



# **Desarrollo de un sistema IoT de monitoreo de temperatura, humedad relativa y estado ON/OFF de un cuarto frío de Inversiones Medina Verbel S.A.S**

**Franklin Ibarguen Cabrera  
Sergio Andrés Martínez Contreras**

**Universidad Antonio Nariño**  
Programa Ingeniería Electrónica  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Cartagena, Colombia  
Octubre de 2022

# **Desarrollo de un sistema IoT de monitoreo de temperatura, humedad relativa y estado ON/OFF de un cuarto frío de Inversiones Medina Verbel S.A.S**

**Franklin Ibarguen Cabrera  
Sergio Andrés Martínez Contreras**

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

Director (a):  
M.Sc. Oscar Porto Solano

**Línea de Investigación:**  
Automatización y control

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Cartagena, Colombia  
Noviembre 2022

## **Agradecimientos Sergio Andrés Martínez Contreras**

Agradezco principalmente a mis padres y hermanos que durante toda mi vida como estudiante me han apoyado en cada paso de superación, a mis profesores que tuvieron la paciencia de enseñar con gran amor y a mis amigos que directa o indirectamente me ayudaron con algo que necesitaba para cumplir un objetivo en alguna ocasión.

## **Agradecimientos Franklin Ibarguen Cabrera**

Dedico este trabajo con todo mi amor principalmente a Dios, por haberme dado la vida, fortaleza y sabiduría para permitirme el haber llegado a este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres Armando Ibarguen y Gloria Cabrera por todo su amor y cariño, por creer en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sencillez. Agradezco los sacrificios que afrontaron para poder brindarme la mejor herencia que me pueden dejar los valores y el estudio.

A mi esposa Mahara María Medina, mujer maravillosa que ha estado siempre a mi lado, sobre todo en los momentos más difíciles, y quien me ha motivado para seguir luchando por mis sueños. Agradezco por ese amor incondicional que ha hecho de mí un mejor hombre.

A mis amadas hijas; Alaia Zharick y Zoen Alaia por ser la más bella inspiración y motivación para superarme y poder seguir adelante, siendo un hombre íntegro y ejemplar, porque ellas merecen todo lo bueno de mi vida.

Gracias a todos.



## Resumen

En este proyecto se implementó un sistema de monitoreo para analizar las variables de temperatura, humedad ambiente y estado ON/OFF de los dos compresores del sistema de refrigeración de la bodega de pescados y mariscos de la empresa Inversiones Medina Verbel S.A.S. Se identificaron las condiciones de diseño mediante un levantamiento de información en campo, se diseñó el sistema de monitoreo con arquitectura IoT mediante un sistema embebido ESP8266 el cual contiene una tarjeta Wi-Fi para el envío de la información recolectada de los sensores al servicio en la nube ThingSpeak™, para ser visualizada en una app móvil prototipo desarrollada con MIT App Inventor. Como resultados se obtuvieron bases de datos en la nube ThingSpeak™ del histórico, medición instantánea y detección de límites críticos de temperatura y humedad ambiente del cuarto frío en diferentes periodos de tiempos desde el momento de la instalación, el monitoreo del estado de los compresores del sistema de refrigeración de forma remota, disponer de notificaciones de fallas por correo electrónico. Finalmente se realizó una comparación de los costos y beneficios asociados al sistema tradicional y el propuesto, encontrándose que el diseño propuesto es más económico en un lapso de un año, además el sistema tradicional solo cumple con un 13% de 100% de beneficios que ofrece el sistema diseñado.

**Palabras Clave:** Automatización, Refrigeración de freón, Torre de enfriamiento, Internet de las cosas (IoT)

## Abstract

In this project, a monitoring system was implemented to analyze the variables of temperature, ambient humidity and ON/OFF status of the two compressors of the refrigeration system of the fish and shellfish warehouse of the company Inversiones Medina Verbel S.A.S. The design conditions were identified through a survey of information in the field, the monitoring system with IoT architecture was designed using an ESP8266 embedded system which contains a Wi-Fi card to send the information collected from the sensors to the service in the ThingSpeak™ cloud, to be visualized in a prototype mobile app developed with MIT App Inventor. As results, databases were obtained in the ThingSpeak™ cloud of the history, instantaneous measurement and detection of critical limits of ambient temperature and humidity of the cold room in different periods of time since installation, monitoring of the status of the system compressors, refrigeration remotely, have failure notifications by email. Finally, a comparison of the costs and benefits associated with the traditional system and the proposed one was made, finding that the proposed design is more economical in a period of one year, in addition the traditional system only complies with 13% of 100% of benefits that it offers, the designed system.

**Keywords:** Automation, Freon refrigeration, Cooling tower, Internet of things (IoT)

# Contenido

	Pág.
<b>1 Planteamiento del proyecto .....</b>	<b>16</b>
1.1 Descripción del problema .....	16
1.2 Justificación .....	18
1.3 Objetivos.....	19
1.3.1 Objetivo general .....	19
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
<b>2 Marco referencial.....</b>	<b>20</b>
2.1 Marco teórico.....	20
2.1.1 Sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC).....	20
2.1.2 Monitoreo en sistemas HVAC .....	21
2.1.3 Medio de transmisión del monitoreo HVAC .....	22
2.1.4 Internet de las cosas (IoT).....	23
2.1.5 Sistema embebido .....	25
2.1.6 ThingSpeak™ .....	26
2.1.7 Plataforma MIT App Inventor .....	27
2.1.8 Normas HACCP.....	28
2.1.9 ISO 22000.....	29
2.2 Estado del arte .....	29
<b>3 Desarrollo del proyecto de ingeniería.....</b>	<b>36</b>
3.1 Requerimientos de diseño del sistema de monitoreo .....	36
3.2 Diseño del sistema de monitoreo .....	37
3.2.1 Selección y aplicación de arquitectura de referencia IoT .....	37
3.2.2 Selección de componentes y materiales .....	39
3.2.3 Análisis de circuito y configuraciones de hardware .....	44
3.2.4 Aplicación móvil.....	51
3.3 Implementación .....	52
3.3.1 Hardware en campo .....	52
3.3.2 ThingSpeak™ .....	55
3.3.3 Aplicación móvil.....	57
<b>4 Resultados y discusión .....</b>	<b>62</b>
4.1 Pruebas del sistema de monitoreo .....	62
4.2 Comparación operacional de sistemas anterior y actual .....	65
4.3 Análisis comparativo de costos de los sistemas instalados vs los sistemas anteriores.....	68

<b>5</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>70</b>
5.1	Conclusiones .....	70
5.2	Recomendaciones .....	71
5.3	Trabajos futuros .....	72
5.3.1	Monitoreo del consumo eléctrico del sistema de refrigeración .....	72
5.3.2	Diseño del monitoreo local .....	72
<b>6</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>73</b>
6.1	Anexo 1: Cartas de solicitud de autorización de trabajo de grado.....	73
6.2	Anexo 2: Programación del modulo WiFi del sistema de monitoreo .....	74
6.3	Anexo 3: Certificado de calibración Metrocaribe .....	79
6.4	Anexo 4: Carta de finalización de trabajo de grado .....	81
6.5	Anexo 5: QR de descarga de la App móvil.....	82
6.6	Anexo 3: Carta finalización del proyecto de parte la empresa Medina Verbel S.A. 83	
<b>7</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>85</b>

# Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 2-1. Diseño modular de un sistema HVAC .....	20
Figura 2-2. Esquema de sistema de monitoreo HVAC .....	21
Figura 2-3. Internet de las cosas .....	23
Figura 2-4. Internet de las cosas .....	24
Figura 2-5. Placa Arduino .....	25
Figura 2-6. Entorno de desarrollo de Arduino .....	26
Figura 2-7. Modelo de sistema acoplado a plataforma ThingSpeak™ .....	27
Figura 2-8. Interfaz de diseño de algoritmo de APP inventor .....	28
Figura 2-9. Arquitectura del sistema. ....	30
Figura 2-10. Panel Principal del Sistema .....	30
Figura 2-11. A) Diagrama esquemático – Circuito electrónico del sistema y B) Arquitectura de conexión aplicación BLYNK. ....	32
Figura 2-12. Diagrama de bloques del sistema propuesto. ....	33
Figura 3-1. Arquitectura de referencia de IIoT .....	38
Figura 3-2. Módulo de temperatura & humedad relativa DHT22 y señal digital de comunicación. ....	40
Figura 3-3. Tarjeta NodeMCU ESP8266 (izquierda), Raspberry Pi 3 B+ (derecha) .....	41
Figura 3-4. Pinout de NodeMCU ESP8266.....	42
Figura 3-5. Sistema IoT con ambiente de desarrollo de MathWorks. ....	43
Figura 3-6. Esquemático del sistema de monitoreo capa de captación .....	45
Figura 3-7. Conversión análogo digital de sensor DHT22.....	45
Figura 3-8. Voltaje de saturación de colector - emisor vs. Corriente en directa del LED .	47
Figura 3-9. Conexión optoacopladores. ....	48
Figura 3-10. Diagrama de flujo de algoritmo implementado en la ESP8266 .....	50
Figura 3-11. Diagrama de flujo de la aplicación móvil .....	51
Figura 3-12. Hardware del sistema de monitoreo .....	53
Figura 3-13. Esquemático de ubicación del sensor DHT y la tarjeta ESP8266. ....	54
Figura 3-14. Diagrama de bloques ThingSpeak™.....	55
Figura 3-15. Matriz de configuraciones generada por ThingSpeak™ .....	56
Figura 3-16. Aplicación móvil del sistema de monitoreo. ....	59

Figura 3-17. Configuración del React Alarma.....	60
Figura 3-18. Configuración del ThingHTTP AltaTemperatura .....	61
Figura 3-13-19. Diagrama de flujo de Configuración del React Alarma.....	61
Figura 4-1. Estado ON/OFF monitoreo y humedad .....	62
Figura 4-2. Gráfica de humedad.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 4-3. Grafica de temperatura a) 16:10 y b) 16:20 en el servidor ThingSpeak™ .....	63
Figura 4-4 Ultima versión de la App .....	64

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 3-1. Características del sensor DHT22 .....	40
Tabla 3-2. Especificaciones técnicas de los dispositivos embebidos. ....	41
Tabla 3-3. Características de la tarjeta NodeMCU ESP8266.....	42
Tabla 4-1. Muestreo por 10 minutos de recolección.....	62
Tabla 4-2. Comparativa de sistema instalado y sistema propuesto .....	67
Tabla 4-3. Pagos de horas extras festivas al año a empleados.....	68
Tabla 4-4. Costos de sistema de monitoreo anterior (Controlador MT512Ri) .....	68
Tabla 4-5. Costos de sistema de monitoreo propuesto (con ESP8266) .....	69

## Lista de ecuaciones

Ecuación 1 .....	46
Ecuación 2 .....	46
Ecuación 3 .....	46
Ecuación 4 .....	46
Ecuación 5 .....	47
Ecuación 6 .....	48
Ecuación 7 .....	48
Ecuación 8 .....	48
Ecuación 9 .....	49
Ecuación 10 .....	49
Ecuación 11 .....	49
Ecuación 12 .....	49
Ecuación 13 .....	49

# Introducción

Conservar alimentos a temperaturas por debajo de 0°C se tiene en la actualidad como una de las formas más seguras de conservar alimentos en buen estado por largos periodos de tiempo, lo que permite su almacenamiento y distribución. Por ello ha sido importante implementar soluciones para monitorear la temperatura, con el fin de verificar que se encuentre en un rango adecuado. Las condiciones cada vez más exigentes del mercado que solicita esta tecnología ha generado diversas innovaciones orientadas a automatizar el monitoreo y análisis teniendo en cuenta las necesidades específicas presentadas por las empresas, centros industriales o lugares con estos tipos de aplicación (Mite Cruz, 2018). El Internet de las cosas (IoT – *Internet of Things*) es tendencia y puede considerarse un concepto ambicioso con repercusiones tecnológicas y sociales (Guachi Sanipatin, 2017). Lo mismo afirma en (Ramírez Madrid y Rodríguez Hernández, 2016) desde la perspectiva de la normalización técnica puede determinar funcionamientos automáticos capaces de hacer ejercicios que mantengan un orden a la hora de supervisar equipos de refrigeración.

Las desventajas de realizar la medición de temperatura con sistemas de monitoreo de lectura estática y en campo en cuartos fríos usados para la conservación y preservación del pescado de la empresa Inversiones Medina Verbel S.A.S. en la ciudad de Cartagena de Indias ha impulsado el desarrollo de este proyecto. Entre las limitaciones halladas están la estricta necesidad de las horas de un operario que frecuentemente durante los días laborales y no laborales verifique el correcto funcionamiento del sistema de enfriamiento, la ausencia de alertas de fallas, el no almacenamiento del histórico de la medición, la falta de un sistema integrado de medición, y el alto costo operativo.

La población beneficiada con este proyecto son las empresas que cuentan con sistemas de refrigeración tales como: fabricantes y distribuidores de alimentos perecederos, el sector de la salud, entre otros. La ciudad de Cartagena tiene índices de humedad promedio

en el año entre 77% – 85% y temperatura ambiente entre 25°C y 35°C (EPA Cartagena, 2014), las cuales son condiciones medioambientales inadecuadas para el almacenamiento de productos perecederos, creando la necesidad de la utilización de cuartos fríos y sistemas de monitoreo de temperatura, humedad y funcionamiento para garantizar la conservación de los alimentos exigido por el INVIMA dentro de la ISO 22000, siendo la cadena de frío, clave en la seguridad alimentaria para los productos que lo requieran.

Se desarrollará un sistema de monitoreo para las variables temperatura, humedad relativa y estado ON/OFF del cuarto frío de Inversiones Medina Verbel S.A.S mediante arquitectura IoT que involucra el uso de tecnologías de hardware embebido, conexiones WiFi IEEE 802.11, almacenamiento de datos en la nube o *Data Cloud*, aplicación web o *Front end* en escritorio, aplicación móvil o *app*, sistemas de sensores. Es necesario luego realizar la implementación y diagnóstico del sistema de monitoreo diseñado por medio de pruebas de campo y finalmente la evaluación de costos y efectividad del sistema de monitoreo actual y el sistema de monitoreo diseñado.

En el capítulo 1 se describe el planteamiento del problema, justificación y objetivos. Siguiendo a ello, en el capítulo 2 se muestra el marco teórico que contiene las definiciones y conceptos pertinentes en el proyecto, descripción de los sistemas de refrigeración, monitoreo, telecomunicaciones y normas de manejo de alimentos. Además, contiene el estado del arte con los principales trabajos relacionados a la temática. El capítulo 3 es el desarrollo del proyecto de ingeniería el cual sigue el modelo de referencia utilizado en la Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica de la UAN conocido como CDIO: Concebir – Diseñar – Implementar – Operar. El primer paso es entonces concebir el problema mediante la determinación de los requerimientos del sistema, posterior a esto se realiza el diseño ajustado como una solución al problema planteado. Luego de esto se procede a realizar la implementación del mismo con los componentes de software y hardware adecuados para ello y finalmente en la fase de operación desarrollada en el capítulo 4 se procede a realizar la evaluación de costos y efectividad del sistema de monitoreo actual de Inversiones Medina Verbel S.A.S y el sistema de monitoreo previamente implementado. Este proceso conlleva necesariamente a un análisis cuantitativo involucrado con el análisis del comportamiento de las variables de temperatura, humedad y estado ON/OFF del sistema de refrigeración en el tiempo en

momentos específicos y críticos permitiendo la supervisión de manera remota de las condiciones operacionales del cuarto frío garantizando el servicio prestado por la empresa. Finalmente se concluye en el capítulo 5, se continua con la bibliografía que soporta el planteamiento del proyecto y se muestran luego los documentos anexos.

# 1 Planteamiento del proyecto

La primera parte de este documento comprende la descripción del problema que conllevó a realizar este proyecto, los objetivos que se plantearon y las motivaciones a modo de justificación.

## 1.1 Descripción del problema

Las bajas de temperatura son sin duda alguna, un motivo de gran importancia y clave en la disminución celular y molecular en alimentos como las carnes rojas, carnes blancas, verduras, provocando así procesos de descomposición y maduración se detengan o se pausen y los alimentos se conserven preservando la calidad de los alimentos (Mite Cruz, 2018)

En este caso, se está hablando de alimentos perecederos, “Los productos alimenticios, por su composición, características fisicoquímicas y biológicas, están sujetos a diversos cambios a lo largo de un determinado período de tiempo y, por tanto, requieren de condiciones específicas para su transformación, almacenamiento, conservación, manejo, transporte y comercialización” (Ayala Cavanzo y Pulido Serrano, 2021)

En la región caribe, el sentido de implementar equipos de refrigeración se halla unido a sendas iniciativas de empresarios del pescado y del marisco de origen local, situado en las tradiciones del mar y lagunas que atraviesan el relieve caribeño, a eso se añade ser el segundo país más biodiverso del mundo. La cámara de comercio intenta abrir espacios de competitividad, de relacionar los sectores con el fin de cimentar calidad en la presentación de los productos. De acuerdo con lo dicho en el 2022 por el ministerio de agricultura, el consumo per cápita en la costa caribe está en 7 kilos por año (MinAgricultura, 2022). De esta forma se hace imperante controlar desde cualquier sitio los dispositivos que cualquier empresa necesite y tratando de hacer más simple los procesos productivos y logísticos para mantener la cadena de frío de estos alimentos que son altamente consumidos por el Caribe colombiano.

En tal caso estos alimentos tienen exigencias sanitarias por tanto se debe hacer uso de la tecnología para su conservación y manipulación según el Invima (Ministerio de salud y

protección social, 2013) en la resolución 2674 DE 2013. La resolución antes mencionada, dictaminó normas al respecto, ya que establece los requisitos de carácter sanitario que deben cumplir las personas naturales y/o jurídicas que realicen la producción, elaboración, elaboración, envasado, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de alimentos y alimentos crudos, así como la notificación, licenciamiento e higiene de los alimentos. o requisitos de registro, según el grado de peligrosidad para la salud pública, a fin de proteger la vida y la salud humana.

Los sistemas deben dar solución a problemas de cadenas de frío, por lo cual la medición de la temperatura de los cuartos fríos ha sido motivo de investigación a lo largo de los años, enfocándose donde tienen pérdida y no es evidenciable el motivo de esas pérdidas. Por lo tanto, surge este problema de investigación donde se buscará responder la siguiente pregunta problema. Con base en las características del sistema actual presente en la empresa Inversiones Medina Verbel S.A.S:

¿Cómo desarrollar e implementar un sistema con arquitectura IoT que mejore el sistema de monitoreo actual de temperatura y permita además medir humedad relativa y determinar el estado ON/OFF del cuarto frío reduciendo costos de operación?

## 1.2 Justificación

La motivación para el desarrollo de este proyecto es abordar la problemática relacionada con las desventajas de realizar la medición de temperatura con sistemas de monitoreo de lectura estática y en campo en cuartos fríos usados para la conservación y preservación del pescado de la empresa Inversiones Medina Verbel S.A.S. en la ciudad de Cartagena de Indias. Entre estas desventajas están la estricta necesidad de las horas de un operario que frecuentemente durante los días laborales y no laborales verifique el correcto funcionamiento del sistema de enfriamiento, la ausencia de alertas de fallas, el no almacenamiento del histórico de la medición, la falta de un sistema integrado de medición, y el alto costo operativo.

Las nuevas tecnologías como la computación en la nube, el IoT, los sistemas embebidos, el control automático, las telecomunicaciones, industria 4.0 han influido directamente en la vida de las personas y de la sociedad, por eso la injerencia de la ingeniería en la mejora e implementación de soluciones a los diversos problemas cotidianos a los que se enfrentan las personas es fundamental (Gargallo López y Suárez Rodríguez, 2017).

La población beneficiada con este proyecto son las empresas que cuentan con sistemas de refrigeración tales como: pescaderías, carnicerías, hoteles, distribuidoras de bebidas, supermercados, minimarkets, tiendas, farmacias, clínicas, hospitales. Y además con ciertas modificaciones a los tipos de sensores, la aplicabilidad de la arquitectura y el modelo del proyecto puede ser extensiva para cientos de procesos más que requieran monitoreo de variables de sus productos mediante el internet de las cosas. La ciudad de Cartagena tiene índices de humedad promedio en el año entre 77% – 85% y temperatura ambiente entre 25°C y 35°C (EPA Cartagena, 2014), las cuales son condiciones medioambientales inadecuadas para el almacenamiento de productos perecederos, creando la necesidad de la utilización de cuartos fríos y sistemas de monitoreo de temperatura, humedad y funcionamiento para garantizar la conservación de los alimentos exigido por el INVIMA dentro de la ISO 22000, siendo la cadena de frío, clave en la seguridad alimentaria para los productos que lo requieran.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Desarrollo e implementación de un sistema de medición remota de temperatura, humedad y estado ON/OFF del cuarto frío de Inversiones MedinaVerbel S.A.S. que permita el reporte de fallas mediante arquitectura IoT y aplicación móvil procurando la reducción de costos de monitoreo.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- 1) Diseñar un sistema de monitoreo para las variables temperatura, humedad relativa y estado ON/OFF mediante arquitectura IoT.
- 2) Implementación y diagnóstico del sistema de monitoreo diseñado.
- 3) Evaluación de costos y efectividad del sistema de monitoreo actual de Inversiones Medina Verbel S.A.S y el sistema de monitoreo diseñado.

## 2 Marco referencial

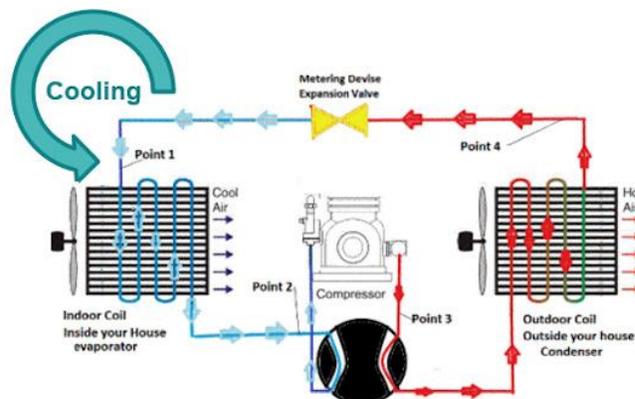
El presente capítulo tiene como finalidad exponer el marco teórico en donde se abordan los principales referentes conceptuales necesarios para el desarrollo del proyecto, pasando por el funcionamiento de los sistemas de refrigeración, los sistemas de monitoreo, tecnologías de telecomunicaciones y normas de manejo de alimentos. A continuación de esto, se expone en otro subcapítulo el estado del arte, el cual, en lo mejor de la búsqueda realizada en bases de datos, libros, repositorios disponibles resume los principales trabajos relacionados con los sistemas de monitoreo y de refrigeración.

### 2.1 Marco teórico

#### 2.1.1 Sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC)

HVAC del inglés Heating – Ventilation - Air conditioning, es un sistema que consta de muchos dispositivos, los cuales están destinados a generar o proporcionar un flujo de aire esencial para enfriar o calentar de forma sostenible un espacio específico. De hecho, esto es necesario para mantener niveles confiables de temperatura, humedad y calidad del aire requeridos por el usuario, completamente independientes de las modificaciones en el entorno externo y el entorno establecido por el usuario (Seiter, 2021).

Figura 2-1. Diseño modular de un sistema HVAC



Fuente: Siemens Software

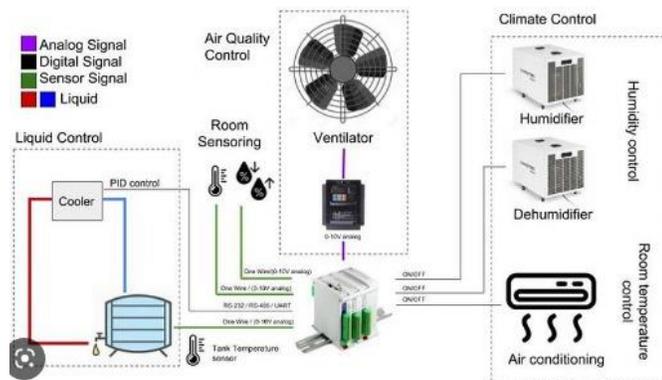
En este sentido, el campo de los sistemas HVAC, sistemas de climatización, está muy demandado en los hogares y se acerca a los sistemas inteligentes que pasan por viviendas y oficinas. Por lo tanto, se afirma que funcionan en los sistemas avanzados e inteligentes de las grandes industrias manufactureras, incluidos los sistemas espaciales para el aire acondicionado de las naves espaciales. Estos tipos de dispositivos son necesarios, lo que sugiere que existe un campo de actividad más amplio cuando se trata de implementar el diseño de HVAC y los tipos de usuarios a los que está destinado. Por ejemplo, en esta pieza entramos en una cámara climática para conservar camarones y pescado. También se utiliza para conservar productos perecederos en operaciones de congelación rápida e industrias a gran escala.

Estos requisitos sirven para converger varias variables como temperatura y humedad del aire, además, de filtración de partículas en el aire como lo establece (Marriaga Barroso, 2018).

### 2.1.2 Monitoreo en sistemas HVAC

Es el encargado de recolectar información sobre las variables que pueden afectar el funcionamiento del sistema de variables ambientales, por medio de sondas y sensores. Estos datos se transmiten tanto de forma instantánea como por consulta o solicitud en el sitio web (Paez-Logreira, Ramirez-Cerpa, Diaz-Charris, Lopez-Torres, y Miranda-Pupo, 2017). Además del análisis de confort, este tipo de dispositivos analiza voltaje, corriente, humedad, temperatura, flujo de aire, presión y calidad del aire.

Figura 2-2. Esquema de sistema de monitoreo HVAC



Fuente: (Thompson Fernando., 2017)

### **2.1.3 Medio de transmisión del monitoreo HVAC**

En general, en comunicación y cualquier tipo de sistema de monitoreo, se requiere un medio de transmisión para enviar los datos adquiridos al dispositivo central. Se pueden clasificar en dos grandes categorías:

#### **2.1.3.1 Transmisión alámbrica guiada**

Consiste en un soporte de datos físico que conecta el dispositivo de recopilación de datos a otro dispositivo o a un dispositivo central. Así es como enruta la señal de un extremo al otro. Dado que los cables se utilizan para el transporte, este tipo de transmisión también se conoce como cables. Los medios utilizados son los siguientes:

Par trenzado formado por conductores de cobre trenzados y aislados. Estos tipos de cables con amplificadores de señal pueden recorrer varios kilómetros. Estos cables de par trenzado se utilizan tanto para analógico como para digital. Y el ancho de banda se puede ajustar según el grosor del cable y la distancia acumulada. Como ya se mencionó, han sido ampliamente utilizados durante varios años. (Burbano Baez, 2016)

También es adecuado para cables coaxiales y fibras ópticas, tiene un centro de vidrio, recubierto con una capa de vidrio con menos refracción, los datos, los pulsos de luz se envían a través del núcleo, debe tener una unidad de transmisión y un receptor para convertir la eléctrica. en pulsos de señal. Tiene ventajas en el ancho de banda de transmisión sin interferencias electromagnéticas.

#### **2.1.3.2 Transmisión inalámbrica**

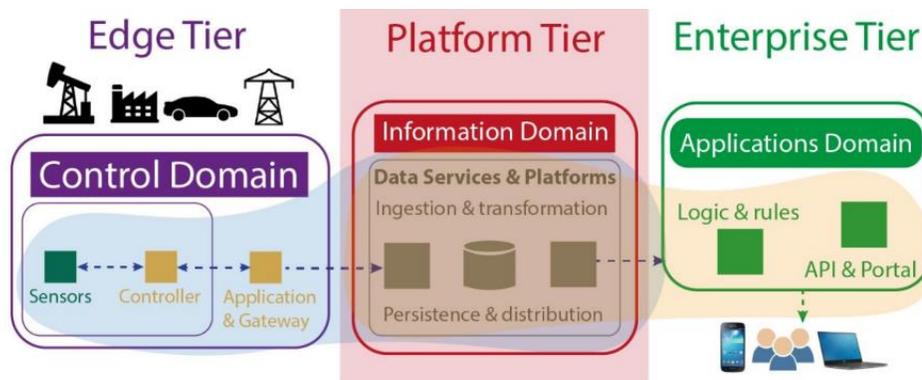
En este tipo de comunicación el medio de transmisión es por ondas; se manifiesta en varios caminos donde se propaga libremente, no necesita de un medio físico que lo guíe de extremo a extremo. Estas acciones le dan una mayor movilidad debido a que no tiene que estar en un solo lugar y es portable o móvil. Para (Marriaga Barroso, 2018) es



### 2.1.4.1 Arquitectura de IoT

La arquitectura del internet de las cosas es menester que cumpla ciertos estándares para que la tecnología sea aplicable, entre los cuales: Debe ser entregado (capa de intercambio de datos), lo que implica que la información pueda provenir de actuadores y sensores en diferentes regiones del mundo (clase de detección), para que sea analizada por diferentes servidores y máquinas (capa de integración de la información) y finalmente visualizada por el usuario (capa de servicio de aplicación) (Salazar y Silvestre, 2017). En la (Figura 2.4 Internet de las cosas) estos objetos también deben poder interactuar entre sí, lo que agrega escalabilidad, eficiencia y seguridad. En algún momento, la tecnología IoT sigue funcionando, especialmente para aumentar la seguridad del tráfico de datos. (Consortium, 2017)

Figura 2-4. Internet de las cosas



Fuente: *Industrial Internet Consortium* (2017)

### 2.1.4.2 Tarjeta NodeMCU V 3.0

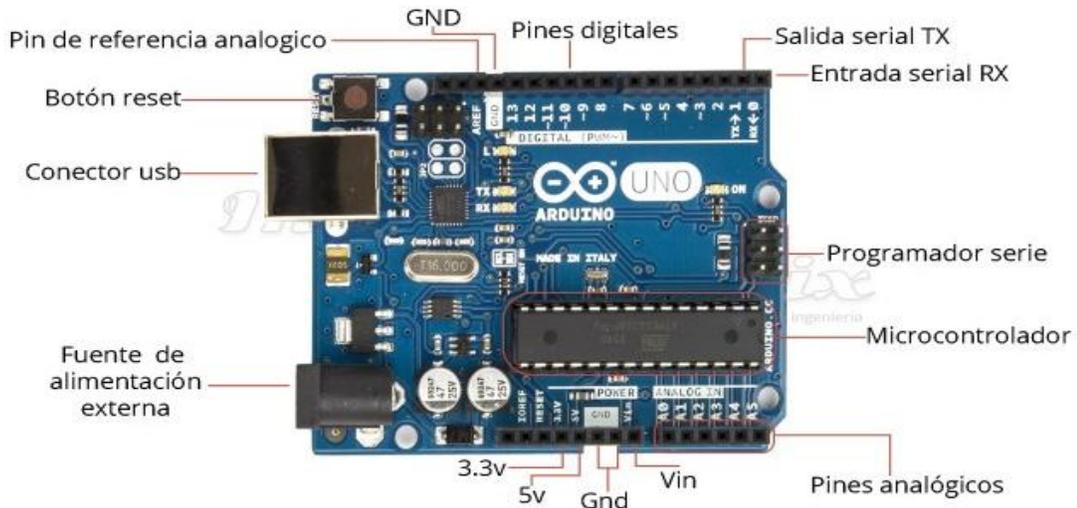
Esta es una placa de desarrollo de código abierto basada en el módulo ESP8266 y programable usando ARDUINO IDE. Esta placa juega un papel importante en el diseño de productos IoT que utilizan conjuntos de instrucciones LUA. Dispone de varios pines GPIO

que permiten conectar otros dispositivos mediante protocolos de comunicación serie (Watson, 2022).

### 2.1.5 Sistema embebido

EL sistema embebido que se describe es una plataforma de desarrollo libre que también cuenta con hardware y software con una interfaz accesible y fácil de implementar. La placa Arduino (ver Figura 2-5) puede leer entradas (sensores, botones o mensajes de Twitter) y convertirlas en salidas (encender motores, encender LED o publicar cosas en línea). Incluso puede comunicarse con varios dispositivos a través del lenguaje de programación Arduino (basado en cableado) y el software Arduino (IDE), basado en procesamiento (Arduino, 2022).

Figura 2-5. Placa Arduino

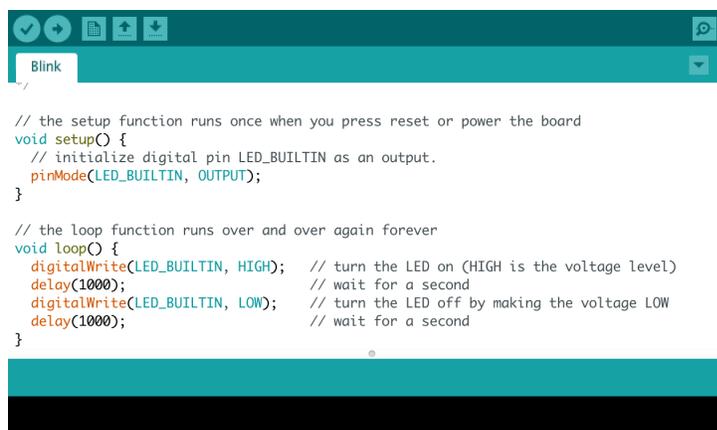


Fuente: (Arduino, 2022)

### 2.1.5.1 Arduino IDE

Es un entorno de desarrollo Arduino que es una aplicación multiplataforma en la que los programas se escriben y descargan en placas compatibles con Arduino y, con la ayuda de núcleos de terceros, se pueden usar con otras placas de desarrollo de otros proveedores.

Figura 2-6. Entorno de desarrollo de Arduino

A screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is "Blink". The code editor shows the following C++ code:

```
// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

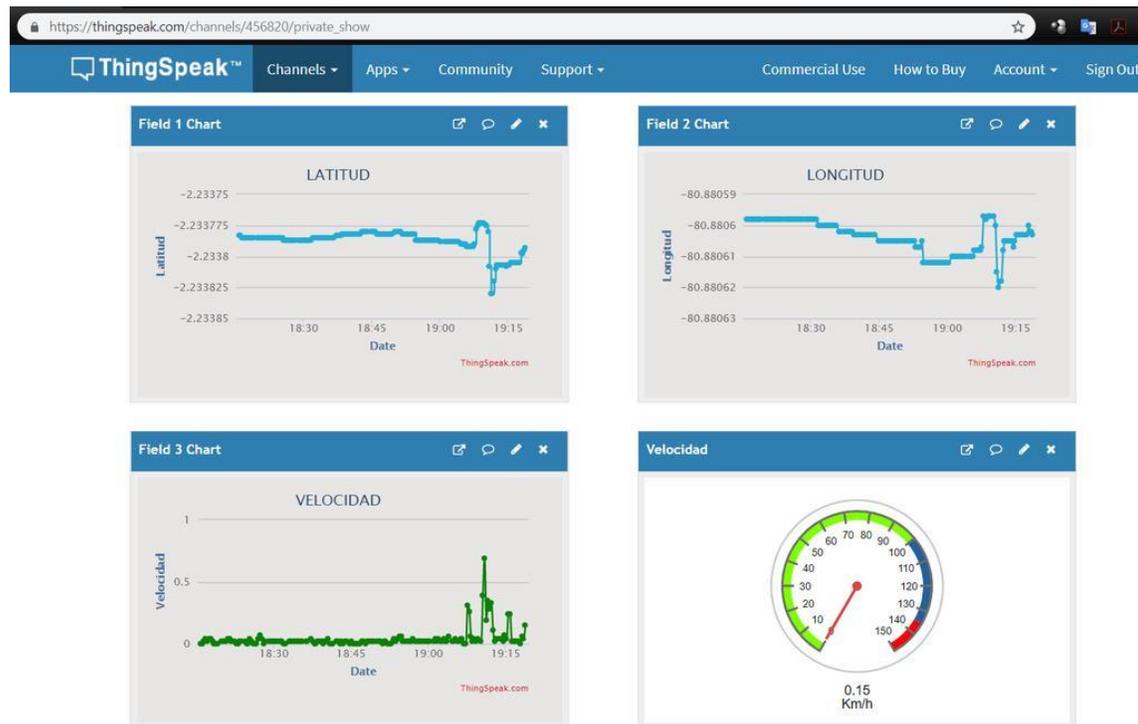
// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000); // wait for a second
}
```

Fuente: (Arduino)

### 2.1.6 ThingSpeak™

Es un servicio de plataforma de análisis de IoT que permite la recopilación, visualización y análisis en tiempo real de flujos de datos en la nube. Las características clave de ThingSpeak™ son: 1) Configure fácilmente los dispositivos para enviar datos a ThingSpeak™ utilizando los protocolos IoT más populares. 2) Visualización de datos de sensores en tiempo real. 3) Datos agregados solicitados por fuentes de terceros. 4) Usar MATLAB para comprender los datos de IoT, 5) Analizar datos de IoT en función de líneas de tiempo o eventos, 6) Crear prototipos y crear sistemas de IoT sin configurar servidores ni desarrollar software web. 7) Tratamiento automático de datos y comunicaciones utilizando servicios de terceros como Twitter® (ThingSpeak™, 2022).

Figura 2-7. Modelo de sistema acoplado a plataforma ThingSpeak™



Fuente: (Suárez, 2019)

### 2.1.7 Plataforma MIT App Inventor

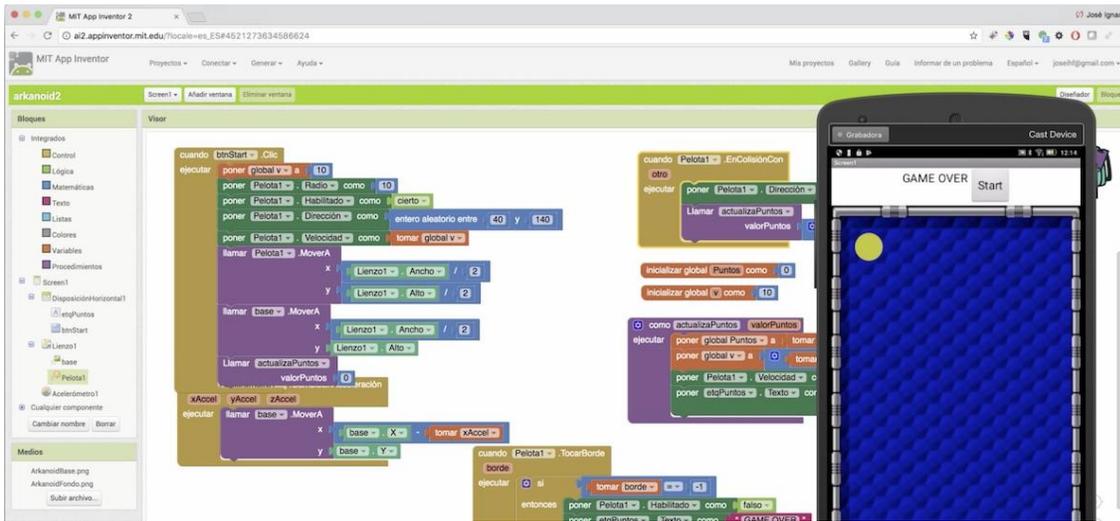
Es un entorno de programación visual e intuitivo que permite a cualquiera crear aplicaciones completamente funcionales para teléfonos Android, iPhones y tabletas Android/iOS. Basada en la programación de bloques, la herramienta lo ayuda a crear aplicaciones complejas y potentes en menos tiempo que un entorno de programación integral (MIT App Inventor, 2022).

El proceso de creación de una App con MIT App Inventor consta de 3 fases (Posada Prieto, 2020):

- Diseñador de pantallas, donde se realiza el diseño de la interfaz de la aplicación, es decir, el aspecto final que es lo que verá el usuario en pantalla.

- Editor de bloques, donde se realiza la programación del funcionamiento de la aplicación a través de los bloques.
- Generador de app, se genera el instalador APK de la aplicación, también permite descargar la app al ordenador o mediante un código QR temporal al dispositivo móvil.

Figura 2-8. Interfaz de diseño de algoritmo de APP inventor



Fuente: (App Inventor Support: Community, 2022) & programamos.es

### 2.1.8 Normas HACCP

El Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC o HACCP en inglés) es el sistema basado en la producción de alimentos seguros desde un enfoque preventivo más reconocido de manera internacional. Las directrices establecidas para su uso muestran que los principios generales de higiene de los alimentos Codex Alimentarius CXC 1-1969 (2020). Un sistema basado en HACCP es un requisito legal en todos los niveles de la cadena alimentaria en varios países, incluidos EE. UU. y la UE (NQA Organismo de certificación Global, 2022).

### **2.1.9 ISO 22000**

Esta es una norma internacional de seguridad alimentaria, diseñada para armonizar los requisitos de un sistema de gestión de seguridad alimentaria para empresas en la cadena alimentaria mundial. ISO 22000 combina y refuerza los elementos fundamentales de ISO 9001 y HACCP para proporcionar un marco efectivo para el desarrollo, implementación, monitoreo y mejora continua de un sistema de gestión de calidad de inocuidad alimentaria (FSMS) está documentado en el contexto del riesgo general de la organización (NQA Organismo De Certificación Global, 2022).

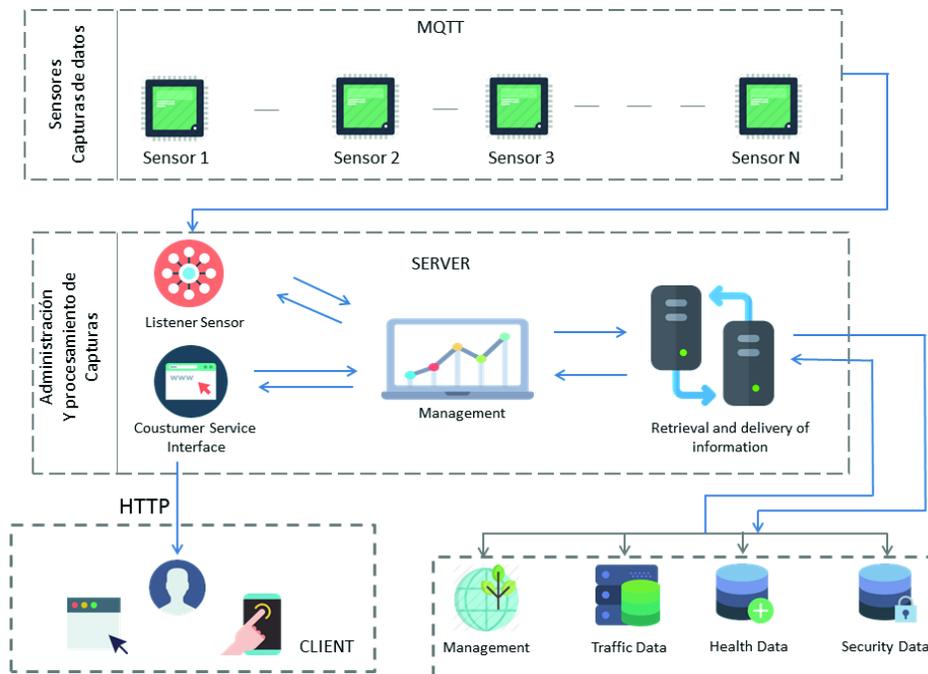
## **2.2 Estado del arte**

En las investigaciones acerca de sistemas de monitorización mediante internet de las cosas (IoT) se han presentado abundantes proyectos de diferentes partes del mundo. Dado a la capacidad de estos sistemas de digitalizar, almacenar y comunicar los datos relevantes de los procesos, que permiten a los usuarios tomar decisiones efectivas para mejorar y optimizar los procesos, por tal motivo en la industria 4.0 el uso de las técnicas IoT son ampliamente utilizadas. Teniendo en cuenta lo anterior, se han tomado trabajos de investigación acerca del tema a nivel nacional e internacional para enriquecer la información acerca de estos sistemas.

En Colombia, Gómez, Castaño, Mercado, García, y Fernández (2018) en su trabajo desarrollan un sistema de internet de las cosas para el monitoreo de los cultivos, que capture, procese y despliegue los datos en tiempo real las variables de cultivo humedad del suelo, temperatura, humedad relativa y radiación UV, que el usuario solicite a través de una interfaz a la que puede acceder mediante un servidor web. La arquitectura del sistema descrito se puede observar en la Figura 2-9.

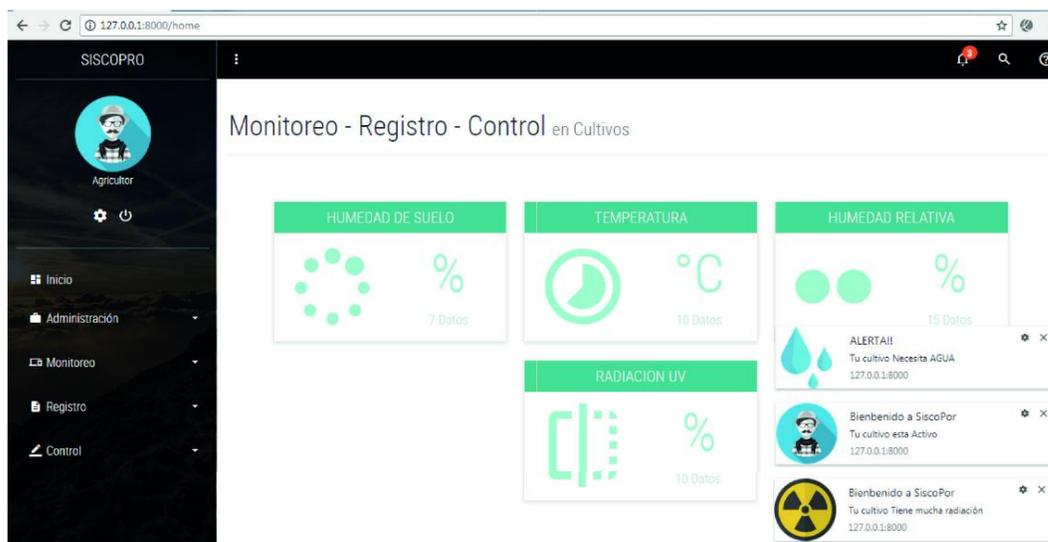
Siendo el resultado de dicho proyecto un sistema IoT de monitoreo que despliega efectivamente la información obtenida a través del sistema, información que actualiza automáticamente y muestra en el sitio web o en la app móvil, también el sistema genera diferentes alertas que permiten al usuario mantener los cultivos saludables de acuerdo con las variables monitoreadas. Vea Figura 2-10.

Figura 2-9. Arquitectura del sistema.



Fuente: (Gómez, Castaño, Mercado, García, & Fernández, 2018)

Figura 2-10. Panel Principal del Sistema



Fuente: (Gómez, Castaño, Mercado, García, & Fernández, 2018)

Mientras, Hernández, Vargas, y Escarraga (2022) en su proyecto “*Análisis, diseño, desarrollo y despliegue de un sistema informático para el monitoreo de temperatura y humedad de especies de flora, utilizando IoT, en el municipio de Girardot en el vivero Guabinal, para el 2022*” tuvieron como objeto de trabajo diseñar y desarrollar un sistema informático para el monitoreo de temperatura y humedad de las especies de flora del vivero. Los investigadores emplearon técnicas e instrumentos para la recolección de información con base a los objetivos, trabajando en la definición de las necesidades del vivero (inventario, pago, facturación y riego), las variables a monitorear temperatura y humedad, entrevistas y revisión documental de casos similares. Definieron los distintos módulos, clases, funciones y métodos necesarios para la programación del software y configuración del hardware. Entre los resultados obtenidos por los investigadores se tiene:

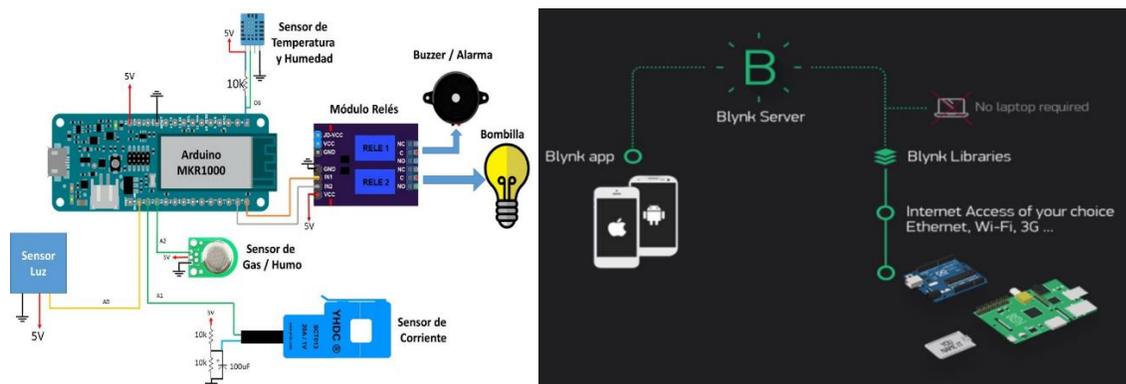
- Determinaron que el desarrollo de actividades, estadísticas, reportes de dicho vivero, que convierte al sistema en una herramienta vital para los procesos internos y externos de la empresa, ofreciendo un modelo de agricultura sostenible mediante el uso e integración de las TICs.
- Según la investigación realizada determinaron cuál de los sistemas de riego era el más adecuado al sistema informático en este caso riego por micronebulización.
- Determinaron que la medición es afectada por factores como la distribución de las plantas.

Por otro lado, Mendoza y Marín (2018) quienes desarrollaron el diseño e implementación de monitoreo y control automatizado para entornos domésticos, que opera en funciones de las variables adquiridas por los sensores de temperatura, humedad, luminosidad, gas y corriente eléctrica, variables que pueden ser visualizadas a través de una aplicación móvil BLYNK®. Para esto se emplea un Arduino MKR1000 conectado a una red WLAN, esto le permite realizar las funciones de acondicionamiento de señales, controlador, conexión WiFi y transmisión de datos al servidor BLYNK®, vea figura 6-3. Entre sus resultados está el prototipo del sistema es aplicable para sistemas de seguridad en tiempo real en hogares, automatización y sistemas de control y monitoreo remotos. Posibilidad de ampliación en las variables al usar diferentes sensores y dispositivos a controlar.

Otras características, como el apagado automático, envío de notificaciones o alertas de estado al celular y la posibilidad que todos los miembros de la familia del hogar puedan

monitorear y recibir de manera simultánea los cambios que otros miembros realicen. Asimismo, se pueden obtener datos históricos y en tiempo real de mediciones de temperatura, humedad, gas, luminosidad desde cualquier lugar utilizando la aplicación.

Figura 2-11. A) Diagrama esquemático – Circuito electrónico del sistema y B) Arquitectura de conexión aplicación BLYNK.



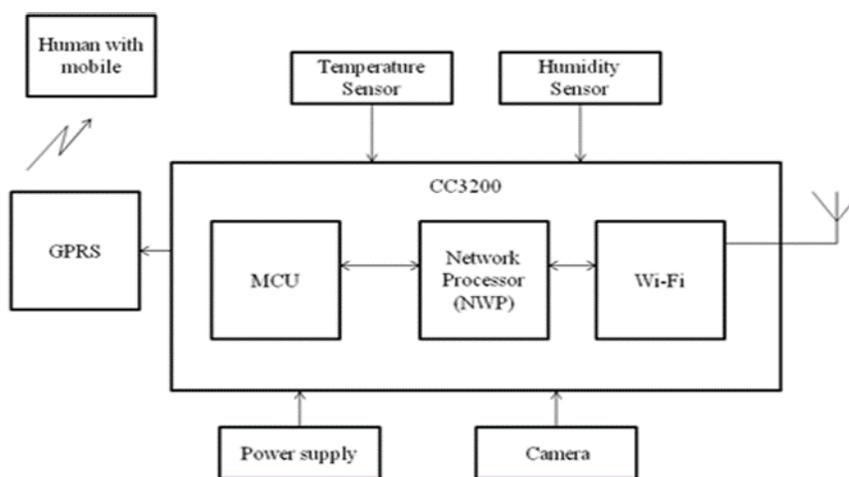
Fuente: (Mendoza Padilla & Marín Mendoza, 2018)

En Ecuador, Jimenez-Guamán y Cabrera-Mejía (2020) desarrollaron el proyecto “*Sistema de monitoreo remoto del consumo energético para hogares en la ciudad de Cuenca, basado en principios de IoT y servicios en la nube*” emplearon diversos protocolos como MQTT basado en el principio de comunicación máquina a máquina, WebSocket y servicios en la nube de Amazon Web Service (AWS) para él envió de información sobre voltaje, corriente, potencia, temperatura y humedad, asimismo, el control remoto sobre el encendido-apagado de un electrodoméstico, sistema de riego o control de temperatura. Siendo los resultados obtenidos un prototipo del sistema funcional, una aplicación web intuitiva para el usuario que permite el control de los electrodomésticos, bombas de agua y calefacción a través del encendido-apagado remotos.

En india, Prathibha, Anupama, y Jyothi (2017) en “*IoT Based Monitoring System In Smart Agriculture*” cuyo objetivo es el uso de técnicas de IoT y agricultura inteligente mediante

automatización. Dado que los factores ambientales son el principal factor para mejorar el rendimiento de los campos de cultivo, emplearon un chip CC3200 con sensores de humedad y temperatura en los campos agrícolas para el monitoreo. Además, usaron cámara con el CC3200 para la captura de imágenes y enviarlas a los móviles de los agricultores por Wi-Fi, vea Figura 2-12.

Figura 2-12. Diagrama de bloques del sistema propuesto.



Fuente: (Prathibha, Anupama, & Jyothi, 2017)

Prathibha et al. (2017) concluyeron que el sistema implementado es confiable, eficiente y se pueden tomar acciones correctivas. Gracias al monitoreo inalámbrico se necesita menor intervención humana, además permite a o los usuarios ver cambios precisos en el rendimiento del cultivo. Es más barato y consume menos energía. Este sistema es más eficiente y beneficioso para los agricultores, dado que brinda la información sobre la temperatura, la humedad del aire en el campo agrícola a través de MMS al agricultor si esta fuera del rango óptimo, puede ser usado en invernaderos. En el futuro, el sistema puede mejorarse al agregar otras técnicas como métodos de riego o el uso de fuentes de energía solar.

El sistema desarrollado es más eficiente y beneficioso para los agricultores. Brinda información sobre la temperatura, la humedad del aire en el campo agrícola a través de

MMS al agricultor, si se encuentra fuera del rango óptimo. El sistema se puede utilizar en invernaderos y plantas dependientes de la temperatura. La aplicación de dicho sistema en el campo definitivamente puede ayudar a avanzar en la cosecha de los cultivos y la producción global. En el futuro, este sistema se puede mejorar agregando varias técnicas modernas como el método de riego, el uso de fuentes de energía solar.

En Grecia, Alaa, Mai, Nada, Loa'a, Nada, Yomna, M. Saeed, Mohamed y Hassan (2019) en "*Smart IoT Monitoring System for Agriculture with Predictive Analysis*" en el que desarrollan un sistema que recopila los datos del campo de cultivos, luego alimentaron estos datos a un algoritmo de aprendizaje automático para obtener un mensaje de advertencia que finalmente muestra tanto los datos como el mensaje de advertencia a través de una interfaz gráfica de usuario (GUI). Este sistema entregará los datos necesarios al agricultor para tomar las decisiones adecuadas, asimismo, mejorará la detección de enfermedades y predecirá como se propagan la enfermedad en el campo de cultivo. Alaa et al. (2019) en su proyecto se centraron en la enfermedad del tizón tardío para un determinado cultivo, que fueron las papas.

La arquitectura del sistema se compone por la capa de percepción, la capa de compuerta y la capa de aplicación. En la capa de percepción, se emplean los sensores de temperatura del aire, humedad del aire y humedad del suelo para medir las condiciones ambientales y de rendimiento. Los sensores son controlados por las tarjetas de desarrollo NodeMCU que también envían la información a la siguiente capa mediante protocolo MQTT. La capa de compuerta se implementó con una Raspberry Pi 3 (R-Pi 3) que proporciona la potencia de procesamiento y almacenamiento necesario para garantizar que todos los datos de los sensores se transmitan al servidor en la nube.

Los datos que se analizan y almacenan en la R-Pi 3 para ejecutar algunos algoritmos de aprendizaje automático con los que se predecirá la enfermedad o realizar alguna acción dependiendo de la condición del campo, la acción predicha y los datos se envían desde el R-Pi a la siguiente capa: la capa de aplicación que implementa un back-end sobre un servidor MySQL que finalmente recibe los datos desde la capa de compuerta. El usuario final puede acceder a estos datos a través de la aplicación web que consiste en dos páginas web separadas vinculadas a los datos censados y a los resultados de los algoritmos de aprendizaje. Concluyeron, que el sistema obtenido permite la detección del

tizón tardío en papas y tomates antes de la primera aparición lo que reduce los costos al darles a los agricultores un mensaje de advertencia en el momento exacto para aplicar los pesticidas protectores, evitando la propagación y el uso excesivo de pesticidas.

## **3 Desarrollo del proyecto de ingeniería**

El método para el desarrollo del proyecto es una aplicación del modelo de referencia utilizado en la Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica de la UAN conocido como CDIO: Concebir – Diseñar – Implementar – Operar. El primer paso fue entonces concebir el problema mediante la determinación de los requerimientos del sistema; posteriormente se realizó el diseño ajustado como una solución al problema planteado; después se procedió a implementar el mismo con los componentes de software y hardware adecuados para ello, y finalmente en la fase de operación se hizo la evaluación de costos y efectividad entre el sistema de monitoreo anterior de Inversiones Medina Verbel S.A.S y el sistema de monitoreo implementado. Este proceso conlleva necesariamente a un análisis cuantitativo involucrado con el análisis del comportamiento de las variables de temperatura, humedad y estado ON/OFF del sistema de refrigeración en el tiempo en momentos específicos y críticos permitiendo la supervisión de manera remota de las condiciones operacionales del cuarto frío garantizando el servicio prestado por la empresa.

### **3.1 Requerimientos de diseño del sistema de monitoreo**

Partiendo de las necesidades de Inversiones Medina Verbel S.A.S para el cumplimiento de las normativas de conservación de alimentos encontradas (HACCP, ISO22000), se identifican los siguientes requerimientos a cumplir por parte del sistema siendo este un dispositivo que:

- No sea intrusivo que permita el monitoreo y no interfiera con la operación regular del cuarto frío.
- Cuenten con capacidad de medición similar o igual al rango de temperaturas del cuarto frío de entre  $-12^{\circ}\text{C}$  a temperatura ambiente máxima ( $40^{\circ}\text{C}$ ).

- Cuenta con capacidad de medición similar o igual al rango de humedad del cuarto frío de 50% a 100%.
- Compatible con el entorno de programación en Arduino IDE o similar, compatibles con los protocolos más comunes de comunicación IoT (WiFi, Lora, BE, SigFox, entre otros).
- Determinar el estado ON/OFF de los compresores.
- Que permita el almacenamiento del registro histórico de las variables y la visualización de la medición en curso.
- Que permita el acceso remoto a la información medida en campo.
- Que sea de bajo costo

## **3.2 Diseño del sistema de monitoreo**

Se seleccionó la arquitectura de IoT, tomando como referencia la arquitectura para la Industrial Internet of Things – IIoT, luego se sigue a la selección de componentes y materiales que utilizamos para la implementación del proyecto utilizando el dominio de control y dominio de la aplicación y finalmente la selección y aplicación de arquitectura de referencia IoT.

### **3.2.1 Selección y aplicación de arquitectura de referencia IoT**

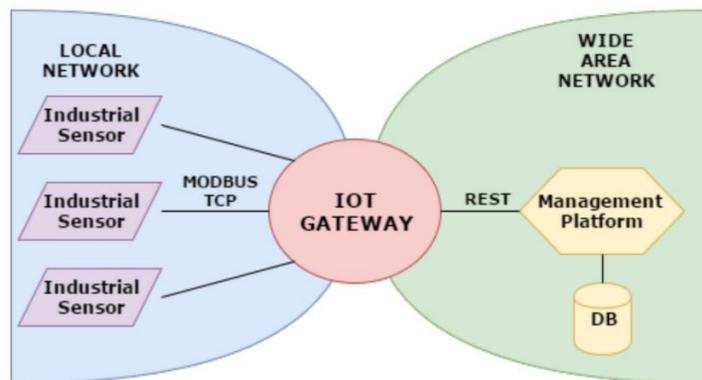
El Internet de las Cosas o IoT se refiere a la interconexión existente de diferentes objetos por medio de la red, donde los dispositivos electrónicos cuentan con su propia dirección IP para identificarse. Para ello se requiere integrar distintos componentes dentro de una arquitectura del paradigma del Internet de las cosas, las cuales son: objeto conectado, tecnologías de red, protocolo de comunicación, plataformas IoT (para tratar los datos) y aplicación de usuario.

Tomando como punto de partida la arquitectura de referencia para Industrial Internet of Things – IIoT (Industrial Internet Consortium, 2017) el cual es una aplicación específica del IoT regular, pero para industrias, el sistema IIoT contiene 5 funcionalidades: control, operación, información, aplicación y usuario. El dominio de control representa la colección de funciones que se realizan por sistemas de control industrial tales como detección y

actuación. El dominio de operación tiene como objetivo ejecutar tareas de monitoreo y optimización en el sistema. El dominio de la información se relaciona con la gestión y el almacenamiento de los datos recopilados por los diferentes dominios. El dominio de la aplicación permite la interacción del sistema con las personas o aplicaciones conectadas como bots. Finalmente, el dominio de negocios apoya los procesos de negocios y actividades de procedimiento como la gestión de relaciones con los clientes (CRM) y Sistemas de Ejecución de Manufactura (MES).

El sistema de monitoreo de temperatura, humedad y estado ON/OFF del cuarto frío basado en IoT fue desarrollado de acuerdo con la arquitectura de referencia mencionada anteriormente. En nuestro proyecto la arquitectura fue simplificada. El prototipo solo hace uso de tres dominios: control, información y aplicación. En cuanto a la arquitectura del sistema, para garantizar la realización de monitoreo instantáneo, fue necesario que los datos recopilados de la medición hayan sido enviados a los dispositivos y administrados por una plataforma en la nube. Para transferir los datos de los dispositivos de medición a esta plataforma se utilizó una puerta de enlace IoT implementada con un dispositivo embebido (Figura 3.1 “Arquitectura de referencia de IloT” ).

Figura 3-1. Arquitectura de referencia de IloT



Fuente: *Industrial Internet Consortium* (2017)

Además, una vez que los datos sean gestionados por la plataforma se generan alertas, de acuerdo con las reglas, para informar a los operadores de ciertas fallas con las que puede actuar inmediatamente y resolverlas.

Teniendo en cuenta la arquitectura IIoT adaptada a este proyecto lo primero que se diseñó fue el dominio de control, del cual sólo se realizó la función de detección que es la capa de captación de datos o capa de medición, es decir, la encargada de medir las variables de refrigeración de temperatura, humedad y estado ON/OFF del cuarto frío. Según el requerimiento, el sistema de instrumentación debió tener un rango de medida entre  $-12^{\circ}\text{C}$  y  $40^{\circ}\text{C}$ , de 50% a 100% de humedad relativa y determinó el estado ON/OFF de cada compresor. El instrumento de medición se ubicó dentro del cuarto frío cercano a la puerta y se aprovecharon las canaletas del cableado pertenecientes al sistema de monitoreo anterior de la empresa.

Los sensores contaron con un punto de conexión hacia la placa o sistema embebido que funcionó dentro del dominio de la información permitiendo el envío de los datos al sistema de almacenamiento en la nube, es decir, es la interfaz entre la capa de medición y la plataforma. Esta placa, por tanto, ha de contar con un módulo de adquisición de datos y un módulo de conexión WiFi o Ethernet. Para el dominio de la aplicación con el fin de permitir la interacción del sistema con las personas o aplicaciones móviles conectadas se debe contar con un servidor (nube) que además de almacenar y procesar los datos recibidos, se programe para detectar y alertar cuando las variables medidas se encuentren en las cercanías de los puntos críticos de control del cuarto frío. Por último, se requiere tener una plataforma de acceso remoto para que cualquier usuario pueda revisar el estado de las variables en curso sea a través de aplicativo web y/o móvil para mayor versatilidad.

### **3.2.2 Selección de componentes y materiales**

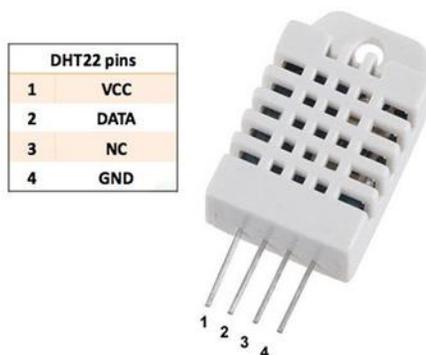
Según el diseño basado en la arquitectura IIoT adaptada descrita previamente, en esta etapa se seleccionaron los componentes y materiales de cada dominio asociado para completar el sistema IoT orientados a satisfacer los requerimientos de diseño del sistema de monitoreo.

#### **Dominio de control: detección/medición**

Para la medición de temperatura y humedad se tuvieron en cuenta los sensores DHT11 y DHT22, ambos compatibles con el entorno de programación de Arduino por medio de la librería DHT, con una amplia documentación. En este diseño era necesario cumplir con el rango de refrigeración del cuarto frío siendo el DHT22 que abarca el rango de  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta

80°C. Este sensor basado en un termistor que sirve para medir la temperatura y un sensor interno capacitivo para mediciones de humedad, así mismo posee un microcontrolador de 8 bits que genera los valores de temperatura y humedad como datos en serie. La salida proporcionada por el pin de datos será dada en el orden de 8 bits de datos enteros de la humedad + 8 bits de datos decimales de la humedad + 8 bits de datos enteros de temperatura + 8bits de datos decimales de temperatura + 8bits de paridad. (Aosong Electronics Co.,Ltd)

Figura 3-2. Módulo de temperatura & humedad relativa DHT22 y señal digital de comunicación.



Fuente: (Aosong Electronics Co.,Ltd)

Tabla 3-1. Características del sensor DHT22

Sensor DHT22	
Características físicas	
Peso	3 gr
Encapsulado	Carcasa de plástico
Características de operación	
Voltaje de operación	3V a 6V DC
Tiempo de medición	2 segundos
Rango de medición de temperatura	-40 ~ 80 °C <math>\pm 0.5^{\circ}\text{C}</math>
Rango de medición de humedad	0 ~ 100% RH $\pm 0.1\%$

Fuente: (Aosong Electronics Co.,Ltd)

El DHT22 es un sensor básico digital de medición de temperatura y humedad. Este sensor está basado en un termistor que sirve para medir el aire circundante (temperatura) e implementa un sensor interno capacitivo para la medición de humedad. DHT22 utiliza una técnica exclusiva de recolección de señal digital y tecnología de detección de humedad y puede superar la señal digital calibrada. El tamaño pequeño, el bajo consumo y la larga distancia de transmisión (20 metros) permiten que AM2303 se adapte a todo tipo de aplicaciones difíciles (Aosong Electronics Co.,Ltd)

**Dominio de la información**

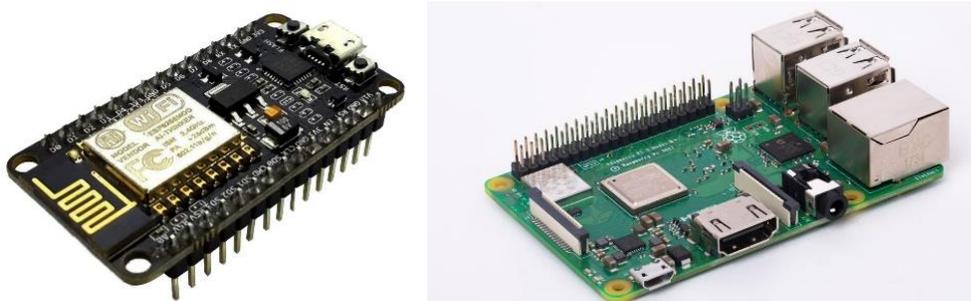
Para esta capa de la arquitectura IoT se contaban con las opciones de Raspberry Pi 3 B+ y la placa NodeMCU ESP8266 (ver Tabla 3-2), una de las características de selección para este componente estaba basado en el módulo WiFi y su integración en el mismo, sin embargo, según el costo estimado, y comparando las funciones entre cada uno se decidió seleccionar la placa NodeMcu ESP8266.

Tabla 3-2. Especificaciones técnicas de los dispositivos embebidos.

Sistema integrado	CPU	Procesador	RAM	Comunicación	Precio
Rasberry pi 3 B+	Broadcom 2837	1.2 Ghz	1GB	I2C	\$ 240.000
NodeMCU ESP8266	RISC de 32-bit	80 Mhz	96KB	I2C	\$ 36.500

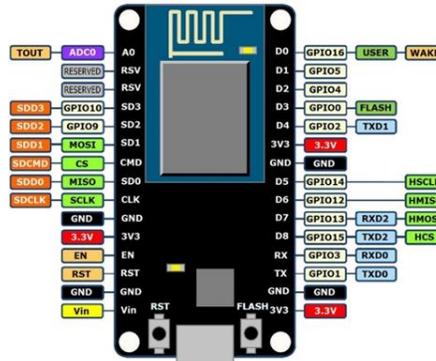
Fuente: (Alaa Adel, y otros, 2019)

Figura 3-3. Tarjeta NodeMCU ESP8266 (izquierda), Raspberry Pi 3 B+ (derecha)



Fuente: (Aosong Electronics Co.,Ltd)

Figura 3-4. Pinout de NodeMCU ESP8266



Fuente: (Aosong Electronics Co.,Ltd)

Tabla 3-3. Características de la tarjeta NodeMCU ESP8266

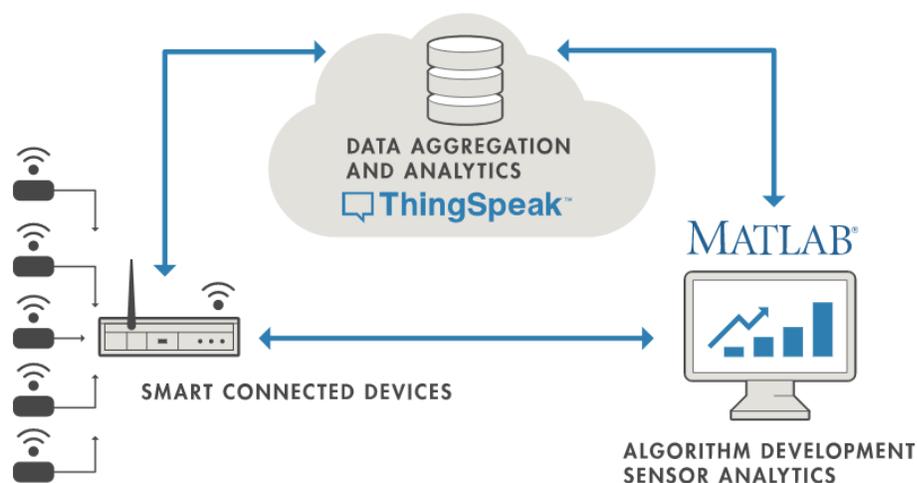
NodeMCU ESP8266	
Pines	
Pines digitales	13 (D0 – D12)
Pines analógicos	1 (A0)
Pines de alimentación	3 a 3.3V – 1 a 5V
Pines a tierra	4 (GND)
Características eléctricas	
Voltaje de operación	3V, 3.6V y 5V
Otras especificaciones	
Procesador	Tensilica LX3 (32 bit)
Peso	9 gr
Stack de protocolo	TCP/IP integrado
Dimensiones	49*26*12 mm <sup>3</sup>
Protocolo	WiFi Direct (P2P), soft-AP
Frecuencia de reloj	80 MHz/160MHz
RAM	96 KB
Conector	Micro-USB

Fuente: (Aosong Electronics Co.,Ltd)

Para las funcionalidades requeridas con servicios en la nube se empleó ThingSpeak™ que es un servicio de análisis de IoT que permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en vivo en la nube. ThingSpeak™ proporciona visualizaciones instantáneas de los datos medidos por los dispositivos en campo. Con la capacidad de ejecutar código MATLAB® en ThingSpeak™, se puede realizar análisis en línea y procesar datos a medida que ingresan. ThingSpeak™ se usa a menudo para la creación de prototipos y sistemas IoT de prueba de concepto que requieren análisis (ver figura 3.5. Sistema IoT con datos en acción) Se accedió a este servicio mediante el uso de las licencias disponibles a través de las cuentas institucionales que la Universidad Antonio Nariño con el dominio @uan.edu.co.

El servicio de ThingSpeak™ se caracteriza por la simplicidad en la etapa de programación y configuraciones de conexión, además, es conocida por ser una plataforma Open Source de uso gratuito para aplicaciones académicas básicas con posibilidad de adquisición de servicios robusto mediante una suscripción paga. Los datos que recibe por medio del dispositivo que realiza el puente de comunicación y transmisión de estos se almacenan en canales y se poseen diferentes campos para guardarlos. Dependiendo de la privacidad de los datos, los campos pueden ser configurados como públicos o privados. Esta plataforma permite integrarse con Arduino, Raspberry Pi, entre otras.

Figura 3-5. Sistema IoT con ambiente de desarrollo de MathWorks.



Fuente: (Mathworks, Inc., 2022)

### **Dominio de la aplicación**

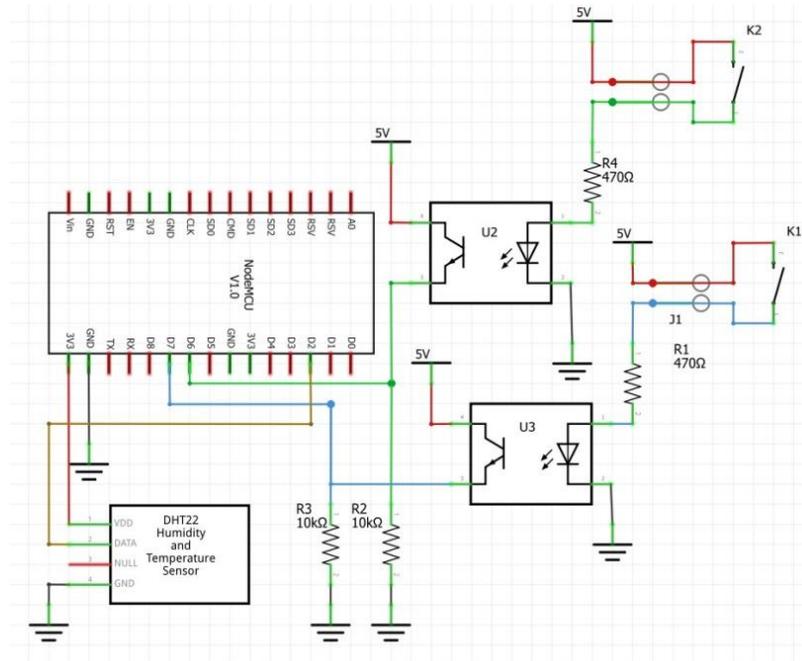
ThingSpeak™ cuenta con una plataforma de visualización de los datos disponible para acceso de parte del usuario (Front End). Además, se desarrolló una aplicación móvil como interfaz de usuario empleando MIT App Inventor y compatible con Android 5.0 hacia adelante. Aquí se pueden visualizar los datos de temperatura, humedad relativa, estado ON/OFF, el historial de datos, que son enviados por medio del sistema embebido y recibidos en la nube por ThingSpeak™ luego de la configuración del protocolo HTTP. Además, se empleó la app React herramienta de ThingSpeak™, con la cual se configuraron las acciones correspondientes al encontrar una falla en el sistema de refrigeración según el comportamiento de los datos recibidos, dicha acción es traducida como una alerta que es enviada por medio del correo electrónico a un supervisor.

### **3.2.3 Análisis de circuito y configuraciones de hardware**

La figura 3.6 (Esquemático del sistema de monitoreo capa de captación) muestra el diagrama de conexiones del NodeMCU ESP8266 con el sensor DHT22 y los contactores de campo de los compresores conectado mediante un bloque de contacto auxiliar K1 y K2 con los optoacopladores U2 y U3 de aislamiento. Este circuito corresponde dentro de la arquitectura IoT adaptada a los elementos que conforman el dominio del control en su función de detección, captación de datos o capa de medición. Además, contribuyen en una parte del dominio de la información en su función de transmisión a través del protocolo HTTP de los valores de las variables a la nube.

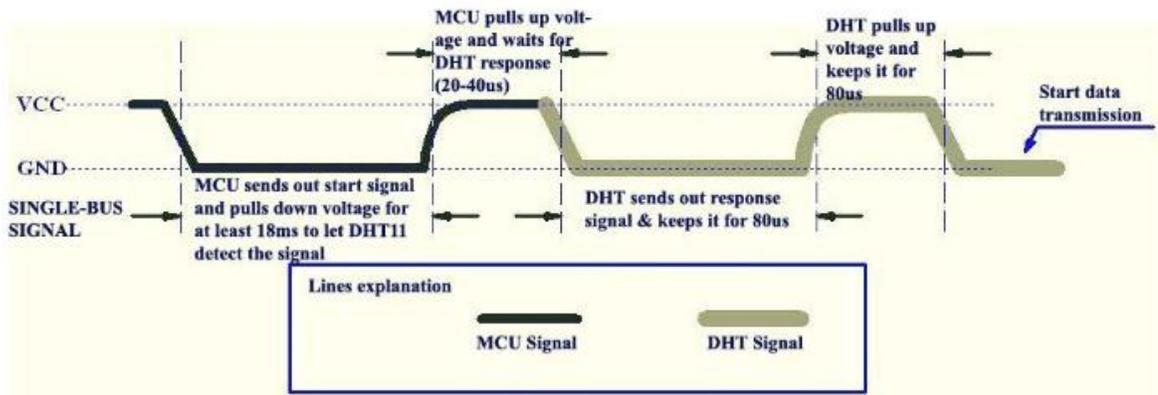
El sensor DHT22 realiza el proceso de conversión de los valores analógicos de temperatura y humedad a valores digitales usando un termistor, por lo cual cambia su resistencia con respecto a la temperatura. Dado que su voltaje de alimentación debe estar entre 3.3V y 6V DC, se seleccionó una tensión de 5V, lo cual conlleva a que dicho sensor obtenga la corriente; luego, conociendo la curva de corriente vs temperatura, envía dicha corriente en forma de una señal digital, como se muestra en la figura 3.7 (Conversión análogo digital de sensor DHT22)

Figura 3-6. Esquemático del sistema de monitoreo capa de captación



Fuente: Autores

Figura 3-7. Conversión análogo digital de sensor DHT22



Fuente: (Datasheet DHT22)

Cuando se suministra energía al sensor, no le envía ninguna instrucción dentro de un segundo para pasar el estado inestable. Se puede agregar un condensador de 100nF entre

VDD y GND para el filtrado de ondas. Cada sensor de este modelo tiene compensación de temperatura y está calibrado en una cámara de calibración precisa y el coeficiente de calibración se guarda en el tipo de programa en la memoria OTP; cuando el sensor está detectando citará el coeficiente de la memoria. El tamaño pequeño, el bajo consumo y la larga distancia de transmisión (20 m) permiten que DHT22 sea adecuado en todo tipo de aplicaciones difíciles.

Por otro lado, el optoacoplador PC817 se utilizó para aislar eléctricamente el voltaje de control del microcontrolador y la tensión eléctrica de campo contaminada con señales de ruido al atravesar el tablero eléctrico de potencia de los compresores. Los cálculos del optoacoplador PC817 se realizan teniendo en cuenta los límites máximo y mínimo de la corriente  $I_F$  del led (corriente de conducción en directa) indicados en el datasheet ver Ecuación 1 y la tensión de alimentación del circuito seleccionada Ecuación 2.

$$1mA < I_F < 50mA \quad \text{Ecuación 1}$$

$$V_{cc} = 5V \quad \text{Ecuación 2}$$

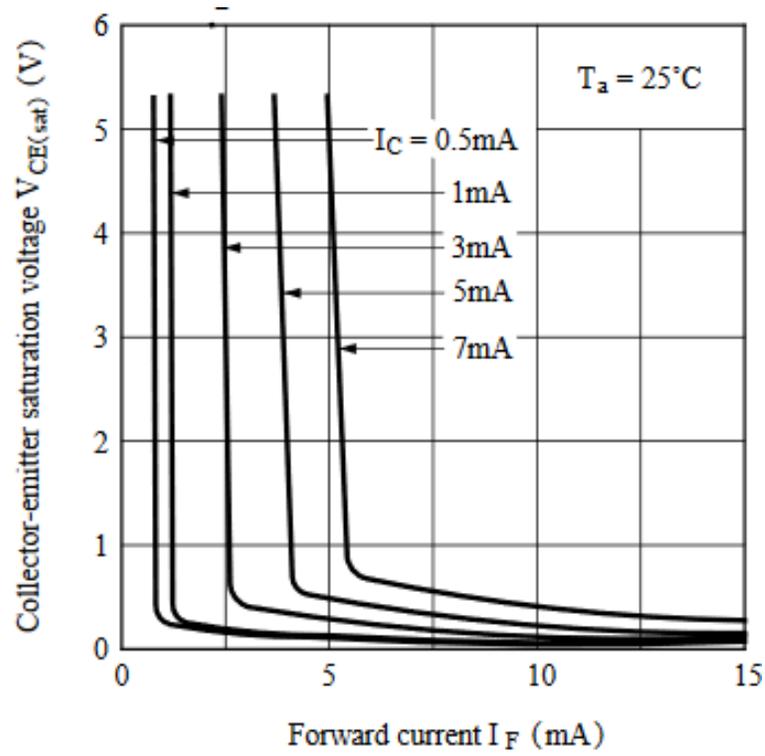
Se calcula el rango de valores de resistencia que satisfacen la Ecuación 1 y Ecuación 2, resultando en el valor de resistencia de LED máxima Ecuación 3 y mínima Ecuación 4.

$$R_{MAX} = \frac{V_{cc}}{I_F} = \frac{5V}{1mA} = 5k\Omega \quad \text{Ecuación 3}$$

$$R_{min} = \frac{V_{cc}}{I_F} = \frac{5V}{50mA} = 100\Omega \quad \text{Ecuación 4}$$

El circuito fue instalado en la parte de afuera del cuarto frío, lejos de las bajas temperaturas ( $T_{cuarto\_frio} < 0^\circ C$ ) propias de estos sistemas, aproximadamente a una temperatura ambiente de  $T_a = 25^\circ C$ .

Figura 3-8. Voltaje de saturación de colector - emisor vs. Corriente en directa del LED



Fuente: (Datasheet DHT22)

Cuando circule corriente por el LED  $I_F > 0mA$  se afecta el voltaje de saturación colector – emisor  $V_{CE}$  tendiendo 0V de tal forma que la suma de tensiones en lado del transistor conlleva a una tensión de  $V_{CC}$  sobre el resistor R2 y R3 de pull – down proporcionando un uno lógico al NodeMCU. Esta relación entre  $I_F$  y  $V_{CE}$  se observa en la Figura 3-8. Procurando la menor caída de tensión en  $V_{CE}$  se selecciona una la corriente de colector en conducción como muestra Ecuación 5:

$$I_C = 0.5mA$$

Ecuación 5

Con base a la Ecuación 3 y Ecuación 4, la relación  $I_F$  vs  $V_{CE}$  de la Figura 3-8 y los valores de resistencia comerciales disponibles se selecciona las resistencias R3 y R4 para el LED según la Ecuación 6:

$$R_3 = R_4 = 470\Omega \pm 5\%$$

Ecuación 6

Eso conlleva a una corriente de conducción final para la operación del LED según la Ecuación 7

$$I_F = \frac{5V}{470\Omega} = 10.6mA \pm 3.7\%$$

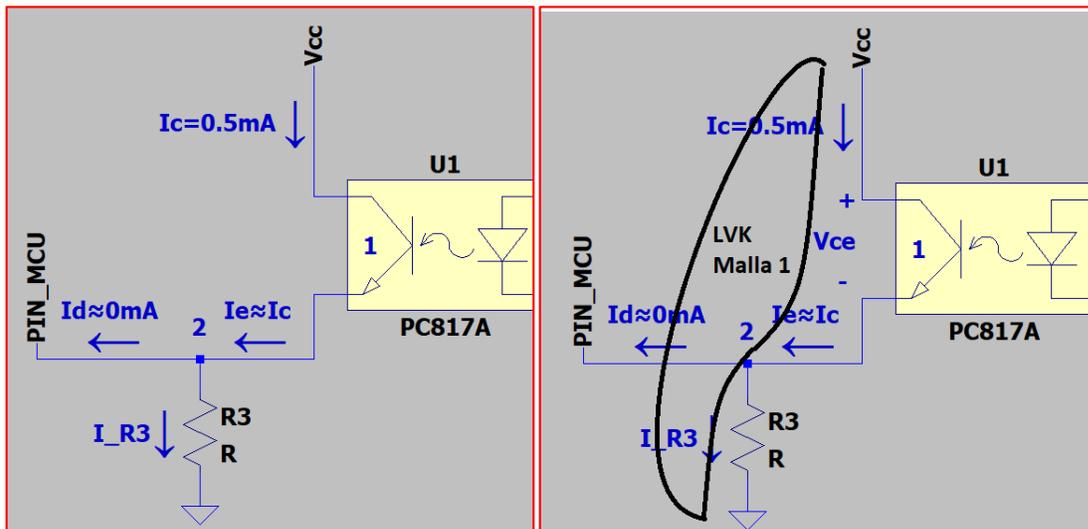
Ecuación 7

En el lado del transistor NPN con excitación óptica en la base, se tienen en cuenta dos momentos: el primero es cuando el LED al estar apagado no genera corriente sobre la base del BJT conllevando a las condiciones del BJT NPN con LED apagado como se muestra en la Ecuación 8.

$$I_F = 0mA \rightarrow I_B = 0mA, I_C = 0mA, V_{CE} = 0$$

Ecuación 8

Figura 3-9. Conexión optoacopladores.



Fuente: propia

Por lo que la tensión  $V_{R2} = V_{R3} = 0V$ , significando un cero lógico para el NodeMCU. El otro momento es cuando el LED estando encendido genera corriente sobre la base del BJT

conlleando a las siguientes condiciones como muestra la Ecuación 9 las condiciones del BJT NPN con LED encendido.:

$$I_B > 0mA \rightarrow I_C = 0.5mA, V_{CE} \approx 0 \quad \text{Ecuación 9}$$

Despreciando la corriente de base  $I_B \approx 0mA$  y la corriente de derivación  $I_d \approx 0mA$  que ingresa al NodeMCU, se puede aproximar la corriente sobre los resistores de pull – down R2 y R3 de la siguiente forma y según la Figura 3-10:

$$\text{LCK sobre nodo 1} \quad I_e \cong I_C + I_B \cong 0.5mA + 0mA \cong 0.5mA \quad \text{Ecuación 10}$$

$$\text{LCK sobre nodo 2} \quad I_{R3} \cong I_e + I_d = 0.5mA + 0mA \cong 0.5mA \quad \text{Ecuación 11}$$

$$\text{LVK malla 1} \quad -V_{cc} + V_{ce} + V_{R3} = 0 \quad \text{Ecuación 12}$$

Con  $V_{ce} \cong 0V$  se tiene que:

$$V_{R3} = V_{cc} = 5V$$

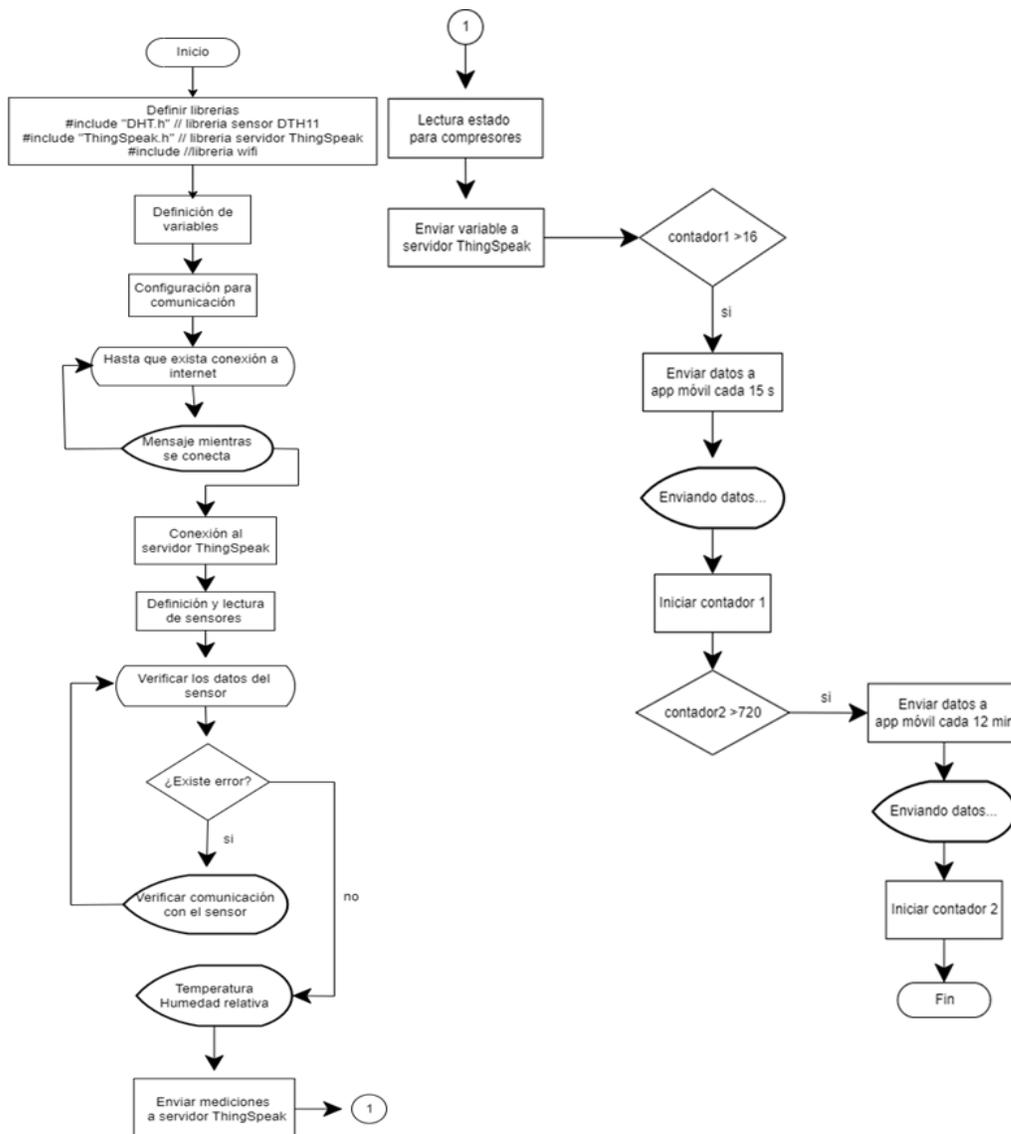
Estas mismas condiciones de circuito aplican para R2 y R3, por lo tanto:

$$R_2 = R_3 = \frac{V_{R3}}{I_e} = \frac{5V}{0.5mA} = 10k\Omega \quad \text{Ecuación 13}$$

Para la configuración del software del sistema embebido NodeMCU Se creó un diagrama de flujo Figura 3-10 que modelará el funcionamiento de la tarjeta para establecer los procedimientos y condiciones que deben seguirse de acuerdo con los requerimientos establecidos. La Figura 3-10 representa la lógica que se implementa en el desarrollo del sistema embebido, partiendo desde la definición de las variables hasta él envió de datos a la plataforma ThingSpeak™. Inicialmente se definen las librerías que se emplearan para la programación de los dispositivos conectados. Durante el proceso inicial se verifica el estado de la conexión a internet una vez definido el usuario y contraseña, si no se

encuentra conectado no continuará el siguiente bloque de código. Cuando se encuentre en estado conectado, se realizará la conexión con el servidor de ThingSpeak™. Habiendo realizado esa configuración, dentro de un ciclo se revisa si la conexión no se ha perdido y se emplean diferentes funciones para empezar con la recopilación de datos por medio del sensor en intervalos definidos, los cuales son guardados en dos variables.

Figura 3-10. Diagrama de flujo de algoritmo implementado en la ESP8266



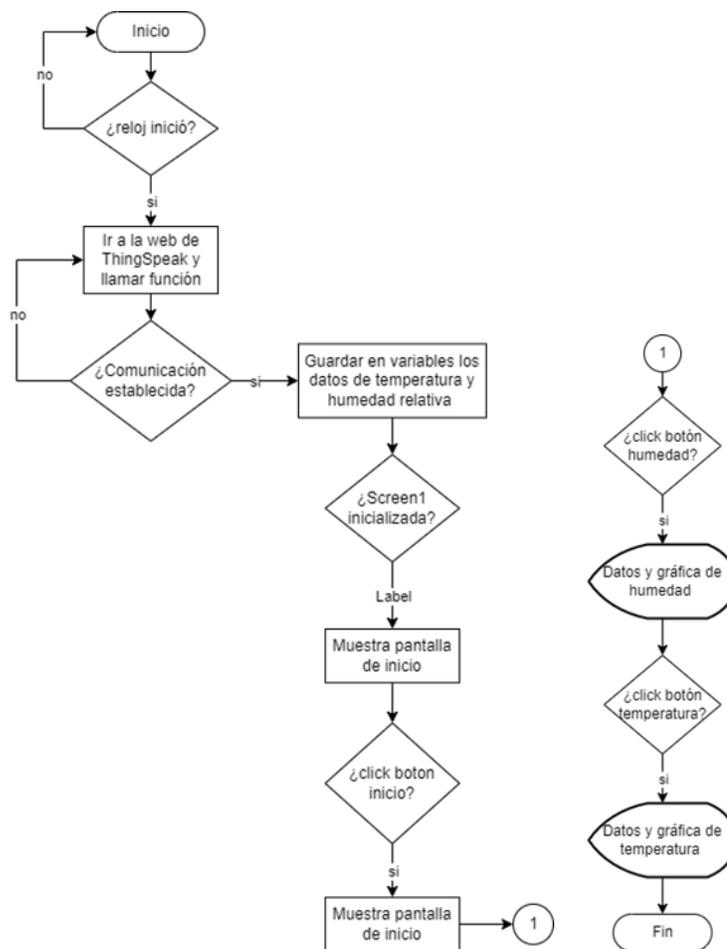
Fuente: Autores

Cuando el muestreo alcanza su límite mínimo, se procede con la transmisión de información, y esta es enviada al servidor de ThingSpeak™. Adicionalmente, se emplean variables de lectura de estado ON/OFF para los compresores, un temporizador de 12 minutos y una alarma, las cuales son enviadas al mismo servidor para ser visualizadas. Los datos transmitidos son almacenados en la base de datos de la plataforma en la nube ThingSpeak™, el cual grafica cada variable y lo muestra en sus servidores.

### 3.2.4 Aplicación móvil

El funcionamiento de la aplicación móvil está dado por el diagrama de flujo mostrado en la Figura 3.11

Figura 3-11. Diagrama de flujo de la aplicación móvil



Fuente: Autores

Una vez finalizado el tiempo de transmisión de datos, y estos son recibidos, se hace el enlace con la nube en ThingSpeak™ para establecer la conexión y poder almacenar los datos en unas etiquetas propias que luego serán mostradas. Se aplican diferentes condicionales referentes al estado de los botones con enlace a las etiquetas de temperatura y humedad para mostrar la información en la pantalla con los datos almacenados.

Partiendo del primer acercamiento con el sistema y sus componentes para la obtención de información, se priorizará la verificación de funcionamiento y la forma como se reciben los datos para que posterior a ello se determinen los requisitos necesarios para el diseño de la arquitectura del software. Esto se realizará con el fin de proponer una estructura lógica de desarrollo y comunicación, de tal forma que, se puedan visualizar los posibles obstáculos durante el proceso de mejora continua.

### **3.3 Implementación**

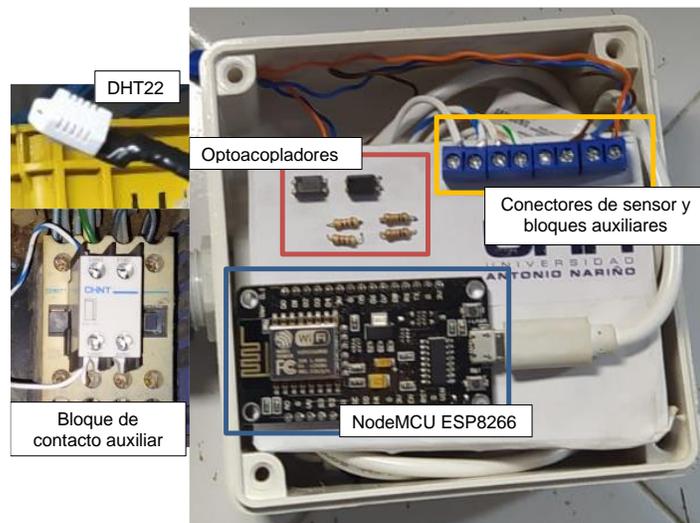
con el objetivo de instalar el sistema de monitoreo se planeó la instalación en dos fases por la disponibilidad que nos brindó el cliente, la primera parte fue la instalación de la caja eléctrica, con la placa NodeMCU ESP8266 y sensor DHT22. La segunda parte fue la instalación del cable apantallado, la conexión de los bloques de contacto y los optoacopladores.

#### **3.3.1 Hardware en campo**

En resumen, el sistema de monitoreo consta de una fuente de alimentación de 5V/2A, borneras para conectar el sensor y los bloques auxiliares, así mismo los optoacopladores que permiten la separación de la potencia del bloque de contacto auxiliar con la electrónica de la tarjeta ESP8266. La

Figura 3-12 muestra la forma del sistema y su distribución interna, así como el sensor y bloque de contacto auxiliar.

Figura 3-12. Hardware del sistema de monitoreo



Fuente: Autores

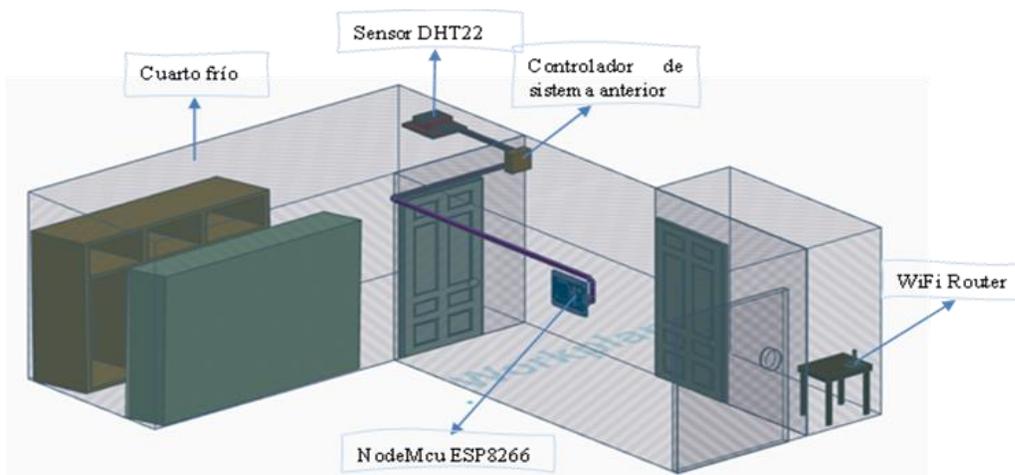
Para la construcción del hardware el sensor fue instalado en el interior del cuarto frío cerca de la puerta de ingreso y, fuera de este, la placa NodeMCU EPS8266 que se encuentra conectada con la red inalámbrica en una oficina ubicada enfrente de la placa instalada. El sensor es conectado en los pines de tierra y voltaje a la placa, como también el pin de datos que es el de recepción de información. Debido a las dimensiones del cuarto frío, se adquirieron otros elementos como el cable UTP Cat 6A para transmisión de datos y eliminación de ruido al recibirlos, cable dúplex #14 para la alimentación de voltaje alterna, toma corriente, fuente de alimentación con cable de datos para el ESP8266 y caja de proyectos pequeña. Teniendo en cuenta lo anterior, cabe resaltar que el enfoque de selección de los diferentes materiales y componentes es el bajo costo de adquisición sin perder la correcta funcionalidad del sistema.

Para monitorear el estado ON-OFF de los compresores se toma una señal de la línea de alimentación de cada compresor, por lo que se va a requerir colocar un bloque de contacto auxiliar en el contactor de potencia de cada compresor y realizar una conexión del contacto normalmente abierto. Dicha señal se llevará con cable apantallado para evitar las interferencias por inducción electromagnética, ya que el cable estará expuesto al circuito de potencia de los compresores, además, se utilizará un optoacoplador en cada uno para

aislar el voltaje de campo con el que trabaja el compresor y el voltaje DC con el que se emitirá la señal al microcontrolador como se muestra en la Figura 3-12.

Las conexiones se realizarán con cable UTP entre la fuente de voltaje 5V (pin de ESP8266) y el contactor normalmente abierto del compresor 1 (K1), luego otro UTP del contactor a la señal que activa el optoacoplador, lo mismo para el compresor 2 (K2), como lo muestra Figura 3-12. Cada optoacoplador emitirá una señal al microcontrolador cuando su respectivo compresor este encendido, ya que se estaría utilizando el contactor de potencia que enciende dicho compresor. A continuación, el sensor se conecta por medio del cable UTP Cat6A, se pasó por la canaleta y se ubicó junto al sensor del sistema de monitoreo anterior. Mientras, se ubicó el ESP8266 por fuera del cuarto frío lo más cercano posible al módem de internet para mantener una intensidad de señal estable, el ESP8266 se posicionó dentro de la caja de policarbonato para protegerla de peligros externos y procurar la estética en la instalación. La ubicación del sensor en el cuarto frío y de la tarjeta NodeMCU se muestran en la figura 3-13.

Figura 3-13. Esquemático de ubicación del sensor DHT y la tarjeta ESP8266.

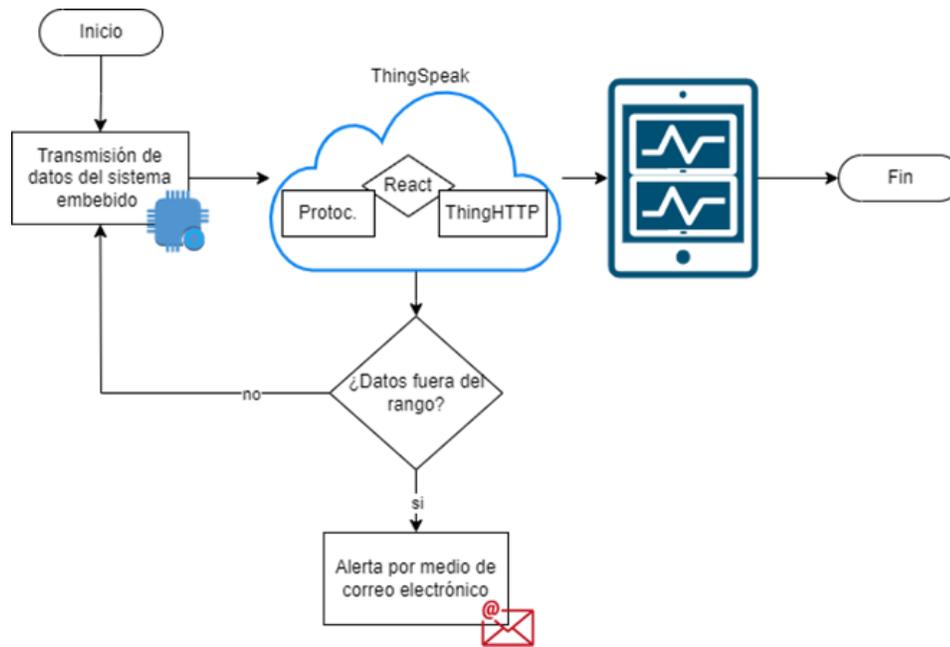


Fuente: Autores

### 3.3.2 ThingSpeak™

Según las funciones de ThingSpeak™, su diagrama de bloques queda diseñado como se muestra en la Figura 3-14.

Figura 3-14. Diagrama de bloques ThingSpeak™



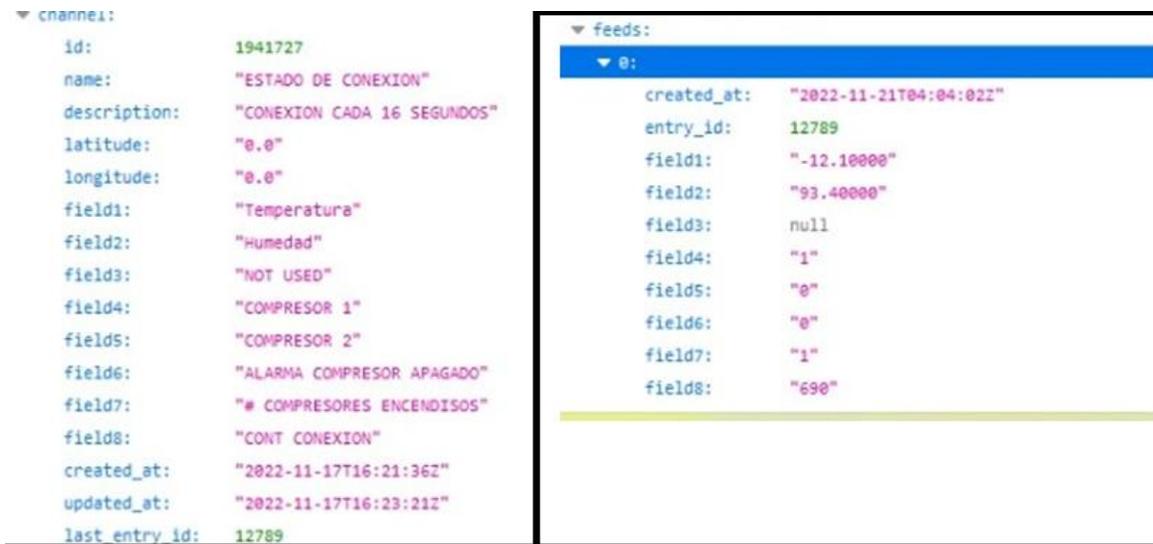
Fuente: Autores

La conexión entre la información que recopila la etapa de control con su función de detección mediante los sensores y la aplicación será por medio del servicio en la nube ThingSpeak™, en la cual se registran los datos obtenidos de temperatura, humedad relativa y estado ON/OFF de los compresores. Se utiliza JSON (*JavaScript Object Notation*) que es el formato empleado para realizar el intercambio de los datos entre diferentes sistemas independientemente del lenguaje de programación para enviar los datos desde el sistema embebido hasta ThingSpeak™ que los visualiza en su interfaz de usuario.

ThingSpeak™ se configuró en dos canales, el primero para recibir los datos cada 15 segundos que es el tiempo mínimo establecido en el servidor de thinspspeak para actualizar de datos. El segundo canal recibe el dato cada 12 minutos con el que se busca visualizar un histórico aproximadamente de las últimas 12 horas, ya que cada grafica muestra un máximo de 60 datos de temperatura y cantidad de compresores encendidos. En el primer canal se reciben los datos de temperatura, humedad, estado actual de compresor 1 y

compresor 2, señal de alarma de dos compresores apagados por más de una hora y una señal de un contador para establecer que el dispositivo en campo está en línea y enviando datos al servidor. en el segundo canal se recibe los datos de temperatura e información del estado de los compresores, por último, se realizó una comparación con un patrón de referencia calibrado y certificado, como método de validación del sistema de monitoreo. Para desarrollar la interfaz gráfica se definió el diseño visual, los objetos de la aplicación y recibimos la información de los datos enviados de la plataforma ThingSpeak™ usando el enlace JSON obteniendo esos datos en forma de dos matrices como se muestra en la Figura 3-15.

Figura 3-15. Matriz de configuraciones generada por ThingSpeak™



Fuente: Autores

De la anterior figura (3-14), en la parte izquierda “channel1” corresponde a la información de identificación del canal y nombres de las variables. En la parte derecha se observa la matriz 2 “feeds” que corresponde al valor de cada variable. Luego en el desarrollador de la aplicación se definieron las variables: temperatura, humedad, compresor1, compresor2

y se asignó cada valor de la matriz 2 a su respectiva variable seleccionando el elemento de la lista requerido.

### 3.3.3 Aplicación móvil

Se establecen distribuciones de la pantalla con divisiones lógicas para facilitar la visualización de las variables como temperatura, humedad, estado ON/OFF de los compresores y también la alerta al correo cuando presente falla.

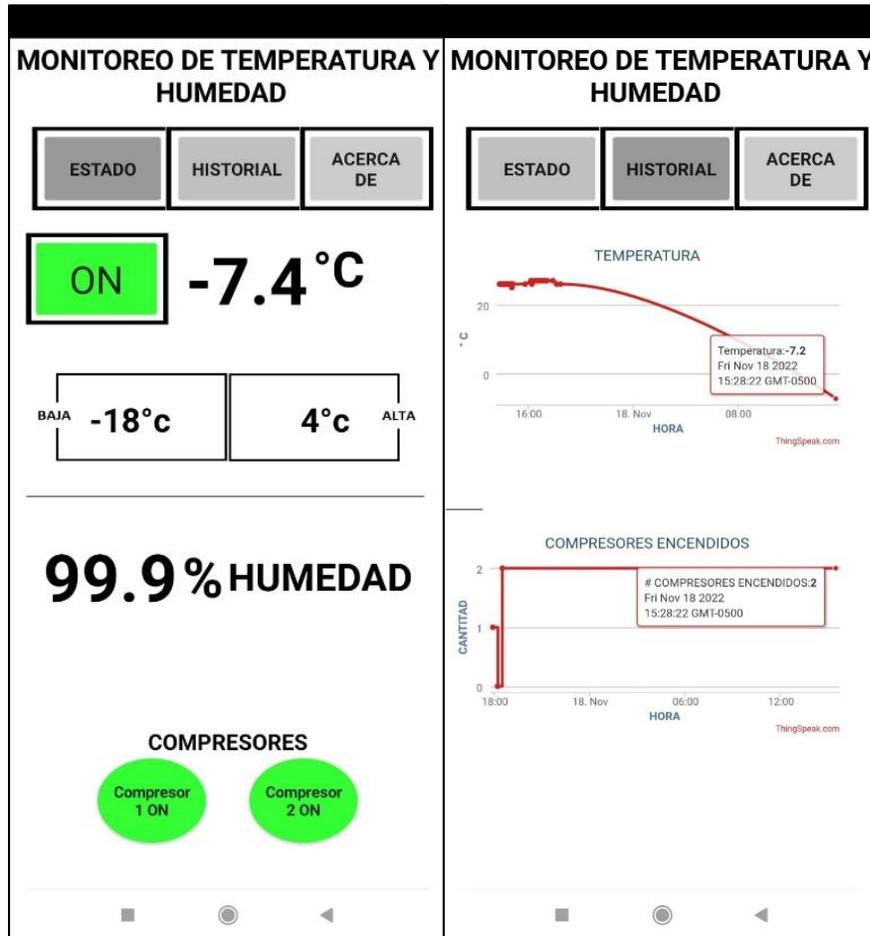
Tabla 3-4. Descripción de módulos del software

<b>Diseño visual</b>		Dividimos la pantalla en 3 disposiciones, título que abarca el 10% de la pantalla, menú de pestañas que abarca el 15% y el 75% restante para visualizar el contenido de cada pestaña.
<b>Pestaña estado</b>	<b>Sección de temperatura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra el último valor recibido de temperatura, que se actualiza cada 15 segundos.</li> <li>• Tiene una etiqueta que muestra el valor 4°C, identificando que un valor superior a este la temperatura es alta y se coloca en color rojo.</li> <li>• Tiene un botón para visualizar en forma horizontal los últimos 60 datos que se obtuvieron de intervalos de 15 segundos y un texto explicando las condiciones de temperatura que se deben seguir en la empresa.</li> </ul>
	<b>Sección de Humedad</b>	Muestra el último valor recibido de humedad. Tiene un botón para visualizar en forma horizontal los últimos 60 datos que se obtuvieron de intervalos de

		15 segundos y un texto explicando las condiciones de humedad relativa que se deben seguir en la empresa.
	<b>Sección de conexión</b>	Muestra si el sistema de monitoreo está funcionando o no está funcionando y muestra el estado ON/OFF de cada compresor
	<b>Pestaña Historial</b>	Muestra un historial de aproximadamente las últimas 12 horas del comportamiento de la temperatura y la cantidad de compresores encendidos
	<b>Pestaña Acerca de</b>	Muestra un texto explicando el fin de la aplicación, la versión, el año, los desarrolladores y el logo de la universidad agregado con el visualizador de imágenes del desarrollador de MIT.
	<b>Módulo de alerta</b>	El sistema también dispone <b>de un módulo de alerta</b> mediante correo electrónico, esto gracias a la aplicación React de ThingSpeak™

Para la configuración y creación de las gráficas se utilizó la función de VisorWeb en el desarrollador MIT App Inventor, que permite su vinculación mediante un enlace con la gráfica generada con ThingSpeak™. De esta forma queda construida una aplicación móvil para el sistema de monitoreo que permite a un usuario autorizado visualizar los parámetros de refrigeración y el estado de los compresores. La figura 3-16 muestra la versión final de la interfaz de la aplicación móvil. En esta versión, presenta tres botones que corresponden a la pestaña de Estado, Historial y Acerca de.

Figura 3-16. Aplicación móvil del sistema de monitoreo.



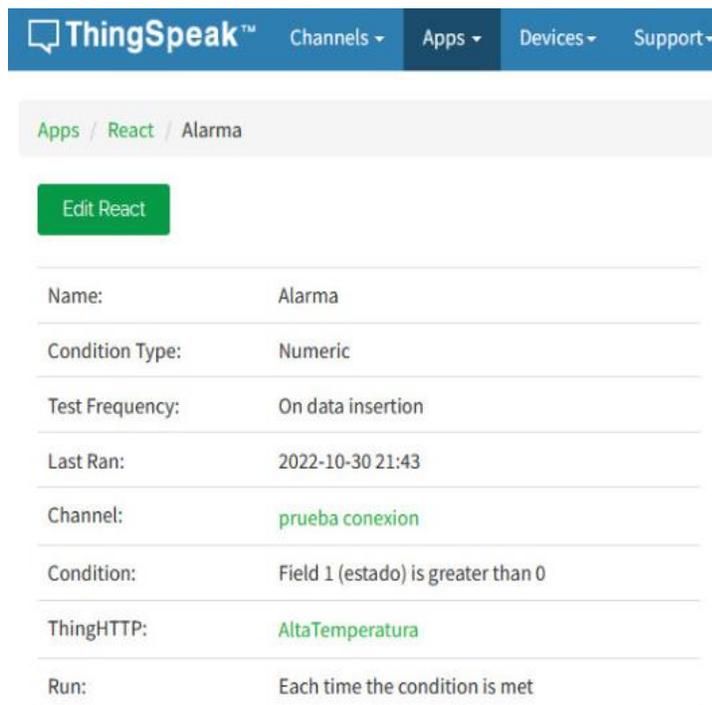
Fuente: elaboración propia.

En esta interfaz, la pestaña de “Estado” muestra los valores más recientes de las variables medidas en campo del sistema de refrigeración, entre los que están temperatura, humedad relativa y estado ON/OFF de compresor 1 y 2. La pestaña de Historial muestra la gráfica con el histórico de datos almacenados en el servidor y por último acerca de que despliega la información relacionada al desarrollo de la aplicación. Durante la implementación del sistema se empleó una versión previa de la aplicación móvil mostrada en esta sección.

El sistema también dispone de un módulo de alerta mediante correo electrónico, esto gracias a la aplicación React de ThingSpeak™ que permite configurar una acción

dependiendo de las condiciones establecidas para las variables medidas. La Figura 3-17 muestra la configuración del React alarma, se definió la condición de tipo numérica y que sea mayor que 0, cuando se cumple la condición del react este activa la acción configurada en este caso una solicitud HTTP de ThingHTTP con nombre AltaTemperatura.

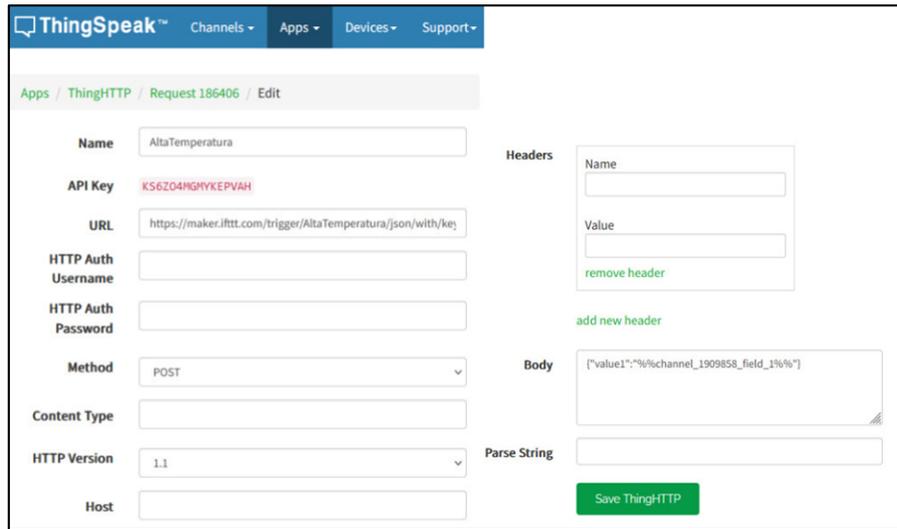
Figura 3-17. Configuración del React Alarma.



Fuente: Autores

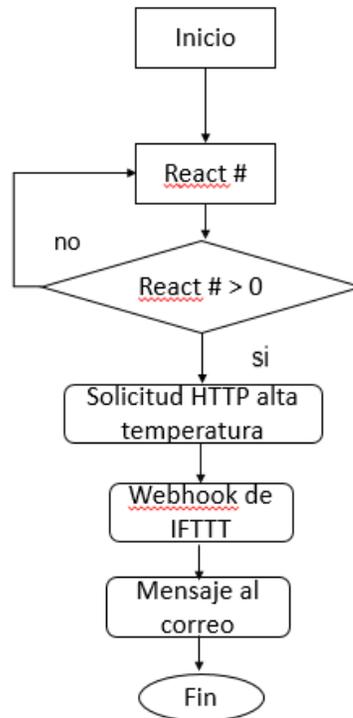
El ThingHTTP, vea Figura 3-18, entonces realiza una solicitud HTTP al servicio webhook de IFTTT, este es un servicio web externo que permite crear un subprograma que actúa en respuesta de una acción.

Figura 3-18. Configuración del ThingHTTP AltaTemperatura



Fuente: Autores

Figura 3-13-19. Diagrama de flujo de Configuración del React Alarma



Fuente: Autores

## 4 Resultados y discusión

### 4.1 Pruebas del sistema de monitoreo

La Figura 4-1 muestra la interfaz de la aplicación. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** la medición de la humedad en el cuarto frío, en un valor de 99.9% dentro del rango de operación normal entre 90% y 100%. Por otro lado, la Figura 4-3 es el comportamiento de la temperatura cuando se deja abierta la puerta del cuarto frío, por más de 5 minutos. La recolección de los datos en esta prueba se realizó con un muestreo de 10 minutos, siendo la medición de la temperatura a las 16:10 horas de  $-4.7^{\circ}\text{C}$  y a las 16:20 horas de  $0.1^{\circ}\text{C}$ .

Figura 4-1. Estado ON/OFF monitoreo y humedad



Fuente: Autores

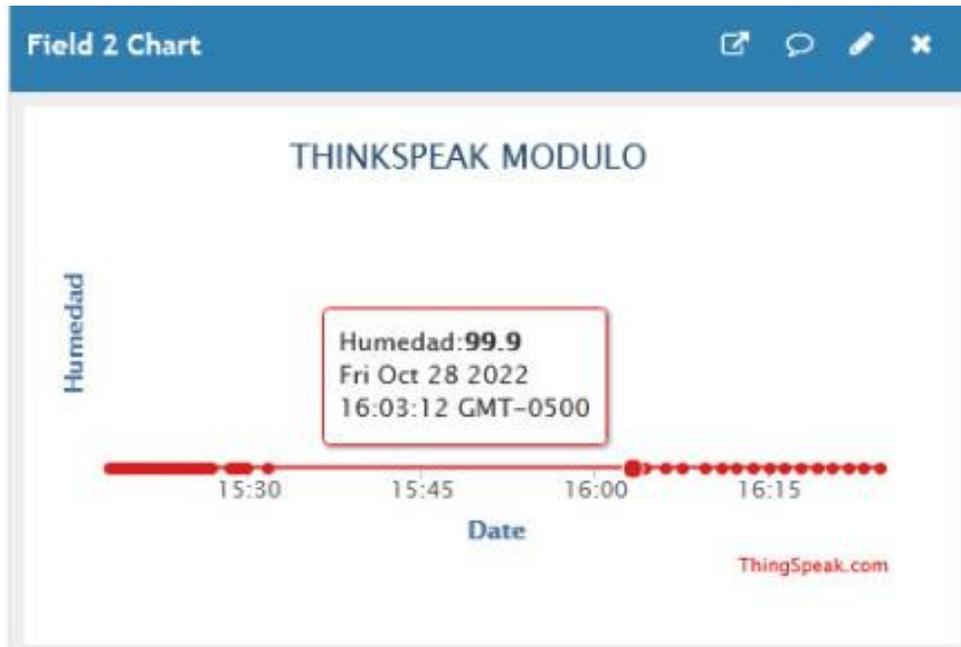
Tabla 4-1. Muestreo por 10 minutos de recolección

Indicación	Patrón	Corrección	Incertidumbre	Factor de cobertura
Promedio ( $^{\circ}\text{C}$ )	Corregido ( $^{\circ}\text{C}$ )	( $^{\circ}\text{C}$ )	( $^{\circ}\text{C}$ )	

-3.6°	-3.4	0.2	1.1	2.00
-------	------	-----	-----	------

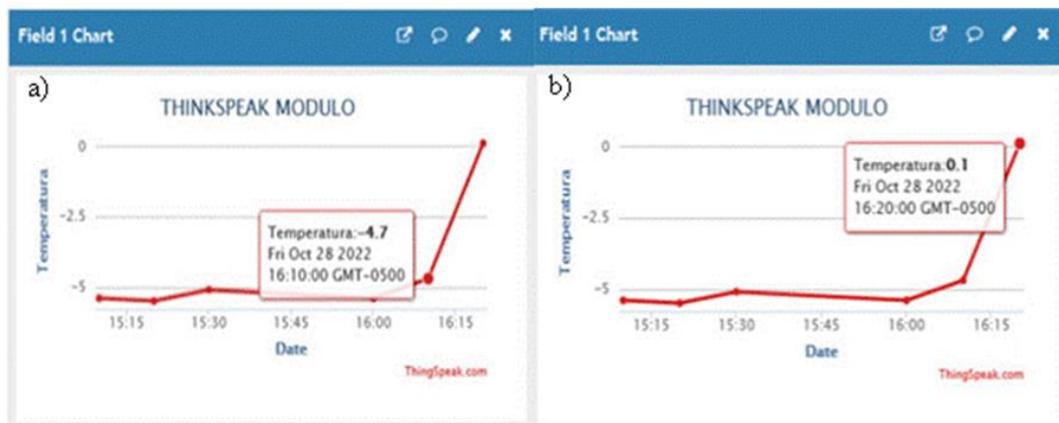
Fuente: informe de calibración de sensor de temperatura.

Figura 4-2. Gráfica de humedad



Fuente: cuenta de autores en ThingSpeak™

Figura 4-3. Grafica de temperatura a) 16:10 y b) 16:20 en el servidor ThingSpeak™



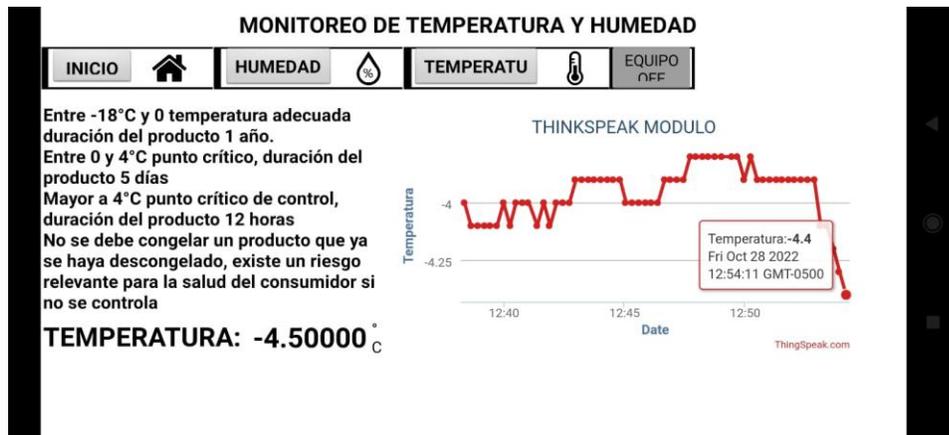
Fuente: cuenta de autores en ThingSpeak™

Por último, la interfaz móvil desarrollada para que el usuario final pueda hacer una revisión del estado de las variables de temperatura y humedad del cuarto frío puede ver en la Figura 4-. La interfaz cuenta con tres botones en la parte superior: inicio, humedad y temperatura, los cuales definen que información mostrar en la pantalla de la aplicación. Los botones de temperatura y humedad muestran una gráfica de las mediciones históricas, el valor actual y los puntos críticos de operación para cada variable.

Figura 4-4 Última versión de la App



Figura 4-5. Aplicación móvil versión previa de monitoreo en planta de temperatura y humedad



Fuente: Autores

Durante la implementación del sistema se realizó una prueba comparativa de los valores medición entre el sistema de monitoreo y un sistema patrón de medición (Termómetro digital con termopar tipo K) por parte de la empresa Metrocaribe, con el propósito de validar la incertidumbre del sistema de monitoreo, véase anexo 3.

El webhook de IFTTT nos permite crear y recibir actualizaciones de sus aplicaciones, es una forma sin código de vincular e interconectar una gran cantidad de aplicaciones comerciales. webhook de IFTTT se encarga de enviar el mensaje de alarma al correo electrónico configurado, vea Figura 4-.

Figura 4-6. Mensaje alarma enviado al de correo cuando se presenta una alteración

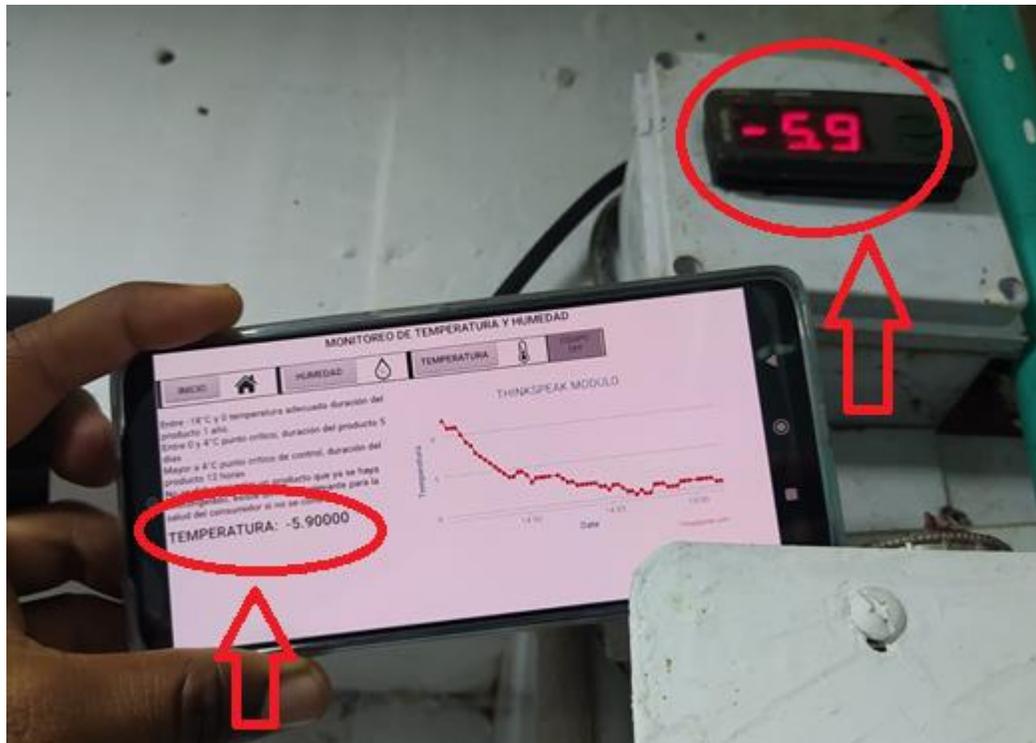


Fuente: Autores

## **4.2 Comparación operacional de sistemas anterior y actual**

En la Figura 4- se muestra el sistema anterior de medición de temperatura no cuenta con la medición de la humedad relativa, la cual es importante para determinar el posible estado de los alimentos dentro del cuarto frío, funcionalidad que si posee el sistema propuesto. Ambos cuentan con un rango de medición adecuado para el cuarto frío con una resolución igual a 0.1°C. De acuerdo con las funciones del sistema anterior, la supervisión de la temperatura es de observación directa sobre el panel del dispositivo y el historial se realiza por medio de un botón integrado sobre el panel del controlador, sin embargo, esto solo registra la temperatura más baja o alta en durante un periodo de tiempo no especificado en el datasheet, lo que dificultad su uso. La Tabla 4-2 muestra un listado de las funcionalidades y características principales de cada sistema.

Figura 4-7. Comparativa del programa con el sensor de temperatura



Fuente: Autores

El sistema de monitoreo propuesto, lleva un registro en tiempo real de toda la información cada 12 minutos, con una frecuencia adecuada que permite monitorear el comportamiento interno de la temperatura y humedad. Esto, con el objetivo de poder tomar acciones rápidas en caso de que alguna de las dos o ambas presenten alguna variación.

Tabla 4-2. Comparativa de sistema instalado y sistema propuesto

Elementos del sistema	Controlador MT512Ri (Sistema anterior)	ESP8266 (Sistema propuesto)
Medición de temperatura	✓	✓
Medición de humedad	X	✓
Estado ON/OFF compresor	X	✓
Visualización de variables de forma remota	X	✓
Alertas configurables	X	✓

Almacenamiento histórico de mediciones de temperatura y/o humedad	✓*	✓
Visualización de mediciones de temperatura y/o humedad de las últimas 12 horas	X	✓
Interfaz comparativa de estados variables	X	✓
<i>*Sólo realiza el registro de las temperaturas máxima y mínima</i>		

Fuente: Autores

Además, nos permite identificar si dejan o no, de funcionar los compresores por cualquier falla. Adicionalmente, con esto se instala en el sistema lo necesario para emplear una comunicación y poder visualizarla por medio de una aplicación móvil. Además, si hay alguna alerta esta es enviada al correo electrónico. Por consiguiente, se estimó una reducción en costos de personal de supervisión constante para el cuarto frío como se menciona anteriormente

### 4.3 Análisis comparativo de costos de los sistemas instalados vs los sistemas anteriores

Tabla 4-3 se observa el costo del sistema anterior (Controlador MT512Ri) el cual presenta desventajas como la expreso requerimiento de lectura en sitio de la temperatura, inexistencia de sistema de alarma por fallas o mantenimiento de equipos y jornadas extras por parte operarios del cuarto frío. La empresa tiene asignado en su cronograma de turnos anual, por lo menos un operario en el turno de domingo y festivos, algunos con recargo nocturno, lo que implica un costo semanal ligado al funcionamiento del sistema de monitoreo actual. Teniendo en cuenta que, para un trabajador que devengue un SMLVM

en 2022, el costo de una hora extra es de \$5.208, y si es en día dominical la hora extra es de \$8.334, cuando se da el caso en un día nocturno y feriado la hora extra es de \$10.417.

Tabla 4-3. Pagos de horas extras festivas al año a empleados.

Promedio de domingos y festivos del año (días)	Tiempo extra de domingo y festivos que trabaja el empleado (horas)	Cantidad de horas anuales al año por horas del trabajador (horas)	Valor de hora extra festivas (COP)	Total, de pago por horas extras anuales (COP)
64	2	64 x 2 = 128	\$8.334	<b>\$1.066.752</b>

Fuente: autores

Tabla 4-4. Costos de sistema de monitoreo anterior (Controlador MT512Ri)

Materiales	Cantidad	Unidades	Costo (COP)	Total
Controlador MT512Ri	1	Unidad	\$ 180.000	\$ 180.000
Termocupla de 10 kΩ	1	Unidad	\$ 18.500	\$ 18.500
Cable dúplex	3	Metros	\$ 4.000	\$ 12.000
Caja eléctrica 10x10cm	1	Unidad	\$ 4.500	\$ 4.500
Prueba de trazabilidad termocupla	1	Unidad	\$ 100.000	\$ 100.000
Promedio de horas extras anuales	128	Horas	\$ 8.334	\$1.066.752
Instalación	1	Unidad	\$ 250.000	\$ 250.000
<b>Total</b>				<b>\$ 1.631.752</b>

Fuente: Autores

Por su parte, el sistema de monitoreo instalado presentó un costo aproximado de más un millón y medio de pesos como se muestra en la Fuente: autores

Tabla 4-4. En contraste la Tabla 4-5 muestra que los costos totales del sistema de monitoreo propuestos son apenas del 38% del sistema actual instalado, representando un ahorro de casi un millón de pesos mensuales ahorrados principalmente por el hecho de no requerir personal operativo que realice la lectura de los valores de temperatura del cuarto frío en domingos y festivos. De esta forma se propicia un entorno tecnológico ambientado con IoT que procura reducir las pérdidas de alimentos en descomposición y el control de las variables que permiten la conservación de estos alimentos.

Tabla 4-5. Costos de sistema de monitoreo propuesto (con ESP8266)

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precios</b>	<b>Total</b>
ESP8266	1	\$ 36.500	\$ 36.500
DHT22	1	\$ 38.500	\$ 38.500
Cable STP cat6 100% cobre X mts	6	\$ 9.000	\$ 54.000
Caja eléctrica 10x10 cm.	1	\$ 4.500	\$ 4.500
Toma corriente de caucho	1	\$ 3.500	\$ 3.500
Fuente de poder genérica	1	\$ 12.000	\$ 12.000
Prueba de trazabilidad DHT22	1	\$ 100.000	\$ 100.000
Mano de obra e instalación	1	\$ 250.000	\$ 250.000
Cable STP cat6 par trenzado x mts	15	\$ 9.000	\$ 135.000
Optoacoplador	2	\$ 700	\$ 1.400
Resistencias	4	\$ 50	\$ 200
Baquelita	1	\$ 3.000	\$ 3.000
Borneras	4	\$ 600	\$ 2400
Bloques de contacto	2	\$ 6.500	\$ 13000
Total			\$ 654.000

Fuente: Autores

Lo anterior, hace imperante el uso de este sistema de monitoreo y control de temperatura y humedad en la empresa Inversiones Medina Verbel S.A.S teniendo en cuenta las condiciones de control son específicas para este tipo de empresas.

## **5 Conclusiones y recomendaciones**

### **5.1 Conclusiones**

- Se diseñó un sistema de monitoreo para las variables temperatura, humedad relativa y estado ON/OFF mediante arquitectura IoT adaptada de una arquitectura industrial, uso de sistemas embebidos, servicios en la nube.
- Se implementó y diagnosticó el sistema de monitoreo mediante pruebas que mostraron su confiabilidad en el registro de la temperatura ambiente del cuarto frío comparable con la de un instrumento patrón certificado. Por su parte la plataforma ThingSpeak™ y la aplicación móvil demostraron ser confiable y versátil como plataforma de servicios de almacenamiento y gestión de datos en la nube, al presentar una disponibilidad del 100% del tiempo al ser requerida por un usuario y generar las alertas programadas correctamente al encontrarse las variables de temperatura, humedad relativa y estado ON/OFF en los límites críticos de control, dando solides al sistema de monitoreo implementado.
- Existe una reducción en los costos para la monitorización del cuarto frío al utilizar el sistema propuesto en comparación al sistema instalado en el cuarto frío de la empresa Medina Verbel S.A.S. Esta reducción se debe a que el sistema de monitoreo propuesto es completamente de lectura remota y no requiere la presencia de algún empleado, por lo que el costo por remuneración de dominicales y festivos se elimina.

## 5.2 Recomendaciones

- Para el sistema propuesto, recomendamos utilizar cable apantallado par trenzado para la transmisión de señales no mayor a 20metros con el fin de evitar ruido e interferencia en las señales utilizadas, además utilizar optoacopladores que tienen el mismo fin, y es importante sobresaltar los optoacopladores ya que se pueden omitir en el diseño.

- En segundo lugar, es importante que cada instrumento debe por lo menos hacer un estudio de trazabilidad con un patrón de medida con certificado de calibración vigente, con el fin de garantizarle al cliente que el proyecto va a tener mediciones confiables.
- Anualmente se debe realizar un mantenimiento a los sensores y al prototipo. Para aprovechar este momento, se debería hacer un estudio de trazabilidad antes del mantenimiento para garantizar que nuestros instrumentos siguen arrojando medidas confiables, y en caso tal de que no sea así, ajustar estas mediciones dentro de la programación con el método de escala durante el mantenimiento anual del sistema de monitoreo.
- El sistema no es resistente al agua ni a sobrecargas eléctricas, por lo que no se garantiza cualquier falla que provenga de estas situaciones. Se recomienda usar un equipo que sea capaz de soportar estas condiciones las cuales posiblemente puedan estar en la práctica durante la evaluación

## **5.3 Trabajos futuros**

### **5.3.1 Monitoreo del consumo eléctrico del sistema de refrigeración**

Teniendo en cuenta que solo se tomó el estado on/off de los compresores, podemos adicionar al prototipo actual unos sensores no invasivos de corriente para monitorear el consumo de cada compresor, esto nos va a permitir conocer si cada compresor está

trabajando bien, ya que cada compresor presenta un consumo aproximado de 20A, en cualquier caso que se presente un bajo rendimiento por algún fallo mecánico del compresor, este puede presentar un menor consumo de corriente lo cual nos va a permitir notificar esta novedad y podrán intervenir el equipo con mayor rapidez.

### **5.3.2 Diseño del monitoreo local**

Teniendo en cuenta las múltiples variables que se pueden monitorear, podemos diseñar un sistema de monitoreo local a través de una pantalla colocada en las instalaciones de la empresa, donde los trabajadores puedan visualizar de manera local, todo el estado de los parámetros del sistema de refrigeración.



## 6 Anexos

### 6.1 Anexo 1: Cartas de solicitud de autorización de trabajo de grado

Cartagena, 10 de junio de 2022.

Señores:

**Inversiones Medina Verbel S.A.S**  
NIT: 901455954-2  
Teléfono: 304-2069580

Cordial saludo.

**Referencia:** solicitud de autorización para realizar proyecto de grado de la empresa Inversiones Medina Verbel s.a.s

Los estudiantes Sergio Martínez, identificado con Cedula de Ciudadanía 1.143.385.334 de Cartagena, y Franklin Ibarquén Cabrera identificado con Cedula de Ciudadanía 1.143.335.598 de Cartagena, de la carrera Ingeniería Electrónica de la universidad Antonio Nariño – Sede Cartagena. Nos dirigimos respetuosamente para solicitar su autorización para realizar nuestro proyecto de grado en su empresa, por ende, tener acceso a la misma con fines de obtener información que nos ayuden a desarrollarlo.

Agradecemos de antemano su valiosa colaboración.

Estudiantes  
Sergio Martínez 1143385334  
Firma  
Franklin 1143335598  
Firma

**INVERSIONES MEDINA VERBEL S.A.S**  
~~NIT: 901455954-2~~  
Firma Ashid Verbel Talente  
AS.758.028

## 6.2 Anexo 2: Programación del modulo WiFi del sistema de monitoreo

```

#include <ThingSpeak.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <DHT.h>

int comp1 = 0;           //Estado ON/OFF compresor 1
int comp2 = 0;           //Estado ON/OFF compresor 2
int cont=0;              //Contador de 12 minutos
int cont2=0;             //Contador de 15 segundos
int estcomp=0;           //Cantidad de compresores encendidos
int alarmComp=0;         //Alarma compresores apagados 1 hora
int contComp=0;          //Contador 1 hora compresores off
unsigned long channelID = 1941710; //canal de ThingSpeak 12 minutos
const char* WriteAPIKey = "RPCSCA10UAV6G2E1"; //APIKey ThingSpeak

unsigned long channelID2 = 1941727; //canal de ThingSpeak 16 SEGUNDOS
const char* WriteAPIKey2 = "SRRUWF0KPYKFNCBC"; //APIKey ThingSpeak

WiFiClient cliente;      // definir cliente wifi

DHT dht(4, DHT22);      // definir sensor DHT22

void setup() {
  Serial.begin(115200);  //iniciar comunicacion serial
  dht.begin();           // iniciar sensor DTH22
  pinMode(12, INPUT);    // Definir el pin 12 entrada digital
  pinMode(13, INPUT);    // Definir el pin 13 entrada digital

  WiFi.begin("INVERSIONE", "Inversiones12345*"); // definir usuario y
//contraseña de wifi

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) //while para no avanzar //mientras
conecta el wifi

```

```
    delay(1000);
    Serial.print("*");           // mensaje mientras conecta
}

    Serial.println("WiFi conectado!"); // mensaje de wifi conectado
    ThingSpeak.begin(cliente);       //cliente wifi para realizar //La
conexion al servidor ThingSpeak

}

void loop() {

    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) { //wile para breack en caso //de
desconexion de wifi. mediante operador "distinto de (!=) "
        delay(1000);
        Serial.print("*");
    }

    cont++;           //empieza contador de 12 min
    cont2++;         //empieza contador de 16 seg

    funciondht();    //llamar funcion de sensor
    compresores();  //llamar funcion de estado de compresores
    enviardatos();  //llamar funcion de enviar datos a servidor

    delay(1000);    //Tiempo de muestreo definido en 1 segundo
}

void(* ResetPorSoftware)(void) = 0; //funcion reset software por error
void funciondht() { //Funcion sensor DTH

    float temp = dht.readTemperature(); //Definir variable temperatura
    float humed = dht.readHumidity();   //Definir variable humedad
```

---

```

while (isnan(temp) || isnan(humed)){ //while para no avanzar en caso de
error de sensor mediante operador OR ||
  Serial.println("verificar comunicacion con el sensor");
  delay(2000);
  Serial.println("Reseteado...");
  delay(500);
  ResetPorSoftware(); // se llama la funcion reset por software
}

Serial.print("Temperatura: ");
Serial.print(temp);
Serial.println(" °C.");

Serial.print("Humedad Relativa: ");
Serial.print(humed);
Serial.println(" %.");

Serial.println(" ");
Serial.println(" ");

ThingSpeak.setField (1,temp); //enviar dato temperatura a //servidor
ThingSpeak ( Field 1)
ThingSpeak.setField (2,humed); //enviar dato humedad a servidor //ThingSpeak
( Field 2)
}

void enviardatos(){ //funcion enviar datos al servidor

if (cont>721) { // envia datos cada 12 minutos
  ThingSpeak.setField (7,estcomp);
  ThingSpeak.writeFields(channelID,writeAPIKey); //Canal al que llega el
dato enviado
  Serial.println("Enviando todos Los datos a ThingSpeak!"); //datos enviados
  cont =0; //Reiniciar contador de 12 minutos
}

```

```
}

if (cont2>15) {                                     //Enviar datos cada 15 segundos

    ThingSpeak.setField (4,comp1);                 //Enviar estado de compresor 1
    ThingSpeak.setField (5,comp2);                 //Enviar estado de compresor 2

    if (alarmComp==1){                             //Enviar alarma si duran 1 hora off
        ThingSpeak.setField (6,alarmComp);
    }

    ThingSpeak.setField (7,estcomp);                // usar el field 7 para enviar //datos
de #cantidad de compresores
    ThingSpeak.setField (8,cont);                  // usar el field 8 para enviar //datos
para verificar conexion
    ThingSpeak.writeFields(channelID2,WriteAPIKey2);

    cont2 =0;                                     //Reiniciar contaor de 15 segundos
}
}

void compresores(){
    comp1=digitalRead(12);                         // estado de compresor 1 on/off
    comp2=digitalRead(13);                         // estado de compresor 2 on/off

    if ((comp1 == HIGH)&&(comp2 == HIGH)){          // se cumple condicion //dos
compresores activos
        estcomp=2;                                 //variable = 2 compresores encendidos
        contComp=0;                                //Reiniciar contador 1 hora compresores off
        alarmComp=0;                               //No hay alarma por compresores apagados
    }
    else if ((comp1 == HIGH)||(comp2 == HIGH)){    //Se cumple condicion un
//compresor encendido
        estcomp=1;                                 //Variable = 1 compresor encendido
        contComp=0;                                //Reiniciar contador 1 hora compresores off
        alarmComp=0;                               //No hay alarma por compresores apagados
```

```
}  
else { //Se cumple condicion ningun compresor on  
    estcomp=0; //Variable = 0 compresores encendidos  
    contComp++; //Empieza contador de 1 hora  
}  
  
if (contComp>3600){ // si el contador llega a 1 hora  
    alarmComp=1; // Alarma = 1  
}  
  
Serial.print ("compresores activos: ");  
Serial.println(estcomp);  
Serial.print ("compresor 1: ");  
Serial.println(comp1);  
Serial.print ("compresor 2: ");  
Serial.println(comp2);  
Serial.print ("alarma compresor : ");  
Serial.println(alarmComp);  
Serial.print ("temp compresor : ");  
Serial.println(contComp);  
Serial.print ("temp envio datos : ");  
Serial.println(cont);  
}
```

## 6.3 Anexo 3: Certificado de calibración Metrocaribe

ORT: 11400



### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Código: F MC CTE  
 Fecha: 2021-07-26  
 Versión: 05  
 Página 1 de 2

#### LABORATORIO DE TEMPERATURA

**No. C6010-22**

**SOLICITANTE** : INVERSIONES MEDINA VERBEL S.A.S  
**DIRECCIÓN SOLICITANTE** : Barrio Chino Mercado de Bazurto Calle 30 Local 4213, Cartagena - Bolívar  
**LUGAR CALIBRACIÓN** : Instalaciones del cliente - Cuarto Frio  
**INSTRUMENTO** : Sensor de temperatura  
**FABRICANTE** : No Identificado  
**MODELO** : DHT22  
**NÚMERO DE SERIE** : No Identificado  
**CÓDIGO INTERNO** : No Identificado  
**INTERVALO DE MEDICIÓN** : -40 °C a 80 °C  
**RESOLUCIÓN** : 0,1 °C  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2022-10-28  
**FECHA DE CALIBRACIÓN** : 2022-10-28

#### METODO DE CALIBRACIÓN

Los datos de la calibración se obtuvieron empleando el método de comparación directa, entre las indicaciones del patrón y la del instrumento de prueba, según procedimiento P MC TE v06, basado en la norma NT VVS 103 : 1994-09.

#### CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura (°C):	Máxima 25,6	Mínima 25,4
Humedad Relativa (%hr):	58,0	55,0

#### TRAZABILIDAD

La calibración es trazable al sistema internacional de unidades (SI), a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones, que se establece con laboratorios acreditados en ISO/IEC 17025 o Institutos Nacionales de Metrología.

#### PATRONES

Instrumento	Código	Magnitud	Certificado No	Emitido Por	Fecha Calibración	Frecuencia Calibración
Termómetro Digital con Termopar Tipo K	TP MC 29	Temperatura	CL141989	METROCARIBE S.A.	2021-11-13	18 meses

#### FIRMA AUTORIZADA

**Autorizado Por:**

**Tigo. Jhordy Aquino R.**  
 Coordinador de Servicios

**Calibrado Por:** No Identificado

Este certificado sólo debe ser reproducido en forma total con aprobación escrita de Metrocaribe S.A.  
 Los resultados son válidos para el momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y hacen referencia únicamente al instrumento relacionado en este certificado.  
 Metrocaribe S. A., no es responsable del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

Dirección: Calle 64 No 47 - 102 Tel: 3494545 - 3512058 Barranquilla - Colombia  
 E-mail: gerencia@metrocaribe.com - dircomercial@metrocaribe.com

ORT: 11400



FABRICANTE : No Identificado  
 MODELO : DHT22  
 NÚMERO DE SERIE : No Identificado  
 CÓDIGO INTERNO : No Identificado  
 FECHA DE CALIBRACIÓN : 2022-10-28  
 PROCEDIMIENTO : P.MC.TE

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LABORATORIO DE TEMPERATURA

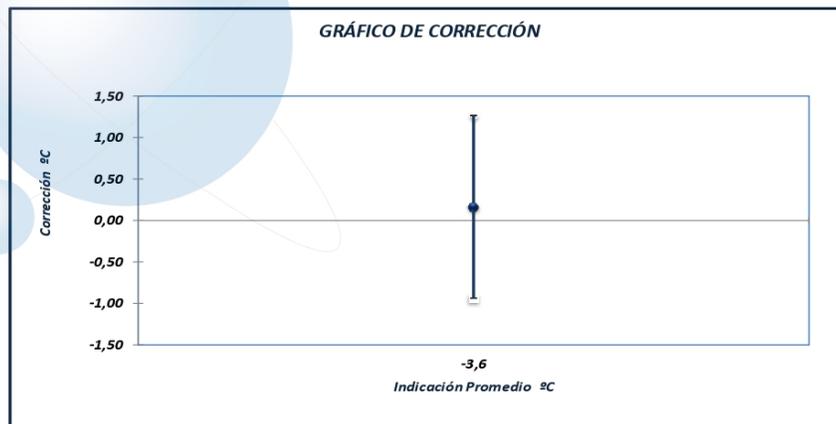
Código: F.MC.CTE  
 Fecha: 2021-07-26  
 Versión: 05  
 Página 2 de 2

No. C6010-22

#### TABLA DE RESULTADOS

Indicación Promedio (°C)	Patrón Corregido (°C)	Corrección (°C)	Incertidumbre (°C)	Factor de Cobertura
-3,6	-3,4	0,2	1,1	2,00

\* La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura "k" y la probabilidad de cobertura aproximada del 95 % y no menor a este valor.



#### EVALUACIÓN DE LA CALIBRACIÓN

Los datos obtenidos durante la calibración se reportan en la tabla de resultados de este certificado.

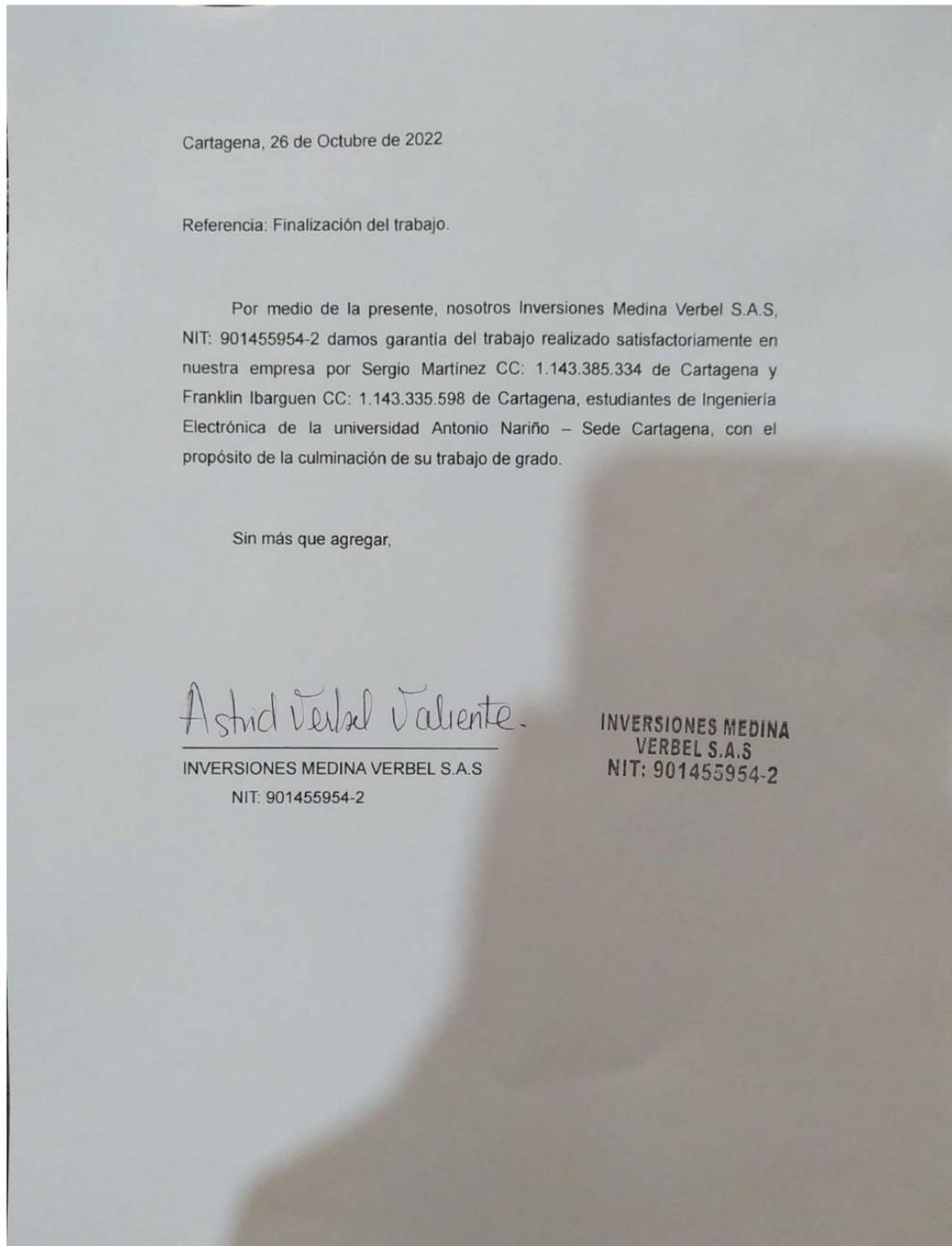
#### OBSERVACIONES

Ninguna.

#### FIN DEL CERTIFICADO

Dirección: Calle 64 No 47 - 102 Tel: 3494545 - 3512058 Barranquilla - Colombia  
 E-mail: gerencia@metrocaribe.com - dircomercial@metrocaribe.com

## 6.4 Anexo 4: Carta de finalización de trabajo de grado



## 6.5 Anexo 5: QR de descarga de la App móvil



**Carpeta drive para descargar apk de la app movil.**

[https://drive.google.com/drive/folders/118sDMVaHkvXzsDEE4R6aVBpMd3yTAfZW?usp=share\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/118sDMVaHkvXzsDEE4R6aVBpMd3yTAfZW?usp=share_link)

## 6.6 Anexo 3: Carta finalización del proyecto de parte la empresa Medina Verbel S.A.

Cartagena, 26 de Octubre de 2022

Referencia: Finalización del trabajo.

Por medio de la presente, nosotros Inversiones Medina Verbel S.A.S, NIT: 901455954-2 damos garantía del trabajo realizado satisfactoriamente en nuestra empresa por Sergio Martínez CC: 1.143.385.334 de Cartagena y Franklin Ibarquen CC: 1.143.335.598 de Cartagena, estudiantes de Ingeniería Electrónica de la universidad Antonio Nariño – Sede Cartagena, con el propósito de la culminación de su trabajo de grado.

Sin más que agregar,

*Astid Verbel Valiente.*

INVERSIONES MEDINA VERBEL S.A.S

NIT: 901455954-2

INVERSIONES MEDINA  
VERBEL S.A.S  
NIT: 901455954-2



## 7 Bibliografía

*Arduino*. (14 de 10 de 2022). Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

*MIT App Inventor*. (14 de 10 de 2022). Obtenido de <https://appinventor.mit.edu/about-us>

*NQA Organismo de certificación Global*. (14 de 10 de 2022). Obtenido de <https://www.nqa.com/es-mx/certification/standards/haccp>

*NQA Organismo De Certificación Global*. (14 de 10 de 2022). Obtenido de <https://www.nqa.com/es-mx/certification/standards/iso-22000>

*ThingSpeak*. (14 de 10 de 2022). Obtenido de [https://thingspeak.com/pages/learn\\_more](https://thingspeak.com/pages/learn_more)

Alaa Adel, A., Mai Mohamed, A. E., Nada Mohamed, M., Loa'a Ahmed, S., Nada, A., Yomna Tarek, A. A., . . . Hassan, M. (2019). Smart IoT Monitoring System for Agriculture with Predictive Analysis. *8th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST)*. Salónica.

Aosong Electronics Co.,Ltd. (s.f.). *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22*.

App Inventor Support: Comunity. (15 de Octubre de 2022). *Tutorials for MIT App Inventor*. Obtenido de Tutorials for MIT App Inventor: <https://appinventor.mit.edu/explore/ai2/tutorials>

Ayala Cavanzo, O., & Pulido Serrano, A. J. (2021). *Instructivo generacion de pedidos de alimentos unidades de operaci'no directa*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.

Barrera, A. (2018). *ESTUDIO DE PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES DE INTERNET DE LAS COSAS (IOT) EN SISTEMAS EMBEBIDOS*. Bogotá: Universidad de San Buenaventura.

- Burbano Baez, D. P. (2016). *Sistema de transmisión de datos inalámbrica mediante pulsos luminosos*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Castellano, G., Ramírez, R., & Sindoni V, M. J. (2016). Efecto de la temperatura de almacenaje sobre las características organolépticas de frutos de limón persa. *Sistema de Información Científica*, 8-14.
- Consortium, I. I. (2017). *Industrial Internet Consortium: The Industrial Internet of Things Volume G1*:. Obtenido de <https://www.iiconsortium.org/pdf/IIRA-v1.9.pdf>
- Evans, D. (2011). *Internet de las cosas: Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo*.
- Gargallo López, B., & Suárez Rodríguez, J. (2017). *La integración de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación en la escuela. Factores relevantes*. Valencia: Universidad de Valencia.
- Gómez, J. E., Castaño, S., Mercado, T., García, J., & Fernández, A. (2018). Sistema de internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de cultivos protegidos». *Revista Ingeniería e Innovación*, 24-31.
- Guachi Sanipatin, D. C. (2017). *Análisis del Sistema de Control Interno y su Impacto en el Proceso de Ejecución Presupuestaria del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Jipijapa*. Manabí: Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Hernández Hernández, C. A., Vargas Capera, Y. S., & Escarraga Escobar, N. E. (2022). *Análisis, diseño, desarrollo y despliegue de un sistema informático para el monitoreo de temperatura y humedad de especies de flora, utilizando iot, en el municipio de Girardot en el vivero Guabinal, para el 2022*. Tesis.
- Hurtado M, G. (1996). *Análisis del comportamiento promedio y tendencias de largo plazo de la temperatura máxima media para las regiones hidroclimáticas de Colombia*. Bogotá: IDEAM.

- Jimenez-Guamán, P. F., & Cabrera-Mejía, J. B. (2020). Sistema de monitoreo remoto del consumo energético para hogares en la ciudad de Cuenca, basado en principios de IoT y servicios en la nube. *Polo del Conocimiento*, 5(51), 443-458.
- Marriaga Barroso, A. P. (2018). *Sistema de monitoreo para equipos de refrigeración orientado a internet de las cosas*. Barranquilla: Universidad de la Costa.
- Mendoza Padilla, J. E., & Marín Mendoza, M. A. (2018). Sistema de Monitoreo y Control de Variables del Entorno Doméstico Orientado a IoT. *Gestión Competitividad E Innovación*, 6(2), 52-66.
- MinAgricultura. (26 de Junio de 2022). *Agronet*. Obtenido de Países de América del Sur impulsan el consumo de pescado: <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Pa%C3%ADses-de-Am%C3%A9rica-del-Sur-impulsan-el-consumo-de-pescado.aspx>
- Ministerio de salud y protección social. (2013). *Resolución 2674*. Bogotá D.C.: MinSalud.
- Mite Cruz, O. A. (2018). *Sistema de monitoreo de temperatura en cámaras de refrigeración para la empresa Degermicia S.A*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Observatorio ambiental de Cartagena de Indias. (25 de Diciembre de 2007). *TEMPERATURAS MÁXIMAS, MEDIAS Y MÍNIMAS*. Obtenido de EPA Cartagena: <https://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/calidad-ambiental/sistema-urbano/temperaturas-maximas-medias-y-minimas/>
- Paez-Logreira, H., Ramirez-Cerpa, E., Diaz-Charris, L., Lopez-Torres, S., & Miranda-Pupo, C. (2017). Control automático del set-point de un sistema de HVAC con Arduino, para un consumo energético eficiente y racional. *Espacios*, 1-18.
- Posada Prieto, F. (14 de 10 de 2020). *Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado*. Obtenido de INTEF: <https://intef.es/Noticias/observatorio-de-tecnologia-educativa-aplicaciones-mit-app-inventor-2/>

- Prathibha, S. R., Anupama, H., & Jyothi, M. P. (2017). IoT Based Monitoring System In Smart Agriculture. *International Conference on Recent Advances in Electronics and Communication Technology*. Bangalore.
- Ramírez Madrid, D. A., & Rodríguez Hernández, E. D. (2016). *Diseño de un método para identificar necesidades y oportunidades para la implementación de Internet de las cosas (IoT) aplicable a oficinas de trabajo donde permanezcan entre 30 y 70 personas y planteamiento de un caso práctico de solución*. 2016: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Salazar, J., & Silvestre, S. (2017). *Internet De Las Cosas*. Praga: České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnická.
- Seiter, K. (2021). *News Media Trust and Mistrust During the COVID-19 Pandemic*. Fayetteville: University of Arkansas.
- Suárez, J. (2019). *PROTOTIPO DE DISPOSITIVO ELECTRÓNICO IOT PARA LA ADQUISICIÓN DE DIVERSOS PARÁMETROS FÍSICOS EN LA TRANSPORTACIÓN PÚBLICA*. La libertad: Universidad Península de Santa Elena.
- Watson, D. (14 de 10 de 2022). *The Engineering Projects*. Obtenido de <https://www.theengineeringprojects.com/2018/10/introduction-to-nodemcu-v3.html>