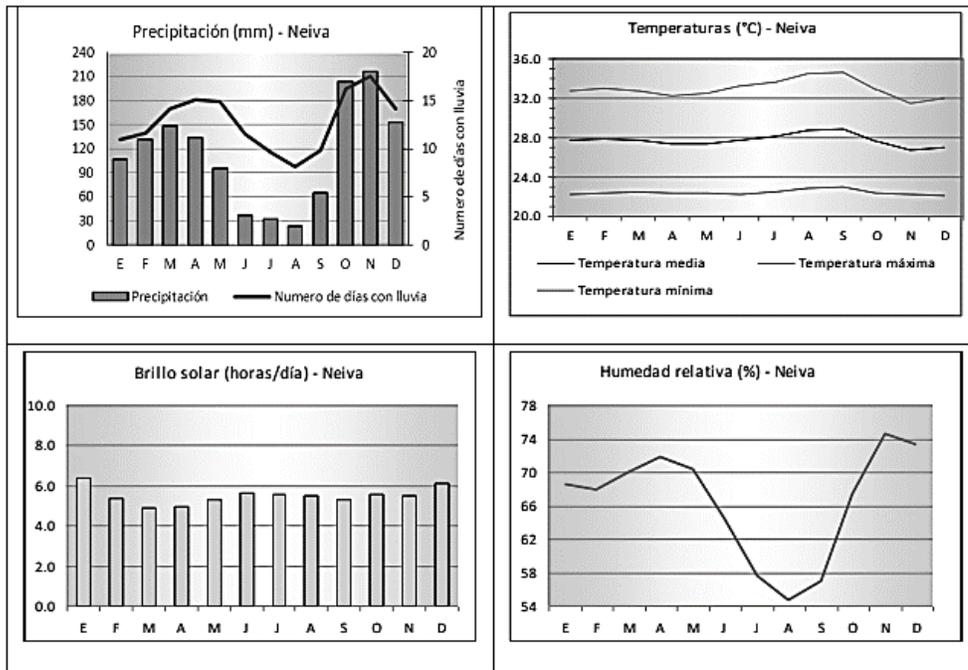
Las temperaturas de ambiente que se definieron fueron con la que viene las etiquetas energéticas diseñadas la cual es 32°C, dos más las cuales son 35°C y 38°C estos valores se tomaron a partir de las temperaturas ambiente registradas en las literaturas publicadas en los últimos años en la ciudad de Neiva, Huila, información que puede ser evidenciada en fuentes certificadas como lo es el instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2020).

Las lecturas de temperaturas ambientales exteriores proporcionadas por la mayoría de bibliografías son tomadas en las coordenadas 2°57'00"N 75°17'38"O geográficas de la ciudad de Neiva-Huila en la cual corresponde a la ubicación del aeropuerto Benito salas (IDEAM, 2020).

A continuación, se muestra la

Figura 2- 17 donde se puede evidenciar el comportamiento climático que tuvo la ciudad de Neiva-Huila en el año 2019, corresponde a la documentación más actualizada que se encuentra en la web (2021) .

Figura 2- 17: Caracterización del estado climático de la ciudad Neiva-Huila para el periodo de 2019.Fuente:(IDEAM, 2020).



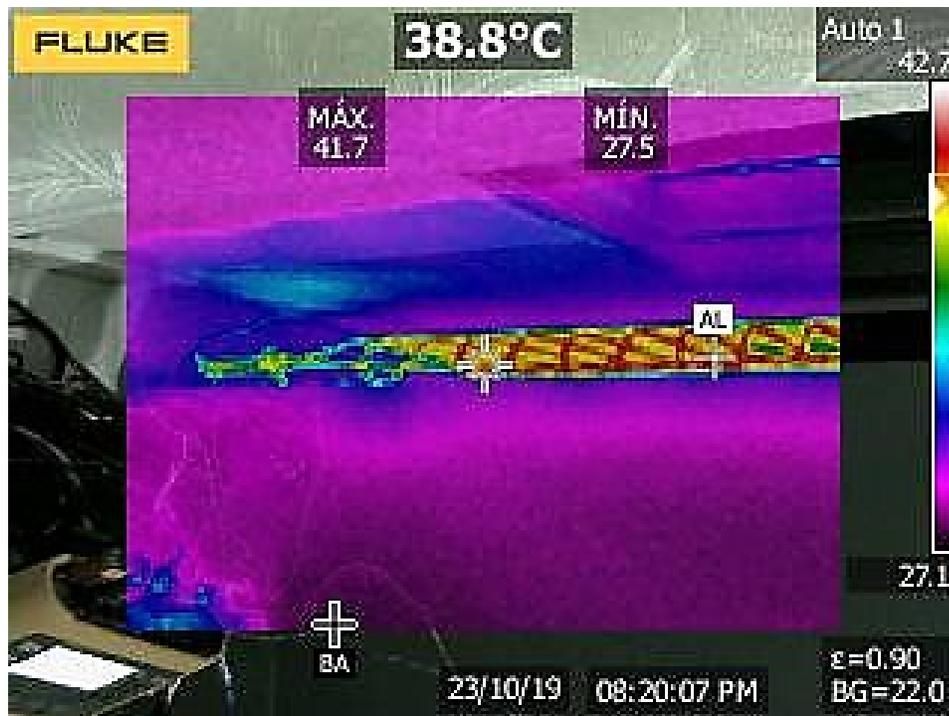
Los criterios tenidos en cuenta para escoger estas temperaturas fueron los siguientes:

- Tomar la temperatura a la cual viene diseñado el equipo para evaluar el comportamiento y corroborar que sea igual al proporcionado por el fabricante.
- Se tomaron dos temperaturas más ya que el tema principal de este proyecto es analizar el comportamiento del ciclo de refrigeración a temperaturas tropicales en específico en la ciudad de Neiva-Huila (superiores a 32°C) por lo que se evidencio que habitualmente la temperatura ambiental máxima exterior en dicha ciudad oscila en un intervalo de [32°C – 35°C], sin embargo, es importante aclarar que las temperaturas ambientales exteriores son diferentes a las interiores ya que las

temperaturas corporales de las familias en los domicilios afectan el ambiente interior de una residencia . Además, el análisis realizado va directamente ligado a el frigorífico el cual emite temperaturas elevadas de condensación y generalmente estos equipos se encuentran entre paredes lo que genera una recirculación de temperaturas ambientales mayor a la exterior. Esta información fue tomada en diversas literaturas consultadas.(Arencibia & Tricio, 2014).

Información que se puede visualizar en la **Figura 2- 18**.

Figura 2- 18: Temperatura ambiente interna en la posición del frigorífico. Neiva, Huila. Fuente:(Fernanda & Falquez, 2019).



2.6.4 Temperaturas del condensador.

Entre las temperaturas de condensación se localizan 9 valores diferentes las cuales vienen dadas por la variación de temperatura ambiente. Se muestra un ejemplo de los mismos.

1. Temperatura ambiente de 32°C: [54.4°C, 49.4°C, 44.4°C].
2. Temperatura ambiente de 35°C: [57.4°C, 52.4°C, 47.4°C].
3. Temperatura ambiente de 38°C: [60.4°C, 55.4°C, 50.4°C].

Como ya se identificaron las temperaturas ambientales para realizar el estudio se procede a revisar la información que proporciona el datasheet del compresor del frigorífico que se está tomando de referencia y es de allí donde se toman esas 3 primeras temperaturas de condensación y de esta manera se conoce que valores tendrán los diferentes parámetros (potencia calorífica, potencia consumida, potencia frigorífica, COP, temperatura de evaporación), seguido a esto como la temperatura de condensación es directamente proporcional a la temperatura ambiente se procede a conocer las nuevas 6 temperaturas de condensación.

Es importante aclarar que los datasheet de estos dispositivos vienen diseñados con lecturas de comportamiento a temperaturas ambientes de 32°C y voltajes de operación de 115V (Embraco, 2020).

2.6.5 Temperaturas del evaporador.

Como se menciona anteriormente en el mercado actual se puede encontrar frigoríficos que van desde [1 – 4] estrellas, en esta investigación los parámetros que vienen dados por el refrigerador en el que se está desarrollando el proyecto corresponden a un frigorífico de 4 estrellas por lo que se tienen temperaturas de evaporación máximas de -24°C, de acuerdo a diversos estudios consultados se puede afirmar que este tipo de equipos específicos llegaran a una temperatura de evaporación máxima aproximada de -23.3°C, con esta información se escogen tres diferentes temperaturas las cuales fueron:

[-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].

Además, las temperaturas en el evaporador se pueden escoger a partir de las temperaturas de condensación ya que en el ciclo de refrigeración se debe mantener un equilibrio entre la presión de baja y presión de alta por lo que a partir de que se escoge la temperatura de condensación se revisa el datasheet del compresor para conocer la temperatura de evaporación que dicho equipo puede entregar.

2.6.6 Potencia frigorífica y consumida.

Las magnitudes que tendrán estas variables se escogieron a partir de varias fuentes consultadas donde se evidencia que su razón de cambio viene relacionada con la

temperatura ambiente, variación del voltaje, temperatura de condensación y temperatura de evaporación, además, consultando el datasheet del compresor se detecta que estas mediciones contienen un margen de error del $\pm 5\%$ (Embraco, 2020).

2.6.7 Potencia calorífica.

Fundamentalmente este parámetro viene dado por una relación entre la potencia frigorífica y potencia consumida.

$$\text{PotenciaCalorifica} = \text{PotenciaFrigorifica} + \text{PotenciaConsumida} \quad (2)$$

2.6.8 COP (Coeficiente de Rendimiento).

Una de las métricas esenciales en la mayoría de las investigaciones es el COP.

Se trata de tener la noción de consumo eléctrico del refrigerador en base al calor originado por el condensador.

Es preciso mencionar que esta métrica puede tener diversas magnitudes ya que este valor tendrá un margen de error del $\pm 7\%$ (Embraco, 2020) y se puede afirmar de acuerdo a literaturas investigadas que esta variable se ve afectada por las variaciones del voltaje, temperatura ambiente, temperatura en el evaporador y finalmente la temperatura en el condensador.

2.6.9 Algoritmos desarrollados en el entorno de programación IDE Arduino.

En este entorno de programación se realizan dos códigos, el primero para el modulo WiFi esp32 donde se van a cargar datos a 24 canales diferentes, el segundo para el modulo WiFi esp8266 aquí se envían datos a 25 canales distintos.

Cuentan con un retardo de 18 segundos para cada actualización ya que se está realizando el presente proyecto por medio de la licencia gratuita de ThingSpeak y el limitante de tiempo mínimo es de 15 segundos, sin embargo, se precisó 3 segundos más arriba del valor mínimo para evitar errores en el envío.

Este algoritmo principalmente se trata de un contador con bucles if, con el propósito de enviar los datos de entrada a diferentes canales de ThingSpeak.

2.6.10 Gráficos correlacionados.

Los gráficos que contienen cada una de las correlaciones permiten mostrar el comportamiento en operación normal (después de una hora de encendido el equipo) del frigorífico para temperaturas medio ambientales tropicales y fluctuaciones de la red eléctrica domiciliar típica en Neiva-Huila, también parámetros como potencia consumida, potencia frigorífica, potencia calorífica, temperatura de condensación, temperatura de evaporación y coeficiente de rendimiento.

Se identificaron 8 correlaciones las cuales se pueden apreciar en la **Tabla 2- 4**:

Tabla 2- 4: Correlaciones. Fuente: Autores.

Temperatura de condensación.	Potencia calorífica a diferentes temperaturas ambiente.
Temperatura de evaporación.	Temperatura de condensación a diferentes temperaturas ambiente.
Temperatura de evaporación.	Potencia frigorífica a diferentes temperaturas ambiente.
Temperatura de condensación.	Coeficiente de rendimiento (COP) a diferentes temperaturas ambiente.
Temperatura de evaporación.	Coeficiente de rendimiento (COP) a diferentes temperaturas ambiente.
Potencia consumida.	Variaciones de voltaje a diferentes temperaturas ambiente.
Potencia frigorífica.	Variaciones de voltaje a diferentes temperaturas ambientes.
Coeficiente de rendimiento (COP).	Variaciones de voltaje a diferentes temperaturas ambiente.

2.6.11 Criterios para la identificación de las correlaciones.

Los criterios tenidos en cuenta para identificar las correlaciones ya mencionadas:

- Uno de los criterios más importantes fue realizar un estudio profundo de diversas investigaciones sobre el comportamiento del ciclo de refrigeración de un frigorífico doméstico tipo LBP/LST.
- El conocimiento por parte del codirector de este proyecto en el campo de la refrigeración residencial.
- Los datos proporcionados en el datasheet del compresor del refrigerador fue una gran ayuda ya que allí se encuentran los datos de operación en tiempo real (temperatura ambiente de 32°C y voltaje de 115|V) tomados por el fabricante para algunas temperaturas, también los márgenes de error y límites que pueda tener dicho equipo, es importante tener en cuenta esta información ya que a partir de este comportamiento se analiza para temperaturas tropicales y variaciones de voltaje que se encuentran en la red eléctrica domiciliar de la ciudad Neiva-Huila.
- Se identificaron los principales parámetros que afectaban el comportamiento de operación normal del frigorífico (variaciones de voltaje y temperatura ambiente).

De acuerdo a la información descrita anteriormente estas variables se correlacionaron a fin de visualizar el comportamiento a diferentes temperaturas ambientales y fluctuaciones de voltaje en la red eléctrica (parámetros que son parte del problema de investigación).

2.6.12 MatLab®.

Los algoritmos implementados en este programa se hacen directamente desde ThingSpeak ya que esta plataforma cuenta con el Command Window internamente, allí se realizan 8 códigos que corresponden a las correlaciones identificadas.

El uso que se le da a esta programación es la visualización de gráficos correlacionados con convenciones, ejes, colores, actualizados en tiempo real.

2.6.13 ThingSpeak.

En esta plataforma se encuentran los datos cargados a partir de la programación donde fue necesaria la implementación de 49 canales para poder visualizar las gráficas que genera cada una de las variables donde 41 (su descripción se encuentra en la **Tabla 2- 5**) corresponden a gráficas individuales y 8 (su explicación se encuentra en la **Tabla 2- 6**) de correlaciones específicas.

La cantidad de información guardada para garantizar la simulación de datos en operación normal es algo que no tiene mucha trascendencia ya que cuando los algoritmos desarrollados envían información únicamente varían en un [5% - 7%] (Embraco, 2020) , sin embargo, la magnitud que tienen estos datos es donde se evidencia el cambio drástico a diferentes temperaturas ambientales y variaciones de voltaje.

Es importante precisar que la información simulada corresponde a la operación real de una nevera, tomada de las bases de datos que proporcionó el laboratorio especializado y certificado en esta área con la norma ISO 140001 su nombre corresponde a Danfoss Compressor S.A de C.V información que puede ser acreditada por los directores pertenecientes al presente trabajo de investigación ya que laboran con dicha empresa (Efficient Commercial Refrigerator Compressor | Danfoss, n.d.).

Es conveniente mencionar que estos datos son los mismos que se utilizan en el macro proyecto VCTI avalado por la Universidad Antonio Nariño (UAN) en la línea de investigación de eficiencia energética.

De acuerdo a lo mencionado los datos que se envían es como si fueran lecturas tomadas cada 18segundos en el frigorífico que se encuentra en nuestro domicilio.

En el próximo capítulo se habla de manera más profunda sobre este análisis.

Tabla 2- 5: Canales de ThingSpeak. Fuente: Autores.

Canal 1.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 32°C, temperatura de condensador de 54.4°C y voltaje de 115 V. Potencia Frigorífica con Temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia Consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia Calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C].
Canal 2.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 32°C, temperatura de condensador de 54.4°C y voltajes de [115 V, 127V]. Potencia Calorífica con temperatura de evaporador de -13.3°C. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia Frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia Consumida con temperatura de evaporador de -23.3°C.
Canal 3.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 32°C, temperatura de condensador de 54.4°C y voltaje de 127 V. Potencia Consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-18.3°C, -13.3°C]. Potencia Calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].
Canal 4.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 32°C, temperatura de condensador de 54.4°C y Voltaje de 93 V. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia Consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia Calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C].
Canal 5.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 32°C, temperatura de condensador de

	[54.4°C,49.4°C] y voltajes de [93 V, 115V]. Potencia calorífica con temperatura de evaporación de -13.3°C. Coeficiente De Rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de evaporación de -23.3°C.
Canal 6.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 32°C, temperatura de condensador de 49.4°C y voltaje de 115V. Potencia Consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].
Canal 7.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 32°C, temperatura de condensador de 49.4°C y voltaje de 127V. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia Consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C].
Canal 8.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 32°C, temperatura de condensador de 49.4°C y voltajes de [127V, 93V]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador de -13.3°C. Coeficiente De Rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia Consumida con una temperatura de evaporador de -23.3°C.
Canal 9.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 32°C, temperatura de condensador de 49.4°C y voltajes de 93V. Potencia Consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].

	Coeficiente De Rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].
Canal 10.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 32°C, temperatura de condensador de 44.4°C y voltajes de 115V. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia Consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].
Canal 11.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 32°C, temperatura de condensador de 44.4°C y voltajes de [115V, 127V]. Potencia calorífica temperatura de evaporador -13.3°C. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de evaporador de -23.3°C.
Canal 12.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 32°C, temperatura de condensador de 49.4°C y voltajes de 127V. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].
Canal 13.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 32°C, temperatura de condensador de 44.4°C y voltajes de 93V. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C].
Canal 14.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de [32°C,35°C], temperatura de condensador de

	[44.4°C, 57.4°C] y voltajes de [93V, 115V]. Potencia calorífica con temperatura de -13.3°C. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de evaporador de -23.3°C.
Canal 15.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 35°C, temperatura de condensador de [57.4°C] y voltajes de 115V. Potencia Consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].
Canal 16.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 35°C, temperatura de condensador de [57.4°C] y voltajes de 127V. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C].
Canal 17.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 35°C, temperatura de condensador de 57.4°C y voltajes de [127V, 93V]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador de -13.3°C. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de -23°C.
Canal 18.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 35°C, temperatura de condensador de 57.4°C y voltajes de 93V. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].

	Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].
Canal 19.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 35°C, temperatura de condensador de 52.4°C y voltajes de 115V. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C].
Canal 20.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 35°C, temperatura de condensador de 52.4°C y voltajes de [115 V, 127 V]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de evaporador de -23.3°C.
Canal 21.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 35°C, temperatura de condensador de 52.4°C y voltajes de 127 V. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].
Canal 22.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 35°C, temperatura de condensador de 52.4°C y voltajes de 93 V. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C].
Canal 23.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 35°C, temperatura de condensador de

	[52.4°C, 47.4°C] y voltajes de [93 V, 115 V]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador de -13.3°C. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia Consumida con temperatura de evaporador de -23.3°C.
Canal 24.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 35°C, temperatura de condensador de 47.4°C y voltajes de 115 V. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].
Canal 25.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 35°C, temperatura de condensador de 47.4°C y voltajes de 127 V. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C].
Canal 26.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 35°C, temperatura de condensador de 47.4°C y voltajes de [127 V, 93 V]. Potencia calorífica con temperatura de evaporación de -13.3°C. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de evaporación de -23.3°C.
Canal 27.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 35°C, temperatura de condensador de 47.4°C y voltajes de 93 V. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].

	Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].
Canal 28.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 38°C, temperatura de condensador de 60.4°C y voltajes de 115 V. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C].
Canal 29.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 38°C, temperatura de condensador de 60.4°C y voltajes de [115 V, 127 V]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador de -13.3°C. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura en el evaporador de -23°C.
Canal 30.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 38°C, temperatura de condensador de 60.4°C y voltajes de 127 V. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].
Canal 31.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 38°C, temperatura de condensador de 60.4°C y voltajes de 93 V. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C].
Canal 32.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 38°C, temperatura de condensador de

	[60.4°C, 55.4°C] y voltajes de [93 V.115 V]. Potencia calorífica con temperatura de evaporación de -13.3°C. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia Consumida con temperatura de evaporación de -23.3°C.
Canal 33.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 38°C, temperatura de condensador de 55.4°C y voltajes de 115 V. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].
Canal 34.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 38°C, temperatura de condensador de 55.4°C y voltajes de 127 V. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C].
Canal 35.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 38°C, temperatura de condensador de 55.4°C y voltajes de [127 V, 93V]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador de -13.3°C. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de evaporador de -23.3°C.
Canal 36.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 38°C, temperatura de condensador de 55.4°C y voltajes de 93 V. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].

	Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].
Canal 37.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 38°C, temperatura de condensador de 50.4°C y voltajes de 115 V. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C].
Canal 38.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 38°C, temperatura de condensador de 50.4°C y voltajes de [115 V, 127 V]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador de -13.3. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de evaporador de -23.3.
Canal 39.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 38°C, temperatura de condensador de 50.4°C y voltajes de 127 V. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].
Canal 40.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 38°C, temperatura de condensador de 50.4°C y voltajes de 93 V. Potencia frigorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia consumida con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C]. Potencia calorífica con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C].
Canal 41.	Este canal viene predeterminado por las siguientes condiciones temperatura ambiente de 38°C, temperatura de condensador de

	50.4°C y voltajes de 93 V. Potencia calorífica con temperatura de evaporador de -13.3°C. Coeficiente de rendimiento con temperatura de evaporador en el rango de [-23.3°C, -18.3°C, -13.3°C].
--	---

Tabla 2- 6: Canales de Correlaciones ThingSpeak. Fuente: Autores.

Canal correlación 1.	Temperatura de condensación VS potencia calorífica a diferentes temperaturas ambiente.
Canal correlación 2.	Temperatura de evaporación VS temperatura de condensación a diferentes temperaturas ambiente.
Canal correlación 3.	Temperatura de evaporación VS potencia frigorífica a diferentes temperaturas ambiente.
Canal correlación 4.	Temperatura de condensación VS coeficiente de rendimiento (COP) a diferentes temperaturas ambiente.
Canal correlación 5.	Temperatura de evaporación VS coeficiente de rendimiento (COP) a diferentes temperaturas ambiente.
Canal correlación 6.	Potencia consumida VS variaciones de voltaje a diferentes temperaturas ambiente.
Canal correlación 7.	Potencia frigorífica VS variaciones de voltaje a diferentes temperaturas ambiente.
Canal correlación 8.	Coeficiente de rendimiento (COP) VS variaciones de voltaje a diferentes temperaturas ambiente.

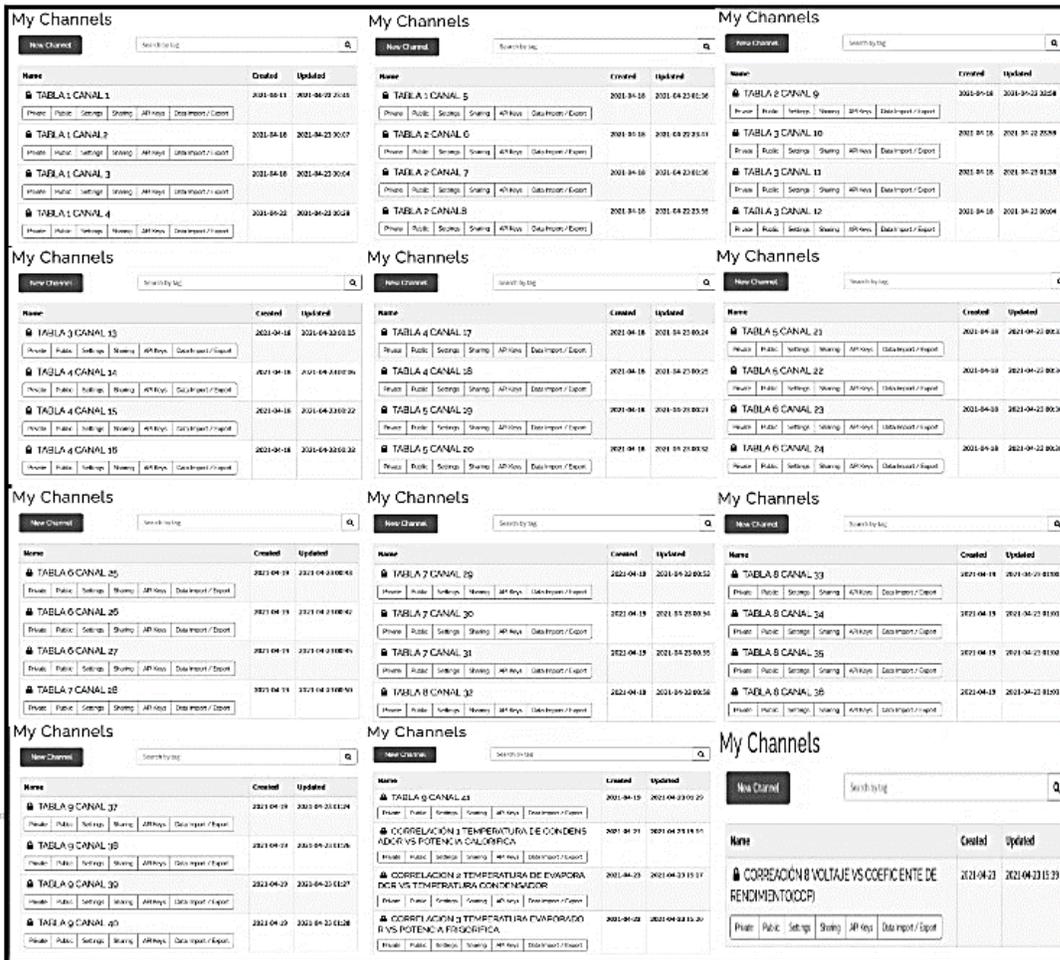
En la **Tabla 2- 7** se encuentran las características de cada uno de los canales descritos anteriormente.

Tabla 2- 7: Caracterización de la licencia gratuita para estudiantes de la plataforma ThingSpeak (IoT). Fuente: Autores.

Características	LIBRE Para pequeños proyectos no comerciales.	ESTUDIANTE Para estudiantes de instituciones que otorgan títulos
Escalable para proyectos más grandes.	X No. El uso anual está limitado.	✓
Numero de mensajes.	3 millones/año (8200/día) ⁽²⁾	33 millones / año por unidad año por unidad (90.000 /Día por unidad) ⁽²⁾
Límite del intervalo de actualización de mensajes.	Cada 15 segundos	Cada segundo
Número de canales.	4	10 por unidad
Tiempo de espera de cálculo de MATLAB.	20 segundos	20 segundos
Número de suscripciones MQTT simultáneas.	Limitado a 3	50 por unidad
Compartir canales privados.	Limitado a 3 acciones	Limitado
Apoyo técnico	Soporte comunitario	Soporte comunitario

En la **Figura 2- 19**. Se pueden observar los 49 canales implementados en el entorno de ThingSpeak.

Figura 2- 19: Canales Implementados en ThingSpeak. Fuente: Autores.



2.6.14 Algoritmos implementados para la visualización de las correlaciones identificadas.

El algoritmo desarrollado para la visualización de las correlaciones es un código en MatLab que tienen los siguientes elementos:

- Se utiliza un comando para leer el canal en el que se va a tomar la información. (readChannelID).
- Se identifican los dos campos que van a llevar los ejes “x, y” de las gráficas.

- Se escogen los datos que se van a correlacionar y además se condiciona la gráfica con el propósito de mostrar las últimas 3 lecturas que se han cargado en el historial del canal.
- Finalmente se ejecuta el comando “plot” para mostrar cada uno de las correlaciones.
- Se le agrega el comando “legend” para distinguir de acuerdo al color que datos representan.

Figura 2- 20: Algoritmo desarrollado en MatLab para la visualización de las correlaciones. Fuente: Autores.

```

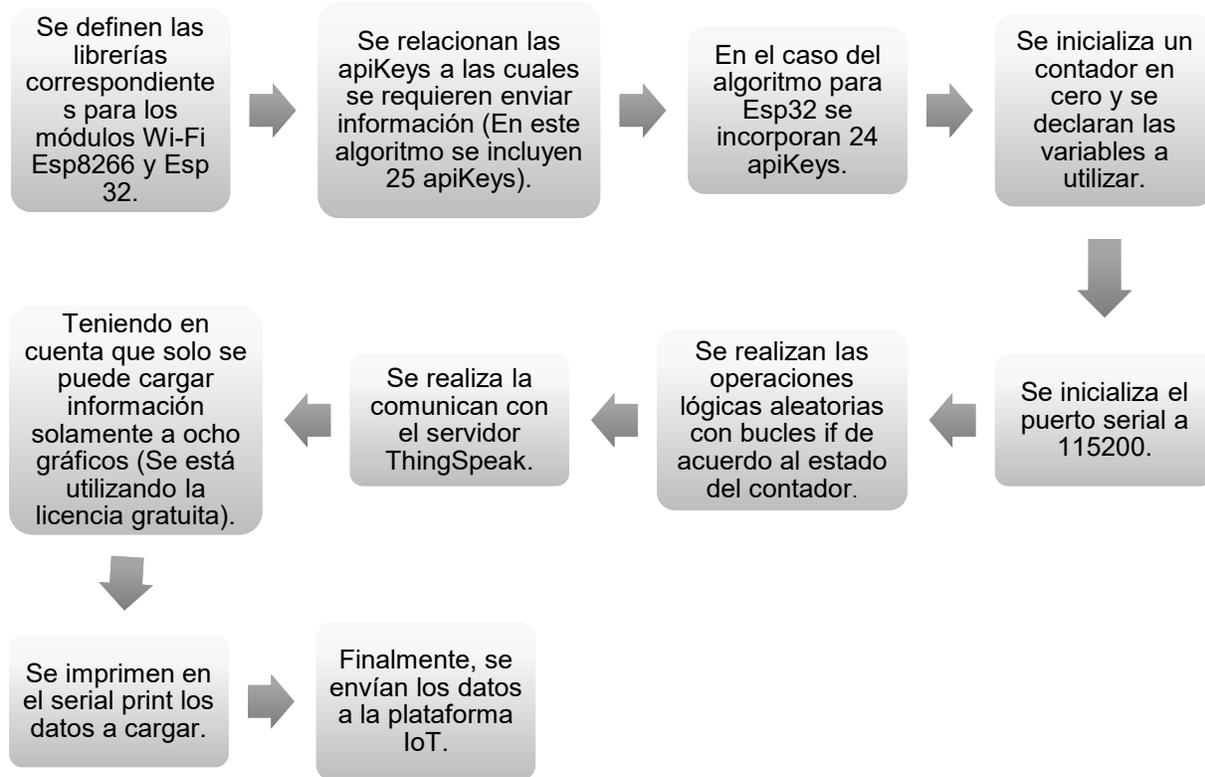
MATLAB Code
1 %Algoritmo Desarrollado por Michael Ibban Garcia Perdomo, Johan Daniel Sterling.
2 %Desarrollo de un algoritmo en matlab.
3 %para la visualizacion de las correlaciones identificadas en ThingSpeak.
4 readChannelID = [];
5 fieldID1 = [];
6 fieldID2 = [];
7 readAPIKey = '';
8 data1 = thingSpeakRead(1369130, 'Field', 1, 'NumPoints', 3, 'ReadKey', 'P6XKBNA6QFGH3S83');
9 data2 = thingSpeakRead(1369130, 'Field', 4, 'NumPoints', 3, 'ReadKey', 'P6XKBNA6QFGH3S83');
10 data3 = thingSpeakRead(1369130, 'Field', 2, 'NumPoints', 3, 'ReadKey', 'P6XKBNA6QFGH3S83');
11 data4 = thingSpeakRead(1369130, 'Field', 5, 'NumPoints', 3, 'ReadKey', 'P6XKBNA6QFGH3S83');
12 data5 = thingSpeakRead(1369130, 'Field', 3, 'NumPoints', 3, 'ReadKey', 'P6XKBNA6QFGH3S83');
13 data6 = thingSpeakRead(1369130, 'Field', 6, 'NumPoints', 3, 'ReadKey', 'P6XKBNA6QFGH3S83');
14 plot(data1, data2, 'color', 'g', 'linewidth', 2);
15 title('VARIACIONES DE VOLTAJE (V). VS COP.')
16 xlabel('\bf VARIACIONES DE VOLTAJE (V).')
17 ylabel('\bf COP.')
18 hold on
19 plot(data3, data4, 'color', 'y', 'linewidth', 2);
20 plot(data5, data6, 'color', 'r', 'linewidth', 2);
21 legend('\bf T.AMB. = 32°C.', '\bf T.AMB = 35°C.', '\bf T.AMB = 38°C.', 'Location', 'southwest')
22 lgd = legend;
23 lgd.FontSize = 6;
24 hold off

```

El propósito de incluir la **Figura 2- 20** que se muestra a continuación es de explicar cada una de las etapas que se colocó a consideración para el correcto desarrollo de los algoritmos de programación de cada uno de los módulos Wi-Fi, además, ya que este trabajo en esencia se trata de programación es necesario incluir un diagrama de bloques y no la codificación completa.

En la **Figura 2- 21** se explicara cada una de las etapas correspondientes a los algoritmos implementados para cada uno de los módulos WiFi escogidos.

Figura 2- 21: Diagrama de bloques correspondiente al algoritmo desarrollado para la programación del módulo Wi-Fi Esp 32 y Esp8266. Fuente: Autores.



Es conveniente resaltar que las operaciones lógicas aleatorias corresponden a la manera de generar datos en el entorno de programación Arduino (IDE Arduino), las cuales corresponden a variar la información con un margen de error en un $\pm 5\%$ para el caso de las potencias (frigoríficas, consumidas, caloríficas) y $\pm 7\%$ para el caso del COP.

Las apiKeys son los códigos únicos de acceso a cada uno de los canales en la plataforma de ThingSpeak (se utilizan para lograr la comunicación y posteriormente la recepción de información), se incluyen 24 y 25 (ya que este fue el número total (49) de canales implementados) y se dividen de esa manera ya que se cuenta con dos módulos WiFi que para el caso de un desarrollo futuro se debe enviar la información recibida por cada uno de los sensores de la instrumentación física.

A continuación, en la **Figura 2- 22** se muestra una parte del código implementado para el envío de la información hacia la plataforma ThingSpeak.

Figura 2- 22: Algoritmo implementado en el entorno de programación IDE Arduino para cada uno de los módulos Wi-Fi. Fuente: Autores.

```
// ALGORITMO DESARROLLADO POR LOS ESTUDIANTES:MICHAELL IBBAN GARCIA FERDOMO - JOHAN DANIEL STERLING PASTRANA.
// UNIVERSIDAD ANTONIO MARIÑO - SEDE: NEIVA - HUILA - INGENIERIA ELECTRONICA.

// Definimos Las Librerias.

#include <WiFi.h>
#include <HttpClient.h>

//-----

// Definimos El Led Del Modulo WiFi.

#define LEDonBoard 2

//-----

// Definimos Las ApiKey de Los Cuatro Canales En Los Que Estaremos Ingresando Los Datos De Entrada.
// Provenientes De La Instrumentacion Virtual.
String apiKey23="A3390K6JVLHA0P67";
String apiKey22="6EBZE8SKROHSEDOE";
String apiKey21="UR4LK7I9XYX3M3UQ";
String apiKey20="TIV92EAAA9P715WB";
String apiKey19="CWL3832MHXGU6ELO";
String apiKey18="LB4785ISIMU1LAV3";
String apiKey17="G8T4QP4I8SV6YPK1";
String apiKey16="2EM2TEDTL1YJM313";
String apiKey15="ATE1D2TDVGUNVC2R";
String apiKey14="2VOIYR8ANF0FAQBF";
String apiKey13="ORTOWEBBCD50X0W8U";
String apiKey12="4TEQ36WPD0KUG1W";
String apiKey11="ANC4QV2803F3CKWB";
```

3. Análisis de los resultados.

En este capítulo se presentan los elementos más significativos que forman parte del cumplimiento de los resultados esperados. Los gráficos que muestran el paso a paso de cada una de las etapas para la definición de las instrumentaciones física y virtual respectivamente se muestran en el capítulo anterior.

La instrumentación virtual para el refrigerador doméstico tiene como punto de partida la identificación de las variables que pueden describir adecuadamente las correlaciones identificadas y finalmente cargadas en el servidor de ThingSpeak. Las variables identificadas tienen en cuenta los parámetros más importantes que intervienen en el ciclo de refrigeración (temperaturas, presiones y variables eléctricas).

Para la configuración de la instrumentación virtual se tomó en consideración la implementación de dos algoritmos en el entorno de programación IDE Arduino para cada uno de los módulos de Wi-Fi, a fin de generar los datos de entrada. Es importante precisar que la aleatoriedad es posible tomando el ruido que se encuentra en el entorno de la ubicación del módulo Wi-Fi. Específicamente se toma en el pin analógico cero (A0) en cada uno de ellos.

El estudio de diversas investigaciones que definen el comportamiento del ciclo de refrigeración de un frigorífico doméstico tipo LBP/LST, así como los datos proporcionados en el datasheet de diferentes fabricantes permiten identificar un grupo de correlaciones fundamentales.

Es importante aclarar que en los **Gráfico 3- 1, Gráfico 3- 2,**

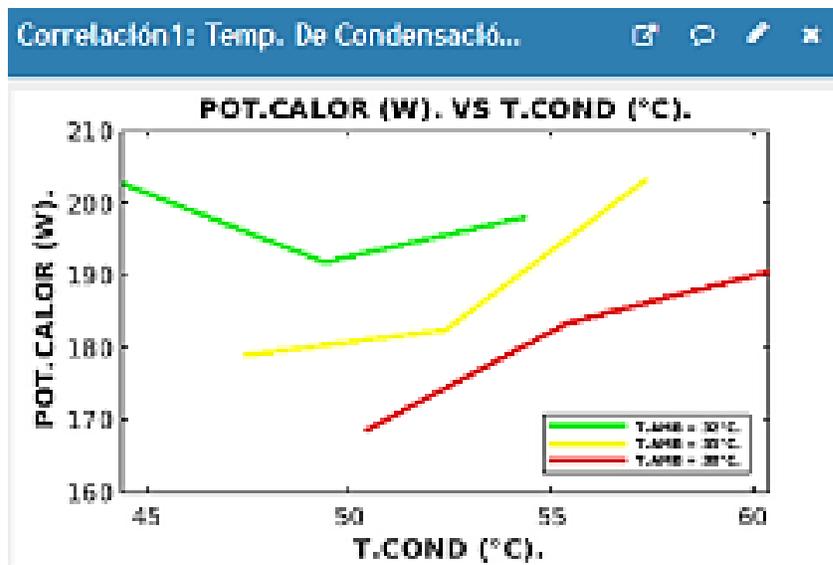
Gráfico 3- 3, Gráfico 3- 4, Gráfico 3- 5, Gráfico 3- 6, Gráfico 3- 7, Gráfico 3- 8 se presentan en algunos casos rectas linealizadas esto ocurre porque los datos simulados corresponden a información de operación real de una nevera domiciliaria por lo que la

aleatoriedad que se le da a la información es la manera de variar en su margen de error que para el caso de las potencias es de $\pm 5\%$ y para el COP $\pm 7\%$ información que puede ser encontrada en el datasheet del frigorífico en el cual se realiza la investigación. (Embraco, 2020)

3.1 Correlación 1.

En esta plantilla se puede visualizar la potencia calorífica relacionada con la temperatura de condensación a diferentes temperaturas ambientes, donde se puede observar la transformación en cada cambio de la temperatura ambiente de esta variable en un intervalo de descenso para la nueva medición entre [3.2% - 5.7%], el comportamiento de la temperatura de condensación es opuesto al anterior ya que para esta variable la variación por cada alteración en el ambiente es de aumento con un margen de [5.51% - 11%]. El coeficiente de correlación lineal de este campo tiene un valor de 0.9549 muy aproximado a 1, de acuerdo a esta información la relación lineal entre estas variables es directamente proporcional. Es preciso señalar que este gráfico tiene una temperatura de evaporación y voltaje constante. Los cambios de la temperatura ambiente como se puede evidenciar afectan de manera considerable a estas variables.

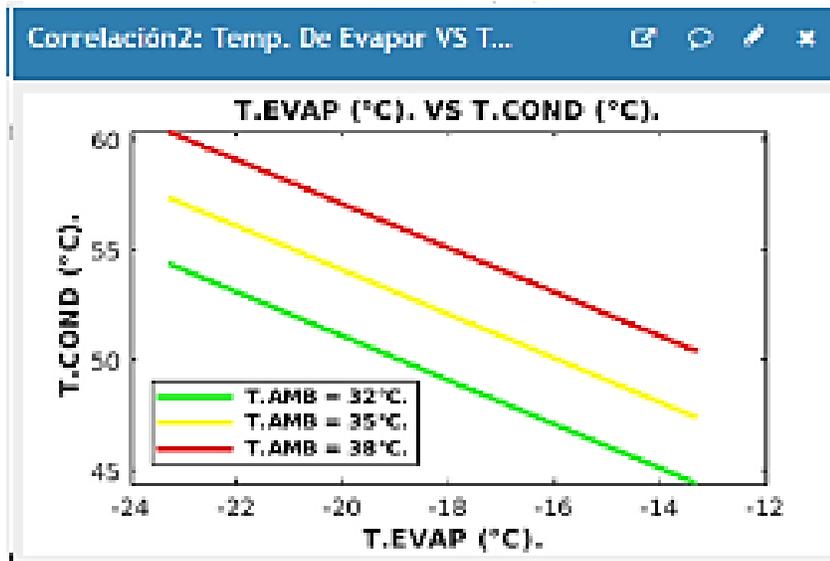
Gráfico 3- 1: Correlación 1 Temperatura de condensación VS potencia calorífica a diferentes temperaturas ambiente. Fuente: Autores.



3.2 Correlación 2.

En este grafico se observa que la temperatura de evaporación y condensación son directamente proporcionales, esto ocurre porque en el ciclo de refrigeración se debe mantener un equilibrio entre la presión de baja y presión de alta. La temperatura de evaporación no cambia con las variaciones en la temperatura ambiente, sin embargo, la temperatura de condensación si se ve afectada entre [5.51% - 11%] de aumento por cada cambio en esta temperatura. El coeficiente de correlación para estas dos variables tiene una magnitud -0.9912 aproximado a -1 de esta manera, la relación lineal es inversamente proporcional.

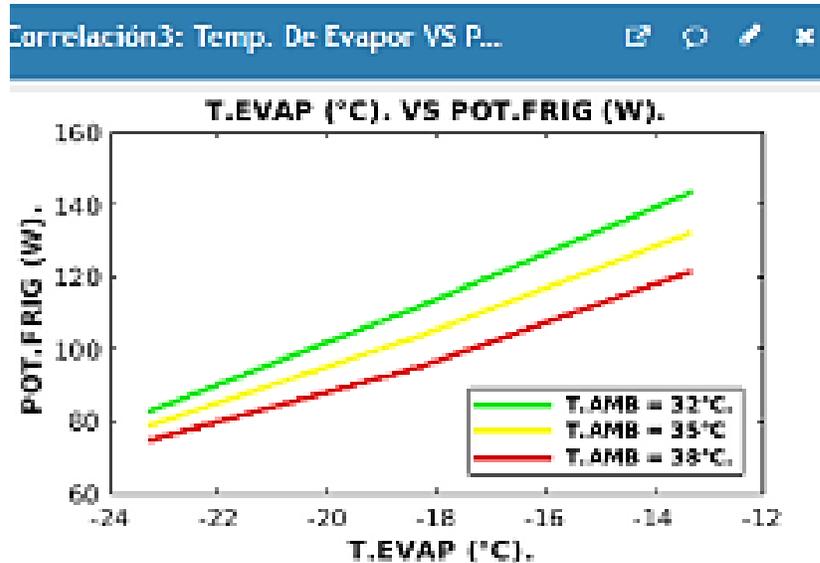
Gráfico 3- 2: Correlación 2 Temperatura de evaporación VS temperatura de condensación a diferentes temperaturas ambiente. Fuente: Autores.



3.3 Correlación 3.

En esta sección se muestra que la potencia frigorífica disminuye en un intervalo [7.69% - 13.61%] a cambios en la temperatura ambiente, por otra parte, la temperatura de evaporación se mantiene fija ya que es un parámetro que no tiene cambios con la temperatura ambiente. El coeficiente de correlación es de 0.9985, las variables tienen una fuerte relación lineal. Es importante aclarar que este esquema tiene una temperatura de condensación y voltaje constante.

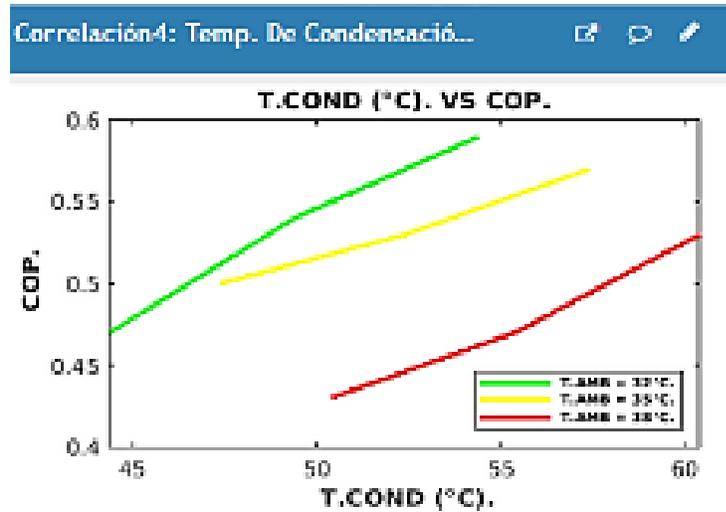
Gráfico 3- 3: Correlación 3 Temperatura de evaporación VS potencia frigorífica a diferentes temperaturas ambiente. Fuente: Autores.



3.4 Correlación 4.

Como se puede visualizar la temperatura de condensación frente a cambios en la temperatura ambiente aumentará entre [5.51% - 11%], por el contrario, el coeficiente de rendimiento (COP) disminuyó en un rango [5.1% - 10.2%]. El coeficiente de correlación lineal tiene una magnitud de 0.9986 conforme a esto las variables son directamente proporcionales.

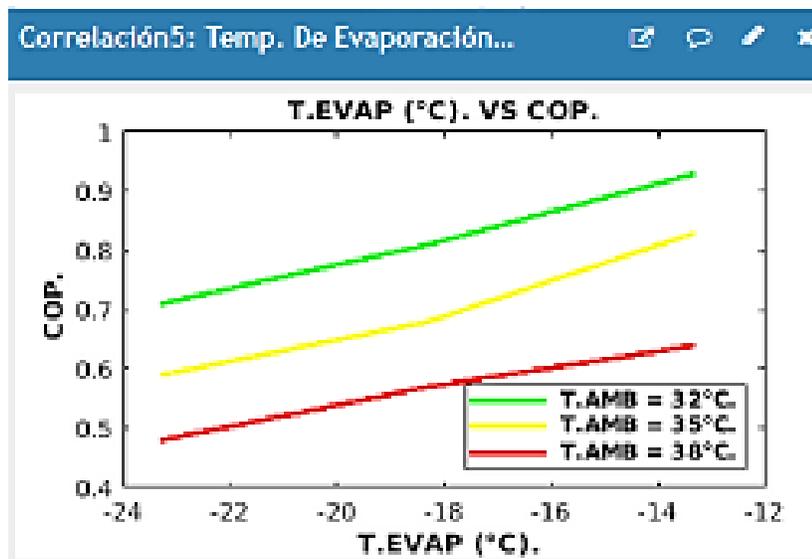
Gráfico 3- 4: Correlación 4 Temperatura de condensación VS coeficiente de rendimiento (COP) a diferentes temperaturas ambiente. Fuente: Autores.



3.5 Correlación 5.

En esta plantilla podemos evidenciar que el coeficiente de rendimiento en base a la temperatura de evaporación a distintas temperaturas ambientales, las variaciones que tiene están entre [7.2% - 29%] de disminución, la temperatura de evaporación es invariante frente a las alteraciones en el ambiente. El coeficiente de correlación se aproxima 1 por lo que la relación lineal es altamente considerable.

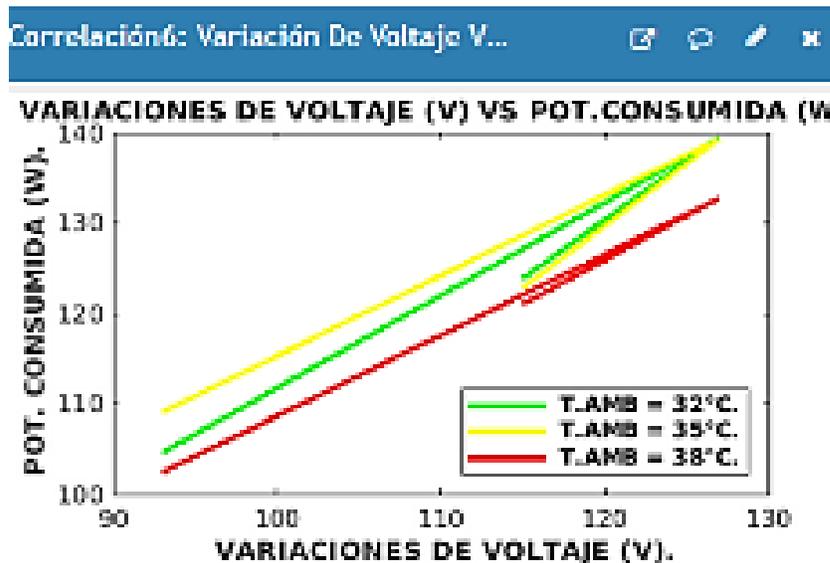
Gráfico 3- 5: Correlación 5 Temperatura de evaporación VS coeficiente de rendimiento (COP) a diferentes temperaturas ambiente. Fuente: Autores.



3.6 Correlación 6.

En este grafico las variaciones de la potencia consumida frente a las variaciones del voltaje a diferentes temperaturas ambiente no son relevantes ya que se encuentran en un rango de descenso [0.5% - 3.3%]. El coeficiente de correlación lineal es 0.9981 aproximado a 1 por lo que estas variables están fuertemente relacionadas.

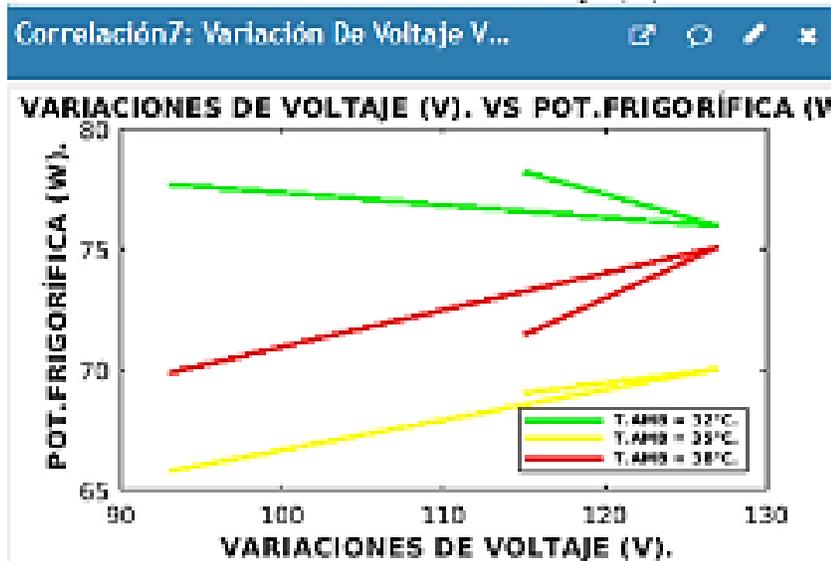
Gráfico 3- 6: Correlación 6 Potencia consumida VS variaciones de voltaje a diferentes temperaturas ambiente. Fuente: Autores.



3.7 Correlación 7.

La potencia frigorífica está altamente influenciada por las variaciones del voltaje ya que decrece en un intervalo [4.2 - 9.9%]. El coeficiente de correlación lineal es aproximado a 1 por lo que estas variables son directamente proporcionales.

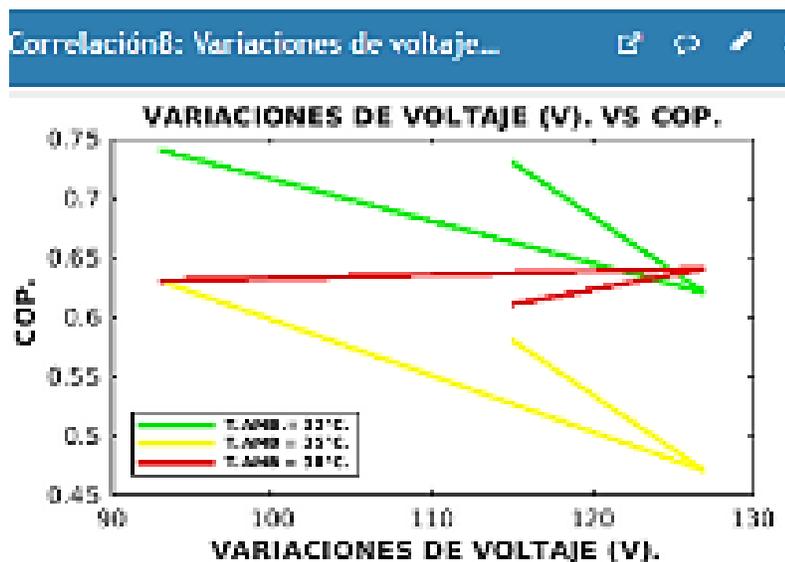
Gráfico 3- 7: Correlación 7 Potencia frigorífica VS variaciones de voltaje a diferentes temperaturas ambiente. Fuente: Autores.



3.8 Correlación 8.

El coeficiente de rendimiento (COP) en relación con las variaciones del voltaje se ve en gran medida afectado ya que tiene un decrecimiento entre [13% - 15.9%]. El coeficiente de correlación lineal es de -0.99, de acuerdo a esta información se evidencia que la relación lineal es alta.

Gráfico 3- 8: Correlación 8 Coeficiente de rendimiento (COP) VS variaciones de voltaje a diferentes temperaturas ambiente. Fuente: Autores.



4. Conclusiones y Recomendaciones.

4.1 Conclusiones.

1. El sistema de visualización y análisis de datos del refrigerador doméstico obtenido permite evaluar su comportamiento en condiciones reales de funcionamiento ya que los datos simulados están basados en información de bases de datos confiables (Efficient Commercial Refrigerator Compressor | Danfoss, n.d.) que modelan el comportamiento de operación real de un frigorífico residencial, representando una alternativa a los altos costos que implica utilizar equipos de laboratorios especializados.
2. Como resultado de la implementación del sistema propuesto, se logró utilizar el lenguaje de cálculo técnico Matlab desarrollado por MathWorks como entorno de programación para el desarrollo de los algoritmos que permiten el análisis del comportamiento de los datos obtenidos integrados en 41 canales de la Plataforma IoT ThingSpeak como interface de visualización.
3. Los módulos de medición, procesamiento y comunicación de datos desarrollados con Arduino Esp 8266 y Esp32 permiten obtener los datos de las 26 variables identificadas cada 18 segundos a partir de una generación aleatoria de valores experimentales.
4. Se identificaron 8 correlaciones de variables que caracterizan el funcionamiento del refrigerador doméstico, entre ellas se tienen las temperaturas ambientes, de condensación, de evaporación, voltaje, potencias calorífica y frigorífica y coeficiente de rendimiento.

4.2 Recomendaciones.

1. Se sugiere adquirir una licencia de pago ThingSpeak ya que en este trabajo fue necesario utilizar 13 correos diferentes debido a que la licencia gratuita sólo permite utilizar 4 canales por correo, además se puede agregar un máximo de 8 gráficos por canal, este número es pequeño cuando se requiere hacer un análisis de correlación por medio de MatLab dado que el análisis debe hacerse con variables de un mismo canal.
2. Se recomienda, cuando las condiciones lo permitan, instalar la instrumentación física, apoyados en la ayuda de expertos para evitar posibles fugas cuando se vayan a introducir los sensores en el ciclo de refrigeración, de lo contrario las mediciones serán incorrectas.

BIBLIOGRAFÍA.

Adi, N., Ibnu, F., & Anggita, B. (2020). *Application of ESP32 as a Media for Learning Ozone Damage in the Form of IoT-Based Ultraviolet Index Readers*. 2(1), 22–29.

American Journal of Sociology. (2017). ESTRATEGIAS PARA LA ORIENTACIÓN DEL DESPLIEGUE DE INTERNET DE LAS COSAS EN EL CONTEXTO COLOMBIANO. *PAOLA ANDREA NIÑO SALAMANCA UNIVERSIDAD*, 53(9), 1689–1699.

Arencibia, K., & Tricio, V. (2014). Evaluación experimental de compresores herméticos en condiciones de clima tropical. Eficiencia y capacidad frigorífica. *Informacion Tecnologica*, 25(2), 103–110. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000200012>

Banks, W. E., & Kay, M. (2003). Estudio plataformas IoT. *Lithic Technology*, 28(1), 27–34.

<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/42812/6/rloureiroTFC0615memoria.pdf%0Ahttp://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/42812/6/rloureiroTFC0615memoria.pdf%0Ahttp://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01977261.2003.11721000%0Ahttp>

Barbosa, sergio daniel, & Gamboa, juan guillermo. (2019). DESARROLLO DE LA INGENIERÍA DE DETALLE DE LA CÁMARA CLIMATIZADA PARA PRUEBAS DE EQUIPOS Y MATERIALES. *Ayan*, 8(2), 2019. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178>

BENÍTEZ, H. F. P. (2020). *DESARROLLO DE UNA LIBRERÍA PARA COMUNICACIÓN CON EL ESTÁNDAR ETHERNET ENTRE LA PLATAFORMA ARDUINO Y UNA APLICACIÓN ORIENTADA A IOT UTILIZANDO SOCKETS*.

Benito, G. (2019). El internet de las cosas IoT. 2019-04-22, 355–375.

- <http://repositorio.une.edu.pe/handle/UNE/4178>
- Berruero, J. P. (2019). EVAUACIÓN DE LAS PLATAFORMAS MASIVAS DE INTERNET DE LAS COSAS Y TEST DE UNA APLICACIÓN PRÁCTICA EN UNA PLATAFORMA SELECCIONADA. *Ángela María Castillo Martínez*.
- Bi, S., Guo, K., Liu, Z., & Wu, J. (2011). Performance of a domestic refrigerator using TiO₂-R600a nano-refrigerant as working fluid. *Energy Conversion and Management*, 52(1), 733–737. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.07.052>
- Bruno, A. (2019). *Esp32 node mcu*. 7.
- Buitrago Herrera, W. A. (2019). *Modelo para la gestión de venta de bienes inmuebles en las notarías de Bogotá, basado en tecnología blockchain, orientado a la seguridad de información*.
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/15781/1/BuitragoHerreraWilliamAntonio2019.pdf>
- C, U. (2017). *Programando directamente un ESP8266*. 52.
- Cerdas, J. D. C. (2015). *Rediseño del Sistema de refrigeración para almacenamiento de producto congelado*.
- Choudhary, P., & Velaga, N. R. (2017). *Comparativa y estudio de plataformas IoT*. 1–9.
- Domínguez Sánchez-Pinilla, M. (2003). Las tecnologías de la información y la comunicación: sus opciones, sus limitaciones y sus efectos en la enseñanza. *Nómadas*, 8, 20.
- Efecto del subenfriamiento en el rendimiento del compresor*. (n.d.). Retrieved March 29, 2021, from <https://www.frionline.net/articulos-tecnicos/68-efect.html>
- Efficient commercial refrigerator compressor | Danfoss*. (n.d.). Retrieved June 4, 2021, from <https://www.danfoss.com/en/products/dcs/compressors/compressors-for-refrigeration/>
- Embraco. (2020). *Compressor technical data*. 17–19.
- ESCOBAR ALBUJA, D. A. (2019). TEMA: “DESARROLLO DE UN SISTEMA WEB SERVICE PARA LA COMUNICACIÓN CROSS LAYER, APLICADO A LA PREVENCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES EN SMART CITIES. *Repositorio.Espe.Edu.Ec*. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15813/1/T-ESPE-040692.pdf>
- F, A. N., Raju, J., & Varsha, V. (2020). *An IoT Based Approach To Minimize And Monitor Air Pollution Using ESP32 and Blynk Platform*. XII(Vi), 558–566.

- Fernanda, K., & Falquez, E. (2019). *Comportamiento del consumo energético en neveras doméstica . Caso de estudio Neiva-Huila*.
- Fernández, P. (2014). *COMPRESORES*. 1–127. es.pfernandezdiez.es/libro/?id=9
- Gustavo, N., & Cobos, J. (2018). *IMPACTO DE LAS POLÍTICAS ENERGÉTICAS EN LA INDUSTRIA DE LA FABRICACIÓN DE REFRIGERADORES DOMÉSTICOS EN LATINOAMÉRICA: CASO MÉXICO, COLOMBIA Y ECUADOR*.
- Guzmán, P. J. V. (2018). *Diseño e implementación de un dispositivo IoT para seguridad de niños*. 121. http://wpd.ugr.es/~jorgenavarro/thesis/2017_TFG_JesusCastillozquierdo.pdf
- Herranz, Á. B. (2019). *Desarrollo de aplicaciones para IoT con el módulo ESP32*.
- Higuera Astudillo, L. A. (2019). *Diseño de una tarjeta de desarrollo con ESP8266 orientada a wireless y microcontroladores para IoT*.
- Holly Moore. (2010). *MATLAB ® para ingenieros*. 619. [http://dea.unsj.edu.ar/control2/matlab para ingenieros.pdf](http://dea.unsj.edu.ar/control2/matlab%20para%20ingenieros.pdf)
- Icontec. (2003). *NTC 5182*.
- ICONTEC. (n.d.). <https://tienda.icontec.org/gp-eficiencia-energetica-en-artefactos-refrigeradores-refrigeradores-congeladores-y-congeladores-para-uso-domestico-ntc5020-2014.html>
- IDEAM. (2020). *CARÁCTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE CIUDADES PRINCIPALES Y MUNICIPIOS TURÍSTICOS*.
- IEC. (n.d.). *IEC 62552-1*.
- Ill, W. J. P. (2001). *Introduction to MATLAB for Engineers*.
- Investigación UAN - Inicio*. (n.d.). Retrieved January 26, 2021, from <http://investigacion.uan.edu.co/>
- IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things*. (n.d.-a). Retrieved January 26, 2021, from <https://thingspeak.com/>
- IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things*. (n.d.-b). Retrieved February 11, 2021, from <https://thingspeak.com/>
- Jara, A. (2018). *Propuestas de mejora del tubo capilar de un refrigerador doméstico para incrementar la eficiencia energética mediante software especializado*. 66. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15740/1/UPS-CT007723.pdf>
- Jara, N, Isaza, C., Gallón, L., & Giraldo, D. P. (2015). *Modelo dinámico para el estudio de la aplicación del plan de renovación de refrigeradores domésticos en colombia*.

October.

Jara, Nelson, Reinoso, F., Isaza, C. A., & Aguinaga, A. (2016). Laboratorio de pruebas para artefactos de refrigeración doméstica en el Ecuador . *ResearchGate*, June. <https://www.researchgate.net/publication/304627346%0ALaboratorio>

Jara, Nelson, Reinoso, F., Isaza, C., Jara, L., Aguinaga, Á., & Moreno, T. (2017). Instrumentación de un Refrigerador Doméstico para El Análisis del Comportamiento de las Variables de Presión y Temperatura de Operación Instrumentation of a household refrigerator for behavior analysis for the variables pressure and temperature of operati. *Revista de La Facultad de Ciencias Químicas*, 18(1390–1869), 1–17.

Kreuzer, F. M., & Wilmsmeier, G. (2014). Eficiencia Energética En América Latina Y El Caribe: Avances Y Desafíos Del. *CEPAL Naciones Unidas*, 562, 391. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4106/S2013957_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lopez, J. (2003). *Normas Ansi / Isa. 1984*, 29. <ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIET/DEIC/Materias/Proyecto de Automatizacion/ANSI ISA - Espa%F1ol Incompleto.pdf>

Luis García, L. C. (2015). Estudio del impacto técnico y económico de la transición de internet al internet de las cosas (IoT) para el caso Colombiano. *Universidad Nacional de Colombia*, 111. [http://www.bdigital.unal.edu.co/50458/1/Estudio Técnico y Económico de la transición de Internet al Internet de las Cosas %28IoT%29 en el caso colombiano.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/50458/1/Estudio_Técnico_y_Económico_de_la_transición_de_Internet_al_Internet_de_las_Cosas_%28IoT%29_en_el_caso_colombiano.pdf)

MATLAB - MathWorks - MATLAB & Simulink. (n.d.). Retrieved February 11, 2021, from <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

Mecánica, C. D. E. I. (2015). *Estudio de los parámetros de operación de un refrigerador doméstico que opera con refrigerantes R600a*.

Mihai, A.-E. (2014). Plataforma Iot Para El Registro De Datos Meteorológicos Y Su Visualización Mediante Una Aplicación Móvil Documento. *Zaguan.Unizar.Es*, 1, 157. <http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUCS/2014/14180/TAZ-TFG-2014-408.pdf>

Ministerio de Minas y Energía. (2010). Resolución No 180919. *Diario Oficial No. 47.728*, 2010(47), 56. http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/RESOLUCI%25C3%2593N_180919_DE_2010.pdf

Ministerio de Minas y Energía. (2020). *Resolucion 40247*.

- Ministerio Federal de Cooperación económica y Desarrollo. (2015). Sistemas de Refrigeración Tutorial para el trabajo en campo. *El Comité Nacional de Productividad e Innovación Tecnológica, A.C. (COMPITE)*, 144. https://energypedia.info/images/2/27/GIZ_Tutorial_Refrigeración_2015.pdf
- Montero-Sarmiento, Romilio; Arencibia-Ávila, K. (2012). Eficiencia energética en equipos de refrigeración. *Romilio Montero-Sarmiento; Karel Arencibia-Ávila País: Morocho, I., & Byron, A. (2016). Instrumentación de un refrigerador doméstico para la toma de datos de presión y temperatura (ECUADOR)*. 87. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13154/1/UPS-CT006801.pdf>
- Número, R. (2003). *decreto 2153 de 1992, decreto 3466 de 1982 y el decreto 2269 de 1993*.
- Ortiz Monet, M. (2019). *IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE PLATAFORMAS EN LA NUBE PARA SERVICIOS DE IoT*. 60.
- OSPINA, J. C. (2014). *METODOLOGÍA PARA OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN NEVERAS SIN ESCARCHA CON LA AYUDA DE UN PROGRAMA DE SIMULACIÓN*.
- Parker Hannifin Corporation. (2011). *Uso de la tabla p-t como herramienta de servicio*. 8.
- PediaPress. (2011). *Sistema de refrigeración por compresión*. 53. <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/17271/1/refrigeracion.pdf>
- Quimobásicos. (n.d.). Retrieved March 29, 2021, from <http://www.quimobasicos.com.mx/>
- Rusmania, N. (2015). *CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DIDÁCTICO A PARTIR DE UN EQUIPO DE REFRIGERACIÓN DOMÉSTICO CON FINES DE ENSEÑANZA EN LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA*. 151, 10–17. <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>
- Sabegh, M. R. Z., & Bingham, C. M. (2019). Impact of Hysteresis Control and Internal Thermal Mass on the Energy Efficiency of IoT-Controlled Domestic Refrigerators. *Proceedings of 2019 the 7th International Conference on Smart Energy Grid Engineering, SEGE 2019*, 103–107. <https://doi.org/10.1109/SEGE.2019.8859886>
- Salazar, J., & Silvestre, S. (2017). Internet de las cosas (IoT) - Cisco. Cisco, 3. <https://core.ac.uk/download/pdf/81581111.pdf>
- Suárez, J. D. D. (2017). *Línea Base del Reglamento Técnico de Etiquetado – RETIQ*

- con el fin de Utilizar la Energía de manera Eficiente en Equipos de Uso Final.* 1–9.
Tipos de refrigeradores y características. (n.d.). Retrieved May 10, 2021, from <https://es.tab-tv.com/?p=1792>
- UPME. (2016). Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017-2022. *Ministerio de Minas y Energía*, 1–157. http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf
- Whitman, W. C., & Johnson, W. M. (2008). *Tecnología de La Refrigeracion-y Aire Acondicionado-Fundamentos-Tomo-1* (p. 368).
- Zubiria, S. V. (n.d.). *Eficiencia Energética de los frigoríficos.*

A.Anexo: Datasheet compressor Embraco.

embraco		COMPRESSOR TECHNICAL DATA	
COMPRESSOR DEFINITION			
Designation	EM 2C46CLC		
Nominal Voltage/Frequency	115-127 V 60 Hz		
Engineering Number	513304550		
A - APPLICATION / LIMIT WORKING CONDITIONS			
1 Type	Hermetic reciprocating compressor		
2 Refrigerant	R-600a		
3 Nominal voltage and frequency	115-127 / 60		[V / Hz]
4 Application type	Low Back Pressure		
4.1 Evaporating temperature range	-35°C to -10°C		(-31°F to 14°F)
5 Motor type	RSCR		
6 Starting torque	LST - Low Starting Torque		
7 Expansion device	Capillary tube		
8 Compressor cooling	Operating voltage range		
		50 Hz	60 Hz
8.1 LBP (32°C Ambient temperature)	Static	-	103 to 140 V
8.2 LBP (43°C Ambient temperature)	Static	-	103 to 140 V
8.3 HBP (32°C Ambient temperature)	-	-	-
8.4 HBP (43°C Ambient temperature)	-	-	-
9 Maximum condensing pressures/temperature			
9.1 Operating (gauge)	7.7	[kgf/cm ²] (109 psig)	/ °C - °F
9.2 Peak (gauge)	9.8	[kgf/cm ²] (139 psig)	/ °C - °F
10 Maximum winding temperature	130	[°C]	
B - MECHANICAL DATA			
1 Commercial designation	1/8	[hp]	
2 Displacement	7.23	[cm ³] (0.441 cu.in)	
2.1 Bore [mm]	24.000		
2.2 Stroke [mm]	16.000		
3 Lubricant charge	150	[ml] (5.07 fl.oz)	
3.1 Lubricants approved			
3.2 Lubricants type/viscosity	MINERAL / ISO5		
4 Weight (with oil charge)	7.7	[kg] (16.98 lb.)	
5 Nitrogen charge	-	[kgf/cm ²]	
C - ELETRICAL DATA			
1 Nominal Voltage/Frequency/Number of Phases	115-127 V 60 Hz 1 ~ (Single phase)		
2 Starting device type	PTC		
2.1 Starting device	8EA14B3/8EA14C3		
3 Start capacitor	-	[µF(VAC minimum)]	
4 Run capacitor	12(180)	[µF(VAC minimum)]	
5 Motor protection	4TM302KFBYY-53		
6 Start winding resistance	5.20	[W at 25°C (77°F)] +/- 8%	
7 Run winding resistance	7.19	[W at 25°C (77°F)] +/- 8%	
8 LRA - Locked rotor amperage (60 Hz)	8.00	[A] - Measured according to UL 984	
9 FLA - Full load amperage LMBP (60 Hz)	2.18	[A] - Measured according to UL 984	
10 FLA - Full Load Amperage HBP (60 Hz)	2.50	[A] - Measured according to UL 984	
11 Approval boards certification	UL		
UPDATE: 29JAN2015		513304550	



COMPRESSOR TECHNICAL DATA

D - PERFORMANCE - CHECK POINT DATA

TEST CONDITIONS: @115V60Hz			ASHRAELBP32 Static		Evaporating temperature -23.3°C (-9.94°F)		(Condensing temperature 54.4°C (129.92°F))		
Cooling capacity +/- 5%			Power consumption +/- 5%	Current consumption +/- 5%	Gas flow rate +/- 5%	EFFICIENCY RATE +/- 7%			
[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]	
490	123	144	84	0.74	1.54	5.87	1.48	1.72	

E - PERFORMANCE - CURVES

TEST CONDITIONS: @115V60Hz			ASHRAE32 Static		(Condensing temperature 35°C (+95°F))					
Evaporating temperature		Cooling capacity +/- 5%			Power consumption +/- 5%	Current consumption +/- 5%	Gas flow rate +/- 5%	EFFICIENCY RATE +/- 7%		
°C	(°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
-35	(-31)	295	74	86	56	0.50	0.92	5.23	1.32	1.53
-30	(-22)	378	95	111	65	0.57	1.19	5.88	1.48	1.72
-25	(-13)	483	122	141	73	0.64	1.51	6.69	1.68	1.96
-20	(-4)	612	154	179	81	0.71	1.92	7.62	1.92	2.23
-15	(+ 5)	771	194	226	89	0.79	2.43	8.67	2.18	2.54
-10	(+14)	964	243	283	96	0.87	3.04	9.80	2.47	2.87

TEST CONDITIONS: @115V60Hz			ASHRAE32 Static		(Condensing temperature 45°C (+113°F))					
Evaporating temperature		Cooling capacity +/- 5%			Power consumption +/- 5%	Current consumption +/- 5%	Gas flow rate +/- 5%	EFFICIENCY RATE +/- 7%		
°C	(°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
-35	(-31)	265	67	78	58	0.52	0.83	4.62	1.16	1.35
-30	(-22)	361	91	106	68	0.60	1.13	5.33	1.34	1.55
-25	(-13)	476	120	139	77	0.68	1.49	6.16	1.55	1.81
-20	(-4)	615	155	180	87	0.76	1.93	7.09	1.79	2.08
-15	(+ 5)	782	197	229	96	0.85	2.46	8.08	2.04	2.37
-10	(+14)	981	247	287	107	0.94	3.10	9.13	2.30	2.68

TEST CONDITIONS: @115V60Hz			ASHRAE32 Static		(Condensing temperature 55°C (+131°F))					
Evaporating temperature		Cooling capacity +/- 5%			Power consumption +/- 5%	Current consumption +/- 5%	Gas flow rate +/- 5%	EFFICIENCY RATE +/- 7%		
°C	(°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
-35	(-31)	229	58	67	57	0.52	0.72	4.05	1.02	1.19
-30	(-22)	328	83	96	66	0.61	1.03	4.77	1.20	1.40
-25	(-13)	446	112	131	80	0.71	1.40	5.58	1.41	1.63
-20	(-4)	587	148	172	91	0.81	1.84	6.45	1.62	1.89
-15	(+ 5)	754	190	221	103	0.91	2.37	7.35	1.85	2.15
-10	(+14)	952	240	279	115	1.02	3.00	8.27	2.08	2.42

embraco**COMPRESSOR TECHNICAL DATA****E - PERFORMANCE - CURVES**

TEST CONDITIONS: @115V60Hz		ASHRAE32 Static			(Condensing temperature 65°C (+149°F))					
Evaporating temperature		Cooling capacity +/- 5%			Power consumption +/- 5%	Current consumption +/- 5%	Gas flow rate +/- 5%	EFFICIENCY RATE +/- 7%		
°C	(°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
-35	(-31)	185	47	54	53	0.48	0.58	3.47	0.87	1.02
-30	(-22)	281	71	82	67	0.59	0.88	4.17	1.05	1.22
-25	(-13)	394	99	115	80	0.71	1.24	4.91	1.24	1.44
-20	(- 4)	528	133	155	93	0.83	1.66	5.68	1.43	1.66
-15	(+ 5)	688	173	202	107	0.95	2.17	6.45	1.63	1.89
-10	(+14)	877	221	257	122	1.08	2.77	7.20	1.81	2.11

embraco**COMPRESSOR TECHNICAL DATA****F - EXTERNAL CHARACTERISTICS**

1 Base plate	Universal EUEM
2 Trayholder	No
3 Connectors	
3.1 SUCTION	6.5 +0.12/-0.08 [mm] (0.256" +0.005"/-0.003")
3.1.1 Material	Copper
3.1.2 Shape	Straight
3.2 DISCHARGE	4.94 +0.08/-0.08 [mm] (0.194" +0.003"/-0.003")
3.2.1 Material	Copper
3.2.2 Shape	Straight
3.3 PROCESS	6.5 +0.12/-0.08 [mm] (0.256" +0.005"/-0.003")
3.3.1 Material	Copper
3.3.2 Shape	Straight
3.4 Oil cooler (Copper)	No [mm]
3.5 Connector sealing	Rubber Plugs

B.Anexo: Relación P-T refrigerante R134a.

SPORLAN		TABLA TEMPERATURA - PRESION REFRIGERANTE - psig						
°C	°F	22 (V)	134a (J)	410A (Z)	502 (R)	507 (P)	404A (S)	407C (N)
-50	-58.0	10.9	21.1	0.4	5.9	4.5	5.5	15.7
-48	-54.4	8.9	20.0	2.1	3.4	3.9	3.0	13.4
-46	-50.8	6.6	18.9	3.9	0.8	0.5	0.2	11.5
-44	-47.2	4.2	17.6	5.8	1.0	2.1	1.3	9.5
-42	-43.6	1.6	16.2	7.9	2.5	3.7	2.9	7.2
-40	-40.0	0.6	14.7	10.1	4.1	5.5	4.6	4.8
-38	-36.4	2.0	13.0	12.5	5.8	7.4	6.4	2.2
-36	-32.8	3.6	11.2	15.1	7.7	9.4	8.3	0.3
-34	-29.2	5.3	9.3	17.9	9.7	11.6	10.4	1.8
-32	-25.6	7.1	7.2	20.8	11.8	13.9	12.6	3.4
-30	-22.0	9.1	4.9	24.0	14.0	16.4	15.0	5.2
-28	-18.4	11.1	2.4	27.4	16.4	19.0	17.5	7.0
-26	-14.8	13.4	0.1	31.0	18.9	21.8	20.1	9.0
-24	-11.2	15.7	1.5	34.8	21.6	24.8	23.0	11.2
-22	-7.6	18.2	3.0	38.8	24.5	28.0	26.0	13.5
-20	-4.0	20.9	4.6	43.1	27.5	31.3	29.2	15.9
-19	-2.2	22.3	5.4	45.4	29.1	33.0	30.9	17.2
-18	-0.4	23.7	6.3	47.7	30.7	34.8	32.6	18.6
-17	1.4	25.2	7.2	50.1	32.4	36.7	34.3	19.9
-16	3.2	26.7	8.1	52.5	34.1	38.5	36.2	21.4
-15	5.0	28.3	9.1	55.0	35.9	40.5	38.0	22.8
-14	6.8	29.9	10.1	57.5	37.7	42.5	39.9	24.3
-13	8.6	31.5	11.1	60.2	39.5	44.5	41.9	25.9
-12	10.4	33.2	12.2	62.9	41.4	46.6	43.9	27.5
-11	12.2	35.0	13.3	65.7	43.4	48.8	46.0	29.1
-10	14.0	36.8	14.4	68.6	45.4	51.0	48.1	30.8
-9	15.8	38.6	15.6	71.5	47.5	53.3	50.3	32.6
-8	17.6	40.5	16.8	74.5	49.6	55.6	52.6	34.4
-7	19.4	42.5	18.0	77.6	51.7	58.0	54.9	36.3
-6	21.2	44.4	19.3	80.8	53.9	60.4	57.3	38.2
-5	23.0	46.5	20.6	84.1	56.2	62.9	59.7	40.2
-4	24.8	48.6	22.0	87.4	58.5	65.5	62.2	42.2
-3	26.6	50.8	23.4	90.8	60.9	68.1	64.7	44.3
-2	28.4	53.0	24.8	94.3	63.4	70.8	67.3	46.4
-1	30.2	55.2	26.3	97.9	65.9	73.6	70.0	48.6
0	32.0	57.5	27.8	101.6	68.4	76.4	72.7	50.8
1	33.8	59.9	29.3	105.3	71.0	79.3	75.5	53.2
2	35.6	62.4	30.9	109.2	73.7	82.3	78.4	55.6
3	37.4	64.9	32.6	113.1	76.5	85.3	81.4	58.0
4	39.2	67.4	34.3	117.1	79.3	88.4	84.4	60.5
5	41.0	70.0	36.0	121.2	82.1	91.6	87.4	63.1
6	42.8	72.7	37.8	125.4	85.1	94.8	90.6	65.8
7	44.6	75.5	39.6	129.8	88.1	98.1	93.8	68.5
8	46.4	78.3	41.5	134.2	91.1	101.5	97.1	71.3
9	48.2	81.2	43.4	138.7	94.2	105.0	100.5	74.1
10	50.0	84.1	45.4	143.3	97.4	108.6	105.5	76.4
11	51.8	87.1	47.5	148.0	100.7	112.2	109.1	79.8
12	53.6	90.2	49.5	152.8	104.0	115.9	112.7	103.3
13	55.4	93.3	51.7	157.7	107.4	119.7	116.4	106.8
14	57.2	96.5	53.9	162.7	110.9	123.6	120.2	110.4
15	59.0	99.8	56.1	167.8	114.4	127.5	124.1	114.1
16	60.8	103.2	58.4	173.0	118.0	131.6	128.0	117.9
17	62.6	106.6	60.8	178.4	121.7	135.7	132.1	121.7
18	64.4	110.1	63.2	183.8	125.5	139.9	136.2	125.7
19	66.2	113.7	65.7	189.4	129.3	144.2	140.4	129.7
20	68.0	117.3	68.2	195.0	133.2	148.6	144.7	133.8
21	69.8	121.1	70.8	200.8	137.2	153.1	149.1	138.0
22	71.6	124.9	73.5	206.7	141.2	157.7	153.5	142.3
23	73.4	128.8	76.2	212.8	145.4	162.3	158.1	146.6
24	75.2	132.7	78.9	218.9	149.6	167.1	162.8	151.1
25	77.0	136.8	81.8	225.2	153.9	172.0	167.5	155.7
26	78.8	140.9	84.7	231.6	158.3	176.9	172.3	160.3
27	80.6	145.1	87.7	238.1	162.7	182.0	177.3	165.0
28	82.4	149.4	90.7	244.8	167.3	187.2	182.3	169.9
29	84.2	153.8	93.8	251.5	172.0	192.5	187.4	174.8
30	86.0	158.2	97.0	258.5	176.6	197.8	192.7	179.8
31	87.8	162.8	100.2	265.5	181.4	203.3	198.0	184.9
32	89.6	167.4	103.6	272.7	186.3	208.9	203.4	190.2
33	91.4	172.1	106.9	280.0	191.2	214.6	209.0	195.5
34	93.2	177.0	110.4	287.5	196.3	220.5	214.6	200.9
35	95.0	181.9	113.9	295.0	201.4	226.4	220.4	206.4
36	96.8	186.9	117.5	302.8	206.7	232.5	226.2	212.0
37	98.6	192.0	121.2	310.7	212.0	238.6	232.2	217.8
38	100.4	197.1	125.0	318.7	217.4	244.9	238.3	223.6
39	102.2	202.4	128.8	326.9	222.9	251.4	244.4	229.5
40	104.0	207.8	132.7	335.2	228.5	257.9	250.7	235.6
41	105.8	213.3	136.7	343.7	234.2	264.6	257.2	241.7
42	107.6	218.9	140.8	352.4	240.0	271.4	263.7	248.0
43	109.4	224.5	144.9	361.2	245.9	278.3	270.3	254.4
44	111.2	230.3	149.2	370.1	251.9	285.4	277.1	260.9
45	113.0	236.2	153.5	379.3	258.0	292.6	284.0	267.5
46	114.8	242.2	157.9	388.6	264.2	299.9	291.0	274.2
47	116.6	248.3	162.4	398.0	270.5	307.4	298.1	281.0
48	118.4	254.5	167.0	407.6	276.9	315.0	305.3	288.0
49	120.2	260.8	171.7	417.5	283.4	322.8	312.7	295.0
50	122.0	267.2	176.4	427.4	290.1	330.7	320.2	302.2
52	125.6	280.3	186.2	447.9	303.6	347.0	335.6	317.0
54	129.2	293.9	196.4	469.2	317.7	364.0	351.5	332.2
56	132.8	307.9	206.9	491.2	332.2	381.5	368.0	347.9
58	136.4	322.5	217.8	514.0	347.1	399.8	385.0	364.2
60	140.0	337.5	229.2	537.6	362.6	418.7	402.6	380.9
62	143.6	353.0	240.9	562.0	378.6	438.4	420.8	398.2
64	147.2	369.0	253.1	587.3	395.1	458.8	439.5	416.1
66	150.8	385.5	265.7	613.5	412.2	480.1	458.9	434.5
68	154.4	402.5	278.7	640.6	429.9	502.1	479.4	453.4
70	158.0	420.1	292.2	668.7	448.2	524.9	500.8	472.9
72	161.6	438.2	306.2	722.0	467.2	549.5	523.2	493.1
74	165.2	456.9	320.7	770.0	486.9	575.0	548.2	513.7



C. Anexo: Tabla de las variaciones del voltaje en la red eléctrica domiciliar de una residencia en la ciudad de Neiva, Huila (500 Lecturas).

Voltaje RMS (V) Día lunes.	Voltaje RMS (V) Día martes.	Voltaje RMS (V) Día miércoles.	Voltaje RMS (V) Día jueves.	Voltaje RMS (V) Día viernes.
115.9	93.6	115.1	127.1	127.6
115.6	115.4	91.2	96.0	127.6
127.8	115.4	115.2	113.1	115.5
115.6	93.5	115.8	115.7	93.6
127.5	115.1	95.7	93.9	115.1
115.4	115.6	115.5	127.6	115.1
115.7	115.5	115.6	115.2	115.4
115.1	115.4	115.9	93.7	93.9
127.9	115.1	100.4	115.3	115.4
114.3	115.5	115.2	93.9	127.7
116.9	115.6	115.3	114.5	93.6
93.6	115.7	115.5	115.1	115.4
127.6	115.3	115.1	115.7	115.5
115.7	115.7	115.1	115.3	100.2
118.5	115.4	110.6	115.6	93.4
115.1	93.5	124.7	127.2	127.9
115.7	115.9	115.6	115.7	127.4
111.8	115.1	115.3	110.3	115.6
115.6	93.0	115.2	127.1	115.1
110.2	115.4	115.4	115.7	93.6
115.5	115.1	115.7	99.8	115.4

115.8	115.3	122.6	115.3	93.4
93.5	93.0	115.4	115.2	115.5
119.9	93.1	115.7	95.7	93.7
115.6	93.8	115.2	115.1	115.6
111.4	115.6	115.6	127.8	115.9
127.7	115.6	116.8	115.5	115.1
115.5	115.5	115.9	115.1	115.2
127.6	115.4	115.7	115.3	119.4
115.7	115.3	115.5	127.4	119.6
120.4	127.2	115.6	115.9	115.2
115.1	115.9	115.5	93.8	116.8
115.9	115.7	114.5	93.8	115.7
125.6	127.4	115.4	119.7	115.3
115.3	115.8	115.7	115.6	113.4
115.5	115.4	115.9	115.9	115.2
122.8	115.4	117.6	115.7	100.3
115.2	115.0	115.4	127.1	115.7
127.9	115.0	115.6	93.1	115.6
115.6	115.3	115.2	93.4	115.8
111.4	115.7	115.4	93.6	115.2
127.2	115.9	115.8	115.9	115.0
127.1	115.7	118.6	115.7	99.0
115.4	115.5	115.7	115.7	115.6
115.8	115.5	115.2	127.3	115.9
116.7	115.7	115.1	115.2	115.7
115.6	115.1	93.6	93.8	127.3
115.2	93.4	115.4	99.6	115.3
115.7	93.5	116.5	115.4	127.4
110.3	115.6	115.6	127.7	115.5
115.7	115.1	93.7	115.3	93.6
93.5	115.8	115.8	93.1	115.8
115.1	115.1	115.9	115.8	127.9
115.5	115.6	93.2	115.2	93.7

115.5	127.7	110.4	119.3	115.5
114.3	115.8	115.6	127.8	127.2
115.7	115.8	115.3	115.9	115.1
115.9	127.6	115.4	122.7	115.1
100.6	115.5	115.7	115.4	117.2
115.4	115.7	93.2	115.1	93.8
115.2	115.9	93.3	115.2	115.9
100.1	127.8	114.5	104.4	115.7
115.7	115.6	115.2	115.7	115.6
115.9	115.7	115.4	115.3	115.4
115.6	127.8	117.7	115.7	113.6
111.3	115.4	115.5	109.3	115.2
93.5	93.6	115.1	115.1	115.1
93.2	115.8	115.3	115.6	115.3
115.8	115.7	127.2	105.7	110.4
119.1	115.5	115.1	115.9	115.8
115.7	127.1	127.6	115.5	115.5
115.1	115.6	127.6	103.1	115.2
115.3	115.7	127.6	115.2	114.6
114.2	127.5	115.4	115.5	115.3
93.8	115.1	127.4	124.8	115.5
93.6	115.3	127.2	115.9	115.1
115.6	115.9	115.4	115.7	115.1
115.2	127.4	93.6	122.6	119.6
115.1	115.6	115.1	115.4	115.2
115.4	115.4	115.2	115.3	115.3
115.7	115.6	115.1	118.1	114.1
115.6	115.7	119.3	115.2	115.2
115.5	115.8	115.9	115.5	115.4
93.8	115.9	114.4	115.8	115.7
115.1	127.1	115.6	119.9	118.9

115.1	115.3	115.3	115.7	115.5
115.3	118.6	115.1	115.6	97.2
115.7	115.7	115.4	116.4	115.1
111.5	110.1	115.9	115.3	115.2
127.6	115.5	115.2	115.1	115.3
127.4	115.1	93.6	126.7	116.5
115.7	110.6	93.6	115.9	115.9
115.4	115.7	93.5	115.5	117.6
93.5	112.4	93.5	125.7	115.4
115.3	115.1	115.5	115.5	115.2
115.2	115.6	115.6	115.5	115.1
115.2	111.1	114.3	115.7	115.6
115.9	115.1	120.1	115.9	115.2
93.9	115.9	127.2	124.5	115.8
127.5	119.5	127.8	99.5	115.4

D. Anexo: Variaciones del voltaje por expertos en el sector de la energía eléctrica. Neiva, Huila.

ECO2SUN S.A.S.
Nít. 901.279.113-0



Neiva, abril 12 de 2021

Señores
Universidad Antonio Nariño.
Ciudad.

Cordial saludo,

ECO2SUN S.A.S. es una empresa que cuenta con expertos en el sector de la energía eléctrica y energías renovables, dedicada al desarrollo de proyectos de ingeniería eléctrica para clientes del sector agropecuario, así como diferentes segmentos del sector de la construcción a nivel nacional, además realiza proyectos de vivienda, centros comerciales, plantas industriales e instituciones educativas.

En los años que llevamos trabajando en el sector eléctrico hemos evidenciando que en la red eléctrica domiciliar suministrada por la empresa ELECTROHUILA se presentan fluctuaciones de voltaje en las diferentes residencias de la región del Huila, además la frecuencia que se presenta en dicha red es de una magnitud de 60 Hz.

Cordialmente,

JUAN CARLOS LOPEZ JOVEN
Gerente
Cel. 3125868281
E-mail: j.carlos_11@hotmail.com

Cra. 10 No. 06 Sur - 21 Zona Industrial – Neiva
Tels. 3125868281 - 3124618247