



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**Y APLICADAS**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

**Desarrollo de un sistema IoT para una cámara de crianza de moscas**

PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTROMECÁNICO

**AUTORES:**

Joel Sebastián Rodríguez Simba

Neris Humberto Soto Cuchipe

**TUTOR:**

Ing. MSc. Luigi Orlando Freire Martínez

Latacunga, agosto 2024

**DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Nosotros, Soto Cuchipe Neris Humberto, con cédula de ciudadanía No. 0550219257, Rodríguez Simba Joel Sebastián, con cédula de ciudadanía No. 1723765655 declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica: **“DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT PARA UNA CÁMARA DE CRIANZA DE MOSCAS”**, siendo el Ing. Luigi Orlando Freire Martínez, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en la presente propuesta tecnológica, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 19 de agosto de 2024



Neris Humberto Soto Cuchipe  
C.C: 0550219257




Joel Sebastián Rodríguez Simba  
C.C: 1723765655

**AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

En calidad de Tutor del Proyecto de investigación sobre el título:

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT PARA UNA CÁMARA DE CRIANZA DE MOSCAS”**, de Soto Cuchiye Neris Humberto, Rodríguez Simba Joel Sebastián, de la carrera **Electromecánica**, considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga 19/08/2024



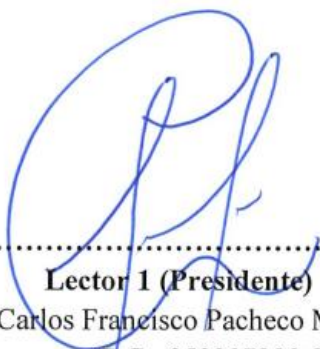
.....  
Ing. Ms.C Luigi Orlando Freire Martínez  
C.C.: 0502529589  
**TUTOR**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban la presente propuesta tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, los postulantes: Soto Cuchipe Neris Humberto con C.C: 0550219257, y Rodriguez Simba Joel Sebastian con C.C: 1723765655, con el título de Proyecto de titulación: “ **DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT PARA UNA CÁMARA DE CRIANZA DE MOSCAS**” ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometidos al acto de sustentación del trabajo de titulación.

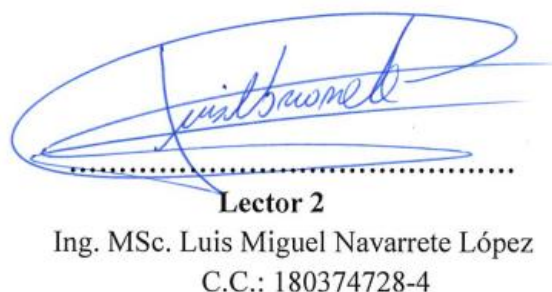
Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 19 de agosto de 2024



.....

**Lector 1 (Presidente)**  
MSc. Carlos Francisco Pacheco Mena  
C.C.: 050307290-2



.....

**Lector 2**  
Ing. MSc. Luis Miguel Navarrete López  
C.C.: 180374728-4



.....

**Lector 3**  
Ing. MSc. Segundo Ángel Cevallos Betún  
C.C.: 050178243-7

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradecer a Dios por permitirme estar con salud para seguir adelante en cada de mis proyectos así también por guiarme y bendecirme en el día a día.

Agradecer a mis hermanos por ese apoyo moral que me han brindado en especial a mis hermanos Luciano y Sebastián que han estado motivándome durante todo este proceso, a mis padres Adán y Gloria que siempre me han inculcado valores éticos y morales que han sido fundamentales en cada una de las decisiones que las he tomado.

A mi esposa Mirian y a mi hija Kylie que desde el momento que llegaron a mi vida me han brindado su apoyo y comprensión en cada paso de este viaje, cada uno de su presencia asido un aliento para no decaerme y seguir adelante para alcanzar mis sueños.

*Neris Soto*

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres por su amor y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida. A mis hermanos, por su compañía y palabras de ánimo que me impulsaron a seguir adelante en los momentos difíciles.

A mis amigos, quienes estuvieron siempre a mi lado durante este proceso. Gracias por su amistad, por las conversaciones que aliviaron el estrés, y por compartir conmigo tantas experiencias inolvidables.

Agradezco profundamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por brindarme la oportunidad de formarme en un ambiente académico de excelencia.

*Rodríguez Joel*

## **DEDICATORIA**

Este logro es el resultado de mi esfuerzo dedicación y mis ganas de salir adelante con un crecimiento personal y profesional. Me dedico el presente como un recordatorio de todo el sacrificio que he realizado para poder superar cada desafío que se me ha venido generando en el transcurso de este proceso.

A mi esposa y a mi hija que han sido el motor y pilar fundamental en mi vida, permitiéndome superar y desafiar mis propios límites.

*Neris Soto*

## **DEDICATORIA**

El presente logro se lo dedico a mi familia, cuya fe en mí nunca flaqueó, y cuyo amor incondicional me ha dado la fuerza para superar cada desafío. A mis padres, por ser mi ejemplo de perseverancia y dedicación; a mis hermanos, por su constante apoyo y palabras de aliento.

A mis mentores, por su invaluable guía y paciencia durante este proceso. Su sabiduría y generosidad han sido fundamentales para la culminación de esta etapa. A la Universidad Técnica de Cotopaxi, mi alma mater, que me ha brindado las herramientas y el conocimiento necesarios para alcanzar este objetivo.

Finalmente, a mis amigos, compañeros de batallas y de alegrías, gracias por estar ahí en los momentos de estudio interminables y en los momentos de descanso. Su amistad y apoyo han hecho este viaje mucho más llevadero y significativo. Este logro es tanto mío como de todos ustedes

*Rodríguez Joel*

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

### TITULO: “DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT PARA UNA CÁMARA DE CRIANZA DE MOSCAS”

#### **Autores:**

Soto Cuchipe Neris Humberto

Rodríguez Simba Joel Sebastián

#### **RESUMEN**

El presente informe de la propuesta tecnológica tuvo como objetivo implementar un sistema IoT mediante la integración de Node-RED, MySQL Workbench para el monitoreo y control de las condiciones ambientales en una cámara experimental de crianza de moscas, identificando la necesidad de mejorar el control y monitoreo en tiempo real permitiendo ajustar variables críticas de temperatura y humedad. En el método desarrollado se incluyó un sistema integrado por sensores y actuadores los mismo que se encuentran conectado a un microcontrolador ESP32 recopilando los datos necesarios en tiempo real y transmitiendo a un servidor mediante Wi-Fi utilizando el protocolo de comunicación MQTT, estos datos se visualizan en la dashboard de Node-RED en la cual se realizó la configuración de alertas y el control remoto de las variables. Además, se creó una base de datos que facilita el almacenamiento de los valores recopilados de la cámara experimental esto mediante la configuración del nodo MySQL con comunicación HTTP.

Los resultados obtenidos mostraron que el sistema IoT propuesto mejora el monitoreo y control de las variables reduciendo el tiempo de ajuste de las condiciones así también mejorando el proceso de los datos. Esta propuesta tecnológica integro tecnología IoT en la biología experimental permitiendo la optimización del proceso y facilitando la recopilación y el análisis de los datos. El desarrollo de la presente propuesta tecnológica facilito el seguimiento de manera continua de las variables ambientales controladas dentro de la cámara experimental de crianza de moscas aportando un valor sustancial al campo de la biología experimental.

**Palabras Clave:** IoT, Crianza de moscas, ESP32, Control ambiental, Automatización, MQTT, HTTP, Node-RED

# TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

## ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES SCHOOL

### THEME: “DEVELOPMENT OF AN IOT SYSTEM FOR A FLY BREEDING CHAMBER”

#### Authors:

Soto Cuchipe Neris Humberto

Rodríguez Simba Joel Sebastián

#### ABSTRACT

The objective of this technological proposal report was to implement an IoT system through the integration of Node-RED, MySQL Workbench for the monitoring and control of environmental conditions in an experimental fly breeding chamber, identifying the need to improve control and real-time monitoring allowing critical temperature and humidity variables to be adjusted. The developed method included a system made up of sensors and actuators, which are connected to an ESP32 microcontroller, collecting the necessary data in real time and transmitting it to a server via Wi-Fi using the MQTT communication protocol, this data is displayed in the Node-RED dashboard in which the configuration of alerts and remote control of the variables was carried out. In addition, a database was created that facilitates the storage of the values collected from the experimental chamber by configuring the MySQL node with HTTP communication. The results obtained showed that the proposed IoT system improves the monitoring and control of the variables by reducing the time to adjust the conditions as well as improving the data processing. This technological proposal integrated IoT technology into experimental biology, allowing the optimization of the process and facilitating the collection and analysis of data. The development of the present technological proposal facilitated the continuous monitoring of the controlled environmental variables within the experimental fly breeding chamber, contributing with a substantial value to the field of experimental biology.

**Keywords:** IoT, Fly breeding, ESP32, Environmental control, Automation, MQTT, HTTP, Node-RED

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y**  
**APLICADAS**

**CARRERA: INGENIERIA ELECTROMECHANICA**

**SOTO CUCHIPE NERIS HUMBERTO Y RODRIGUEZ SIMBA JOEL**  
**SEBASTIAN**

**AVAL DE TRADUCCIÓN- Profesional**  
**Externo**

Erika Joselyn Maroto Criollo con cédula de identidad número: 1850630656  
Licenciada en: Pedagogía del Idioma Inglés con número de registro de la  
SENECYT: 1020-2022-2462735; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la  
traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título:  
**"DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT PARA UNA CÁMARA DE**  
**CRianza DE MOSCAS"** de Soto Cuchipe Neris Humberto con C.C:  
0550219257 y Rodríguez Simba Joel Sebastián con C.C: 1723765655, egresados  
de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de**  
**Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**.

En virtud de lo expuesto y para constancia de lo mismo se registra la firma  
respectiva.

Latacunga, 19 de agosto, 2024



.....  
Firmado electrónicamente por:  
ERIKA JOSELYN  
MAROTO CRIOLLO

Erika Joselyn Maroto Criollo, Lic.  
CI: 1850630656



Quito, 23/08/2024

## CERTIFICADO DE REGISTRO DE TÍTULO

La Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, SENESCYT, certifica que MAROTO CRIOLLO ERIKA JOSELYN, con documento de identificación número 1850630656, registra en el Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador (SNIESE), la siguiente información:

Nombre: MAROTO CRIOLLO ERIKA JOSELYN  
Número de documento de identificación: 1850630656  
Nacionalidad: Ecuador  
Género: FEMENINO

### Título(s) de tercer nivel de grado

Número de registro	1020-2022-2462735
Institución de origen	UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
Institución que reconoce	
Título	LICENCIADO/A EN PEDAGOGIA DEL IDIOMA INGLES
Tipo	Nacional
Fecha de registro	2022-05-18
Área o Campo de	EDUCACION
Observaciones	



**OBSERVACIÓN:**

- Los títulos de tercer nivel de grado ecuatorianos están habilitados para el ingreso a un posgrado.
- Los títulos registrados tanto nacionales como extranjero han sido otorgados por instituciones de educación superior vigentes al momento de la emisión de la titulación.
- El cambio de nivel de formación de educación superior de los títulos técnicos y tecnológicos emitidos por instituciones de educación superior nacionales se ejecutó en cumplimiento a la Disposición Transitoria Octava de la Ley Orgánica Reformativa a la LOES, expedida el 2 de agosto de 2018.

**IMPORTANTE:** La información proporcionada en este documento es la que consta en el SNIESE, que se alimenta de la información suministrada por las instituciones del sistema de educación superior, conforme lo disponen los artículos 126 y 129 de la Ley Orgánica de Educación Superior y 56 de su Reglamento. El reconocimiento/registro del título no habilita al ejercicio de las profesiones reguladas por leyes específicas, y de manera especial al ejercicio de las profesiones que pongan en riesgo de modo directo la vida, salud y seguridad ciudadana conforme el artículo 104 de la Ley Orgánica de Educación Superior. Según la Resolución RPC-SO-16-No.256-2016.

En caso de detectar inconsistencias en la información proporcionada de titulaciones nacionales, se recomienda solicitar a la institución de educación superior nacional que emitió el título, la rectificación correspondiente y de ser una titulación extranjera solicitar la rectificación a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación.

Para comprobar la veracidad de la información proporcionada, usted debe acceder a la siguiente dirección:  
[www.educacionsuperior.gob.ec](http://www.educacionsuperior.gob.ec)

Ramiro Santiago Freire Cedeño  
Director de Registro de Títulos  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



1850630656

GENERADO: 23/08/2024 10.50 AM

## ÍNDICE GENERAL

### CONTENIDO

<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>1</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>6</b>
<b>1 INFORMACIÓN GENERAL</b> .....	<b>7</b>
<b>2 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3 OBJETIVO Y CAMPO DE ACCIÓN</b> .....	<b>9</b>
2.3.1 Objetivo de investigación:.....	9
2.3.2 Campo de acción:.....	9
<b>2.4. BENEFICIARIOS</b> .....	<b>9</b>
2.4.1 Beneficiarios directos.....	9
2.4.2 Beneficiarios indirectos.....	9
<b>2.5 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>2.6 OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
2.6.1 Objetivo general.....	10
2.6.2 Objetivos específicos. ....	10
<b>2.7 TAREAS POR OBJETIVO</b> .....	<b>11</b>
<b>3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO</b> .....	<b>12</b>
3.1.1 Importancia de la crianza de moscas.....	12
3.1.2 Tecnología IoT en el monitoreo ambiental .....	12
<b>3.2 ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>12</b>
3.2.1 Sistema de control y monitoreo IoT.....	12
<b>3.3 TIPOS DE PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN IOT</b> .....	<b>13</b>
3.3.1 Protocolo de comunicación MQTT.....	13
3.3.2 Protocolo de comunicación HTTP .....	13
3.3.3 Protocolo de comunicación CoAP .....	14

<b>3.4</b>	<b>ARQUITECTURA Y TECNOLOGIAS DE MICROPROCESADORES .....</b>	<b>14</b>
3.4.1	Tipos, arquitectura y funcionamiento de los microprocesadores .....	14
<b>3.5</b>	<b>MICROCONTROLADORES: FUNDAMENTO, ARQUITECTURA Y TIPOS ..</b>	<b>14</b>
<b>3.6</b>	<b>HMI (HOMBRE-MAQUINA) .....</b>	<b>15</b>
<b>3.7</b>	<b>RELE DE ESTADO SÓLIDO .....</b>	<b>15</b>
3.7.1	Funcionamiento de un relé .....	15
3.7.2	Tipos de relés .....	16
<b>3.8</b>	<b>SENSORES ANALÓGICOS Y DIGITALES PARA EL MONITOREO Y CONTROL AMBIENTAL .....</b>	<b>16</b>
<b>3.9</b>	<b>FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LAS BASES DE DATOS .....</b>	<b>16</b>
<b>3.10</b>	<b>PROGRAMACIÓN VISUAL .....</b>	<b>17</b>
<b>3.11</b>	<b>ROL Y TIPOS DE SISTEMAS OPERATIVOS EN COMPUTACIÓN .....</b>	<b>17</b>
<b>3.12</b>	<b>REENVIÓ DE PUERTOS EN REDES CON NAT .....</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....</b>	<b>19</b>
<b>4.1</b>	<b>MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2</b>	<b>DISEÑO DEL PROTOCOLO IOT .....</b>	<b>21</b>
4.2.1	Red De Multi-Punto .....	21
4.2.2	Diagrama general de la red de comunicación.....	22
<b>4.3</b>	<b>Implementación de Microcontroladores .....</b>	<b>22</b>
<b>4.4</b>	<b>Criterios para la selección de Microprocesadores: Criterios y consideraciones. ....</b>	<b>23</b>
<b>4.5</b>	<b>Selección de un sensor de temperatura y humedad.....</b>	<b>24</b>
<b>4.6</b>	<b>Criterios para la selección de Actuadores .....</b>	<b>25</b>
<b>4.7</b>	<b>Evaluación y selección de características de software para un sistema de monitoreo y control.....</b>	<b>25</b>
<b>4.8</b>	<b>Identificación para la selección de base de datos.....</b>	<b>26</b>
<b>4.9</b>	<b>Análisis de requisitos para pantallas HMI en entornos industriales .....</b>	<b>27</b>
<b>4.10</b>	<b>Variable dependiente he independiente del proyecto.....</b>	<b>27</b>
4.10.1	Variable Dependiente .....	27
4.10.2	Variable Independiente.....	27

<b>5</b>	<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>27</b>
<b>5.1</b>	<b>EQUIPOS DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN.....</b>	<b>28</b>
5.1.1	Comparación del equipo de control.....	28
5.1.2	Comparación de los microprocesadores.....	29
5.1.3	Comparación de los actuadores (SSR) .....	29
5.1.4	Comparación de la plataforma de control .....	30
5.1.5	Comparación de la plataforma de base de datos .....	31
5.1.6	Selección del HMI WAVESHARE SINCE 10.1” .....	32
<b>5.2</b>	<b>CONEXIONES DE LA CÁMARA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>32</b>
5.2.1	Conexión de los actuadores (SSR) .....	32
5.2.2	Conexión del sensor SHT32.....	36
5.2.3	Conexión microprocesador con la pantalla HMI.....	37
<b>5.3</b>	<b>PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR ESP32 .....</b>	<b>37</b>
<b>5.4</b>	<b>PROGRAMACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL NODE-RED.....</b>	<b>38</b>
<b>5.5</b>	<b>PROGRAMAR LA BASE DE DATOS EN MYSQL WORKBENCH.....</b>	<b>39</b>
<b>5.6</b>	<b>CREACIÓN DE DDNS PARA ACCESO REMOTO .....</b>	<b>40</b>
<b>5.7</b>	<b>CONFIGURACIÓN DE ROUTER.....</b>	<b>41</b>
5.7.1	Configuración del cliente DDNS y reenvío de puertos .....	41
<b>5.8</b>	<b>VERIFICACIÓN DE CONEXIÓN DEL ESP32 .....</b>	<b>42</b>
<b>5.9</b>	<b>VERIFICACIÓN DE COMUNICACIÓN EN PROTOCOLO MQTT, HTTP Y MYSQL .....</b>	<b>43</b>
5.9.1	Protocolo de comunicación MQTT.....	43
5.9.2	Protocolo de comunicación HTTP .....	43
5.9.3	Protocolo de comunicación MySQL .....	44
<b>5.10</b>	<b>RESULTADOS DE MONITOREO Y CONTROL DEL SISTEMA IOT.....</b>	<b>45</b>
5.10.1	Monitoreo y control de variables.....	45
5.10.2	Análisis de resultados de monitoreo.....	45
<b>5.11</b>	<b>PRUEBAS DE PRECISIÓN .....</b>	<b>46</b>
5.11.1	Pruebas de consistencia.....	47
5.11.2	Variables Medidas.....	48
<b>5.12</b>	<b>PRUEBAS DE LABORATORIO .....</b>	<b>48</b>

5.12.1 Análisis a 15 °C y 60% de humedad .....	48
5.12.2 Análisis a 25 °C y 60% de humedad .....	49
<b>5.13 COSTO BENEFICIO DEL PROYECTO.....</b>	<b>50</b>
5.13.1 Costo	50
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>6.1 CONCLUSIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>6.2 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>7 BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>52</b>
<b>8 ANEXOS .....</b>	<b>54</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1 Tareas por objetivo.....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 5.2 Características de los microcontroladores .....</b>	<b>28</b>
<b>Tabla 5.3 Características de los microprocesadores .....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 5.4 Características de los actuadores .....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 5.5 Características de plataformas similares .....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 5.6 Características de la plataforma de base de datos.....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 5.7 Descripción de los pines de conexión. ....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 5.8 Error entre el valor deseado de temperatura y el valor monitoreado de la cámara. ....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 5.9 Error entre el valor deseado de humedad y el valor monitoreado de la cámara. ....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 5.10 Comparación de lecturas de temperatura.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 5.11 Comparación de lecturas de humedad .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 5.12 Costo de la propuesta tecnologica .....</b>	<b>50</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Reenvío de puertos.....	18
Figura 4.2 Diagrama de flujo de la metodología utilizada.....	19
Figura 4.3 Topología tipo estrella de la comunicación.....	21
Figura 4.4 Red de automatización con Node-RED.....	22
Figura 5.5 Diagrama de conexión del sistema de calefacción.....	33
Figura 5.6 Diagrama de conexión del Humificador. ....	34
Figura 5.7 Diagrama sistema de refrigeración. ....	35
Figura 5.8 Diagrama del sistema de ventilación. ....	36
Figura 5.9 Conexión sensor SHT32 .....	37
Figura 5.10 Diagrama de conexión Router-Microprocesador y HMI .....	37
Figura 5.11 Programación de recolección y envío de datos.....	39
Figura 5.12 Configuración de conexión MySQL Workbench.....	40
Figura 5.13 Creación de tablas en el database.....	40
Figura 5.14 Configuración IP estática .....	41
Figura 5.15 configuración DDNS y apertura de puertos. ....	42
Figura 5.16 Proceso de conexión del ESP32 a Wifi. ....	42
Figura 5.17 Datos recolectados en tiempo real de temperatura y humedad.....	42
Figura 5.18 Verificación de protocolo de comunicación MQTT.....	43
Figura 5.19 Protocolo de comunicación HTTP-DDNS.....	44
Figura 5.20 Protocolo de comunicación MySQL.....	44
Figura 5.21 Ingreso del valor de temperatura para la cámara experimental.....	45
Figura 5.22 Ingreso del valor de humedad para la cámara experimental .....	45
Figura 5.23 Consistencia de datos en 20 segundo de la cámara experimental .....	47
Figura 5.24 Consistencia de datos en 60 minutos de la cámara experimental.....	47
Figura 5.25 Datos registrados en MySQL Workbench.....	48

## 1 INFORMACIÓN GENERAL

**Título:** Desarrollo de un sistema IOT para una cámara de crianza de moscas.

**Modalidad de titulación:**

Propuesta Tecnológica

Proyecto de investigación

**Carrera:** Ingeniería Electromecánica

**Equipo de trabajo de titulación:**

**Autores:**

Joel Sebastián Rodríguez Simba Joel Sebastián

Neris Humberto Soto Cuchipe Neris Humberto

**Docente tutor propuesto:**

Ing. Ms.C. Luigi Orlando Freire Martínez

**Área de Conocimiento:**

Tomando como referencias a las normas establecidas por la UNESCO se presenta las especificaciones de las áreas de conocimiento del presente proyecto:

<b>07.</b> Ingeniería, industria y automatización.	<b>071.</b> Ingeniería y Profesiones Afines.	<b>0714.</b> Electrónica y automatización.
--	--	--

**Línea de Investigación:** Procesos Industriales

**Sub línea de Investigación:** Automatización, control y protección de sistemas electromecánicos.

## **2 INTRODUCCIÓN**

La cría de moscas en entornos controlados es fundamental para impulsar avances científicos y biotecnológicos, incluyendo la investigación genética y la producción de proteínas. Sin embargo, el control manual de las condiciones ambientales en las cámaras de crianza es ineficaz y propenso a errores, lo que compromete la calidad y consistencia de los resultados experimentales. Además, la falta de automatización obstaculiza la optimización de recursos y aumenta los costos operativos. En Ecuador, la biotecnología y la investigación científica son áreas en crecimiento, pero enfrentan desafíos significativos debido a la escasez de tecnología avanzada y la dependencia de métodos tradicionales. A pesar del crecimiento del 15% en el sector de investigación en biotecnología en los últimos cinco años, según el INEC, el país sigue rezagado en comparación con las naciones desarrolladas. La implementación de un sistema IoT en las cámaras de crianza revolucionaría el control ambiental, permitiendo una recopilación y análisis de datos más precisos y eficientes, lo que impulsaría avances significativos en la investigación local. Este proyecto busca superar estas limitaciones mediante el desarrollo de una solución tecnológica innovadora, alineada con las tendencias globales en automatización y digitalización de procesos científicos.

### **2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

El control manual de las condiciones en las cámaras climáticas como temperatura, humedad y luz es ineficiente y propenso a errores afectando la calidad y consistencia de los resultados en estudios científicos y biotecnológicos. En Ecuador la biotecnología a dado un crecimiento del 15% según el INEC. La falta de automatización limita la eficiencia y aumenta los costos operativos.

La ausencia de un sistema automatizado dificulta el mantenimiento de condiciones ambientales óptimas y la recopilación de datos precisos. Esto representa un obstáculo para la optimización de recursos y la mejora de la investigación. La implementación de un sistema IoT en las cámaras de crianza de moscas podría ofrecer un control preciso y constante, facilitando avances significativos en el sector biotecnológico del país.

Por consiguiente es necesario modernizar los laboratorios de investigación para fomentar la biotecnología en Ecuador, subrayando la relevancia de proyectos como el desarrollo de un sistema IoT para cámaras de crianza de moscas.

## **2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

¿Cómo implementar un sistema IoT que automatice el control ambiental de una cámara experimental de crianza de moscas mejorando el monitoreo de las condiciones ambientales?

## **2.3 OBJETIVO Y CAMPO DE ACCIÓN**

### **2.3.1 Objetivo de investigación:**

El objeto de investigación de este estudio es el desarrollo de un sistema IoT para una cámara experimental de crianza de moscas. Este sistema se centra en la automatización y control ambiental para optimizar las condiciones de crianza de las moscas, utilizando tecnologías como Node-RED, MySQL y MySQL Workbench, así como la apertura de puertos de red para acceso remoto a través de un servicio DDNS.

### **2.3.2 Campo de acción:**

De acuerdo con el código de la UNESCO para la ciencia, el campo detallado para este proyecto es:

3307.02 Tecnologías del Internet de las Cosas (IoT)

## **2.4. BENEFICIARIOS**

### **2.4.1 Beneficiarios directos.**

Facultad CAREN, Universidad Técnica de Cotopaxi extensión Salache.

### **2.4.2 Beneficiarios indirectos.**

Sectores agroindustriales, Comunidad Científica, Comunidad Agrícola e Institutos de Investigación de Plagas.

## **2.5 JUSTIFICACIÓN**

El diseño y desarrollo de una cámara experimental para la cría de moscas, integrando un sistema de IoT para el control electromecánico de variables ambientales, representa un desafío significativo en el campo de la ingeniería electromecánica. Este proyecto combina la aplicación de principios de control automático, sensorización avanzada y actuadores precisos para crear una plataforma robusta y adaptable. La investigación se enfoca en la optimización de sistemas

de control para mantener condiciones ambientales específicas, lo cual es fundamental para estudios experimentales en biología. Además, la implementación de este sistema ofrece oportunidades para explorar nuevas tecnologías en la automatización de procesos biológicos y la instrumentación científica.

## **2.6 OBJETIVOS**

### **2.6.1 Objetivo general.**

Implementar un sistema IoT mediante la integración de Node-RED, MySQL Workbench para el monitoreo y control de las condiciones ambientales en una cámara experimental de crianza de moscas.

### **2.6.2 Objetivos específicos.**

- Investigar el estado del arte en aplicaciones de monitoreo y control mediante IoT enfocado en el uso de tecnologías y metodologías para el control de condiciones ambientales.
- Desarrollar una aplicación integrada que utilice Node-RED para la visualización en tiempo real de datos gestionados mediante MySQL Workbench en el contexto de un sistema IoT para la cámara experimental de cría de moscas.
- Validar el funcionamiento del sistema IoT de la cámara experimental de crianza de moscas mediante el análisis de los datos recopilados asegurándonos que al menos el 90% de los datos sean consistentes con los parámetros estándares.

## 2.7 TAREAS POR OBJETIVO

Tabla 1.1 Tareas por objetivo

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Investigar el estado del arte en aplicaciones de monitoreo y control mediante IoT, enfocado en el uso de tecnologías y metodologías para el control de condiciones ambientales.	Revisar artículos y trabajos de investigación en diferentes medios así también bases de datos académicas relevantes.	Identificación de tecnologías y sus respectivas aplicaciones.	Revisión bibliográfica sobre el uso de la base de datos académicas como IEEE Xplore, Google Scholar, etc.
	Analizar las metodologías y enfoques requeridos para la implementación de sistemas IoT para el monitoreo ambiental con control on-off.	Evaluación de técnicas requeridas para el control on-off en sistemas IoT.	Análisis crítico de artículos especializados en el tema y estudios de caso relevantes.
	Evaluar la precisión de los sistemas de monitoreo IoT en entornos que se asemejen a la cámara experimental.	Determinación de las limitaciones del control on-off en aplicaciones prácticas.	Estudio de casos y análisis comparativo de datos recolectados en sistemas similares.
Desarrollar una aplicación integrada que utilice Node-RED para la visualización en tiempo real de datos gestionados mediante MySQL Workbench, en el contexto de un sistema IoT para la cámara experimental de crianza de moscas.	Diseñar y programar en Node-RED para visualizar datos mediante dashboard.	Creación de una interfaz gráfica funcional y amigable para visualización de datos en tiempo real, integrando control on-off.	Programación en Node-RED, diseño de interfaces gráficas.
	Configurar la conexión MQTT para el envío de datos desde un ESP32 hacia la base de datos MySQL Workbench, optimizando el uso de control on-off.	Establecimiento de comunicación efectiva y optimización para el control on-off.	Configuración de protocolos de comunicación MQTT, uso de herramientas como MQTT Broker y ESP32.
	Integrar la interacción entre la cámara experimental climática y la dashboard en Node-RED, enfocándose en el control on-off.	Automatización del monitoreo y control de condiciones ambientales usando control on-off.	Programación en ESP32 y Node-RED para interacción y control remoto, con énfasis en lógica de control on-off.
Validar el funcionamiento del sistema IoT de la cámara experimental de crianza de moscas mediante el análisis de los datos recopilados asegurándonos que al menos el 90% de los datos sean consistentes con los parámetros estándares.	Implementar pruebas y ajustes en los algoritmos de control on-off de temperatura y humedad en la cámara experimental.	Optimización del funcionamiento del sistema de control on-off para mantener condiciones estables.	Pruebas de control en condiciones simuladas y reales dentro de la cámara experimental.
	Monitorear y registrar los datos recogidos por los sensores en MySQL Workbench, validando la precisión bajo el sistema on-off.	Generación de registros históricos precisos y relevantes para análisis y validación.	Uso de sensores de temperatura, humedad, y otros relevantes. Uso de MySQL Workbench para almacenamiento y consulta de datos.
	Comparar los datos recogidos con valores teóricos y objetivos predefinidos de control ambiental, destacando la eficiencia del control on-off.	Validación de la efectividad del sistema de control on-off en mantener condiciones óptimas.	Análisis comparativo de datos obtenidos con estándares teóricos y prácticos de control ambiental.

### **3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **3.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO**

La revolución IoT ha abierto nuevas fronteras en diversos sectores, incluyendo el control ambiental en entornos cerrados. En el ámbito agrícola y biológico, esta tecnología ha permitido un salto cuantitativo en la gestión de cultivos y el cuidado de especies vivas, incluyendo insectos y animales. La cría de moscas, un proceso crucial en la investigación científica, se beneficia especialmente de esta innovación, ya que requiere mantener condiciones ambientales precisas y estables, como temperatura y humedad, para asegurar resultados óptimos.[1]

##### **3.1.1 Importancia de la crianza de moscas**

La cría de moscas en entornos controlados es esencial para avanzar en diversas áreas científicas, como la genética, la etología de insectos y el desarrollo de estrategias de manejo de plagas. El control preciso de las condiciones ambientales es crucial para asegurar la validez y reproducibilidad de los resultados experimentales, lo que a su vez permite obtener conclusiones confiables y aplicables en diferentes contextos.[2]

##### **3.1.2 Tecnología IoT en el monitoreo ambiental**

La integración de tecnologías IoT permite un monitoreo continuo y en tiempo real de múltiples parámetros ambientales, gracias a dispositivos sensores conectados a microcontroladores que miden factores como temperatura y humedad, y transmiten los datos a través de protocolos como MQTT a plataformas de gestión y visualización.

Esta innovación ha revolucionado el desarrollo agrícola, permitiendo una planificación y control efectivos de cultivos, así como el avance en técnicas de reducción de contaminación, análisis y estandarización de alimentos, monitoreo de la calidad del suelo y mejora de la salud pública. El control óptimo de los cultivos conduce a una mayor productividad y eficiencia en la producción agrícola. [3]

#### **3.2 ESTADO DEL ARTE**

##### **3.2.1 Sistema de control y monitoreo IoT**

En la actualidad, los sistemas de monitoreo y control basados en IoT son ampliamente utilizados en entornos industriales y científicos. Estos sistemas suelen consistir en sensores para la

recopilación de datos, microcontroladores para el procesamiento inicial y plataformas de software para la visualización y almacenamiento de la información. La tecnología IoT permite la interconexión de objetos físicos a través de sensores, software y otros elementos, facilitando la recopilación y compartición de datos a través de internet. De esta manera, los objetos pueden comunicarse entre sí y con sistemas externos, recopilando información, intercambiando datos y realizando acciones automatizadas. Esta tecnología se aplica a una amplia variedad de objetos, desde electrodomésticos y dispositivos electrónicos hasta vehículos, sensores industriales, equipos médicos y sistemas de seguridad, entre otros. [4]

### **3.3 TIPOS DE PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN IOT**

Los protocolos de comunicación IoT son un conjunto de reglas y estándares que rigen la interconexión y el intercambio de datos entre dispositivos en una red IoT. Estos protocolos son fundamentales para la arquitectura IoT, ya que establecen cómo los dispositivos se comunican entre sí y transmiten información a través de la red, abarcando desde el nivel físico del hardware hasta las aplicaciones de software. Su función es garantizar la compatibilidad y el rendimiento óptimo de los dispositivos IoT, permitiendo una comunicación eficiente y segura en la red. [5]

#### **3.3.1 Protocolo de comunicación MQTT**

El protocolo MQTT se caracteriza por su minimalismo y eficiencia, lo que lo hace idóneo para su implementación en microcontroladores con recursos limitados y en entornos con conexiones de baja velocidad, lo que lo hace especialmente adecuado para el Internet de las Cosas (IoT). Originalmente diseñado para la industria petrolera, MQTT ha evolucionado para ser utilizado en una variedad de sectores, incluyendo automoción, fabricación, telecomunicaciones y petróleo y gas, destacando su eficiencia en el contexto de la IoT. La mayoría de los principales proveedores de servicios en la nube, como AWS, Google Cloud, IBM Cloud y Microsoft Azure, admiten MQTT, consolidándolo como un estándar en la industria de la computación en la nube, permitiendo una conexión y transmisión de datos eficiente a través de diferentes plataformas y servicios.[6]

#### **3.3.2 Protocolo de comunicación HTTP**

El protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol) es el pilar fundamental para la solicitud y obtención de datos e información en la web, permitiendo el intercambio de documentos HTML y otros contenidos. Con una arquitectura basada en el modelo cliente-servidor, el cliente,

usualmente un navegador web, inicia la solicitud de datos, que es luego procesada y respondida por el servidor, estableciendo así la base para la comunicación en la red.[7]

### **3.3.3 Protocolo de comunicación CoAP**

CoAP es un protocolo de comunicación diseñado específicamente para dispositivos IoT con capacidades restringidas, como procesamiento, memoria y ancho de banda limitados. Construido sobre el protocolo de Internet (IP), CoAP habilita la interacción entre dispositivos IoT y servicios web, permitiendo una comunicación eficiente y adaptada a las necesidades de estos dispositivos con recursos limitados.[8]

## **3.4 ARQUITECTURA Y TECNOLOGIAS DE MICROPROCESADORES**

### **3.4.1 Tipos, arquitectura y funcionamiento de los microprocesadores**

Los microprocesadores se clasifican en tres categorías principales: los de propósito general, utilizados en computadoras y servidores; los microcontroladores, que integran CPU, memoria y periféricos en un solo chip, ideales para sistemas embebidos; y los procesadores especializados, como GPUs y NPU, diseñados para tareas específicas como gráficos e inteligencia artificial.

La arquitectura de un microprocesador se compone de elementos clave como la Unidad Aritmético-Lógica (ALU) para operaciones matemáticas y lógicas, la Unidad de Control que coordina las operaciones, registros para almacenar datos temporales, memoria caché para acceso rápido y el bus de datos que facilita la comunicación entre la CPU y otros componentes. El funcionamiento se basa en un ciclo de instrucción que incluye buscar, decodificar, ejecutar y escribir resultados, todo coordinado por la Unidad de Control.[9]

## **3.5 MICROCONTROLADORES: FUNDAMENTO, ARQUITECTURA Y TIPOS**

Un microcontrolador es un chip integrado que contiene un procesador central (CPU), memoria ROM para almacenar programas y RAM para datos temporales, trabajando en conjunto para controlar y automatizar dispositivos. Estos microcontroladores son fundamentales en aplicaciones que requieren control, monitoreo y automatización, como electrodomésticos, sistemas de control de motores, dispositivos médicos y una amplia variedad de productos electrónicos. Los componentes esenciales de un microcontrolador incluyen:

**El procesador (CPU):** Ejecuta instrucciones y realiza cálculos

**Memoria:** ROM y RAM para almacenar programas y datos temporales

**Periféricos de Entrada/Salida:** Para interactuar con sensores y actuadores

**Temporizadores y Contadores:** Para realizar tareas en intervalos de tiempo específicos

**Conversores A/D y D/A:** Para convertir señales analógicas a digitales y viceversa.[10]

### **3.6 HMI (HOMBRE-MAQUINA)**

La Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es una plataforma que facilita la interacción entre un individuo y un dispositivo, software o sistema, permitiendo una comunicación efectiva. Aunque puede referirse a cualquier pantalla utilizada para interactuar con un equipo, el término HMI se utiliza principalmente en entornos industriales. Estas interfaces proporcionan información en tiempo real y ofrecen un entorno visual intuitivo para que los usuarios operen y controlen las máquinas de manera eficiente.[11]

Un dispositivo HMI (Interfaz Hombre-Máquina) está integrado por tres componentes clave: una pantalla de visualización para mostrar información, un panel de control para interactuar con el usuario y puertos de comunicación para conectar con otros sistemas. Para implementar un HMI en un proceso, se requiere una computadora y un software especializado que se carga en el dispositivo, permitiendo ejecutar programas y controlar el proceso de manera efectiva.[12]

### **3.7 RELE DE ESTADO SÓLIDO**

Los relés son dispositivos eléctricos cruciales en diversas industrias, desde electrodomésticos hasta maquinaria industrial, permitiendo un control preciso y seguro de procesos y funciones. Estos componentes versátiles son fundamentales en proyectos industriales y pueden ser programados para ejercer un control integral y automatizado sobre equipos y maquinarias, aumentando la eficiencia y la productividad.[13]

#### **3.7.1 Funcionamiento de un relé**

Un relé está compuesto generalmente por dos terminales (uno abierto y otro cerrado) que cambian de posición cuando se activa la bobina mediante la corriente eléctrica. Esto genera un campo magnético que acciona un electroimán, permitiendo el funcionamiento de un interruptor. De esta manera, el relé puede controlar y gestionar diversos sistemas, dispositivos, sensores y

más, actuando como un conmutador eléctrico que facilita la automatización y el control de procesos.[14]

### **3.7.2 Tipos de relés**

Existen varios tipos de dispositivos de conmutación electromecánicos, incluyendo: Dispositivos tradicionales que utilizan un electroimán para abrir o cerrar contactos eléctricos.

**Relés de núcleo móvil:** Que desplazan un núcleo dentro de una bobina para accionar contactos.

**Relés polarizados:** Que utilizan un electroimán para girar y cerrar un contacto.

**Relés de estado sólido:** Que emplean un interruptor Reed o semiconductores para controlar el flujo de corriente sin partes móviles.

Cada tipo tiene sus ventajas y aplicaciones específicas, como la capacidad de mantener contactos cerrados durante períodos prolongados o la alta velocidad y frecuencia de conmutación.[14]

## **3.8 SENSORES ANALÓGICOS Y DIGITALES PARA EL MONITOREO Y CONTROL AMBIENTAL**

Los sensores se dividen en analógicos y digitales, cada uno con características y aplicaciones específicas. Los sensores analógicos producen una señal continua que varía según la magnitud medida, requiriendo una conversión adicional para ser procesada por sistemas digitales. Por otro lado, los sensores digitales ofrecen una salida discreta en formato binario o numérico, proporcionando datos directamente en un formato procesable por sistemas electrónicos sin necesidad de conversión extra. Ambos tipos de sensores son esenciales para monitorear y controlar una amplia variedad de parámetros ambientales y de procesos.[15]

## **3.9 FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LAS BASES DE DATOS**

Una base de datos es un conjunto estructurado de datos interrelacionados, diseñado para permitir un acceso eficiente, análisis y almacenamiento a largo plazo. Desde simples archivos hasta sistemas de gestión de información complejos utilizados por grandes empresas, las bases de datos han evolucionado para satisfacer la necesidad humana de preservar y recuperar información. La tecnología digital ha sido clave en este desarrollo, permitiendo procesar y almacenar grandes cantidades de datos de manera eficiente en espacios reducidos, mediante su

conversión a señales eléctricas o magnéticas, lo que ha revolucionado la forma en que se manejan y utilizan los datos.[16]

### **3.10 PROGRAMACIÓN VISUAL**

El desarrollo visual es una metodología de programación que permite a los usuarios diseñar y representar procesos de manera visual, en lugar de utilizar lenguajes de programación tradicionales basados en texto. Esta aproximación facilita la comprensión y el diseño de procesos complejos, haciéndolos más accesibles para los usuarios.

Con herramientas de programación visual como Node-RED, los desarrolladores pueden crear diagramas que ilustran el flujo de la aplicación, identificando las tareas necesarias y describiendo gráficamente las pantallas, interacciones del usuario y el manejo de información en cada etapa del proceso.[17]

### **3.11 ROL Y TIPOS DE SISTEMAS OPERATIVOS EN COMPUTACIÓN**

El sistema operativo es el núcleo central de cualquier dispositivo informático, actuando como intermediario entre el hardware y el usuario. Su función es administrar los recursos del sistema, permitir la ejecución de aplicaciones y facilitar la interacción a través de interfaces gráficas o comandos de texto.

Los sistemas operativos más populares en computadoras son Windows, macOS y Linux, mientras que en dispositivos móviles destacan Android e iOS. Además de simplificar la interacción con el dispositivo, estos sistemas operativos gestionan tareas internas como la memoria, procesos y almacenamiento, lo que hace que su uso sea accesible para todos, no solo para expertos en informática.[18]

### **3.12 REENVÍO DE PUERTOS EN REDES CON NAT**

El redireccionamiento de puertos, también conocido como 'tunneling', es una técnica que permite enviar tráfico de red desde un dispositivo a otro, permitiendo el acceso a puertos en direcciones IPv4 privadas dentro de una red local a través de un enrutador con NAT activado.

Esto es esencial para aplicaciones peer-to-peer, como servidores web y FTP, que requieren la apertura o redireccionamiento de puertos en el enrutador para funcionar correctamente. Debido a que NAT oculta direcciones internas, solo permite la comunicación de adentro hacia afuera, pero no iniciada desde el exterior.

Sin embargo, el redireccionamiento de puertos puede configurarse manualmente para permitir el acceso a puertos específicos en hosts internos, resolviendo este problema y habilitando la comunicación peer-to-peer iniciada desde el exterior.[19]

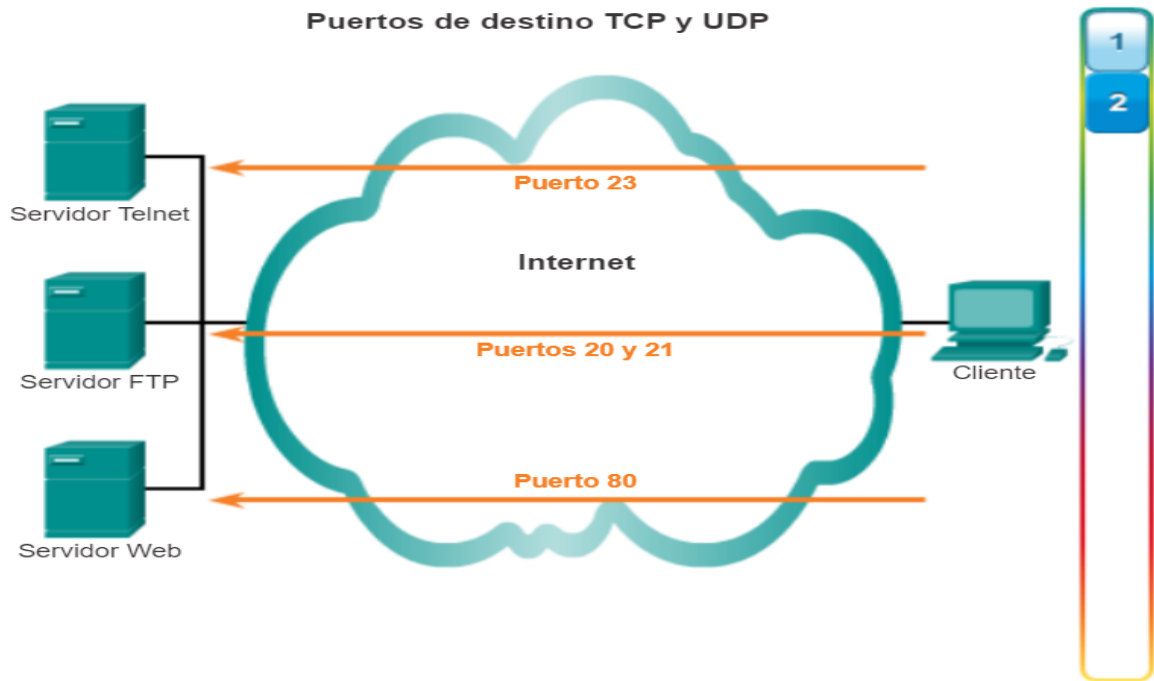


Figura 3.1 Reenvío de puertos. [19]

## 4 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

### 4.1 MÉTODOS

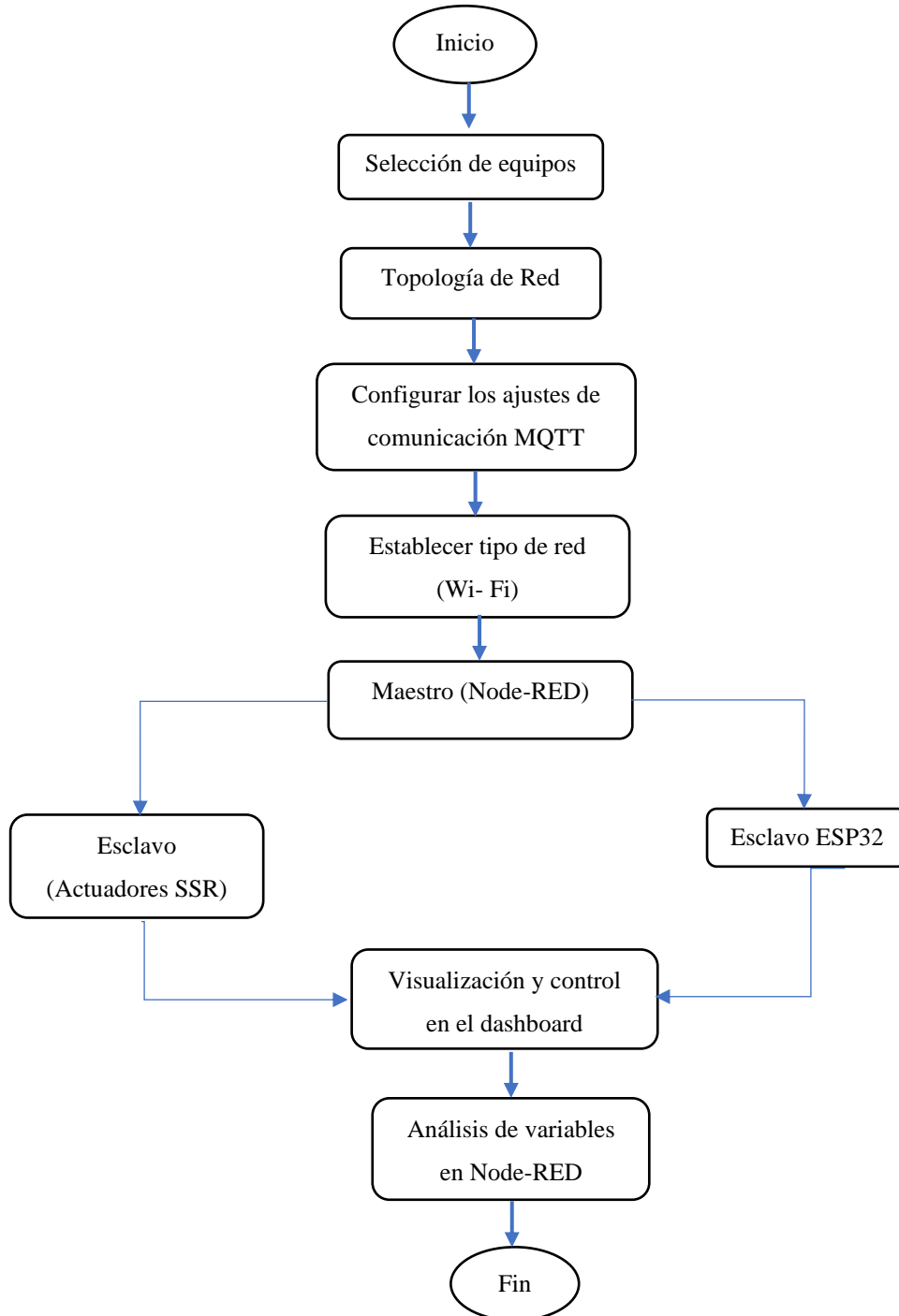


Figura 4.2 Diagrama de flujo de la metodología utilizada.

El “Desarrollo de un sistema IoT para una cámara de crianza de moscas” se centra en el monitoreo y control de las variables de temperatura y humedad dentro de una cámara

experimental, así también implica la revisión e investigación bibliográfica en los métodos teóricos los mismos que se encuentran en la primera parte, donde se encuentra la información necesaria acerca de la comunicación MQTT, base de datos en MySQL e interfaces HMI y acceso remoto, que se detalla en la primera parte.

Para la implementación del sistema se utilizará métodos empíricos e inductivos. El método empírico permitirá observar como el control on-off gestiona la comunicación entre el ESP32, los relés, controlando así las variables de temperatura como también de humedad a través de protocolos MQTT mediante comunicación Wi-Fi facilitando la visualización de datos en tiempo real. Por otro lado, el enfoque inductivo permitirá analizar los datos obtenidos para comprender el comportamiento ambiental dentro de la cámara y los factores que influyen en el almacenamiento en MySQL.

El uso de un sensor de temperatura y humedad es fundamental para garantizar un entorno óptimo y controlado dentro de la cámara de crianza, lo cual es crucial para el crecimiento y desarrollo saludable de las moscas. Las variables de temperatura y humedad son esenciales para:

- Regular el metabolismo y el ciclo de vida de las moscas.
- Prevenir el estrés térmico y la desecación que pueden afectar al desarrollo.
- Maximizar la eficiencia y productividad de la crianza.

Al integrar el microcontrolador para la recepción de variables de temperatura y humedad se facilita el monitoreo y control de las condiciones ambientales dentro de la cámara permitiendo:

- Monitorear en tiempo real las condiciones de temperatura y humedad
- Recepción de alertas y notificaciones cuando las condiciones se desvían de los parámetros óptimos.
- Recopilar datos históricos para análisis durante el proceso de crianza

El microcontrolador al actuar como receptor de datos, ofrece múltiples ventajas, tales como:

- Conectividad y comunicación inalámbrica
- Procesamiento y análisis de datos en tiempo real
- Flexibilidad y escalabilidad para futuras expansiones

- Bajo consumo de energía y costo

La combinación del sensor de temperatura y humedad con un microcontrolador permite el monitoreo y control de las condiciones ambientales esenciales para la crianza de moscas.

Mediante un diagrama de comunicación en el cual se visualiza los métodos utilización dentro del desarrollo del sistema IoT.

## 4.2 DISEÑO DEL PROTOCOLO IOT

### 4.2.1 Red De Multi-Punto

Dentro de la conexión de red de comunicación se utilizó el protocolo estrella el mismo mediante el acceso remoto e inalámbricamente utilizando una combinación de protocolos de comunicación, para optimizar el rendimiento del sistema.

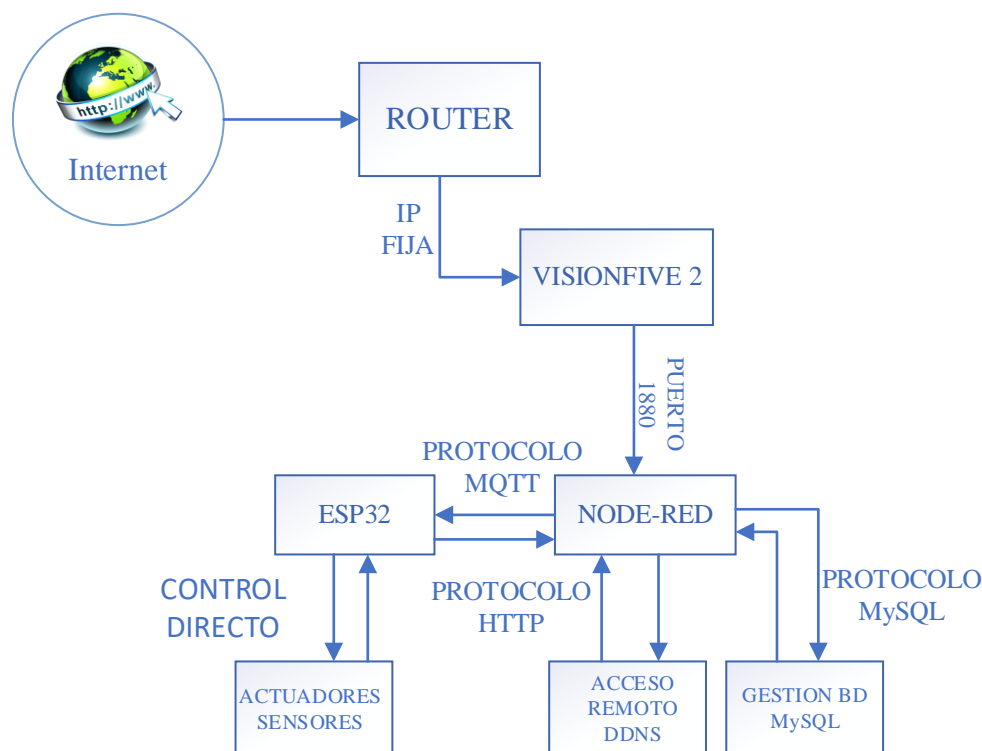


Figura 4.3 Topología tipo estrella de la comunicación

En la figura 4.3 se observa como MQTT es utilizado para la comunicación entre VisionFive 2 y ESP32 por su rapidez y poca latencia, perfecto para enviar datos de sensores y actuadores de forma ágil; HTTP se emplea entre VisionFive 2 y Node-RED con el fin de simplificar la

administración y visualización de datos mediante una interfaz web disponible; y MySQL se aplica para administrar la base de datos, posibilitando el almacenamiento organizado y la recuperación de datos.

#### 4.2.2 Diagrama general de la red de comunicación

En la figura 4.4 se representa el diagrama general de la red de comunicación de automatización mismo que se desarrolló en el proyecto, en el cual se incluye los dispositivos y softwares de automatización, la funcionalidad de cada dispositivo como servidor/esclavo

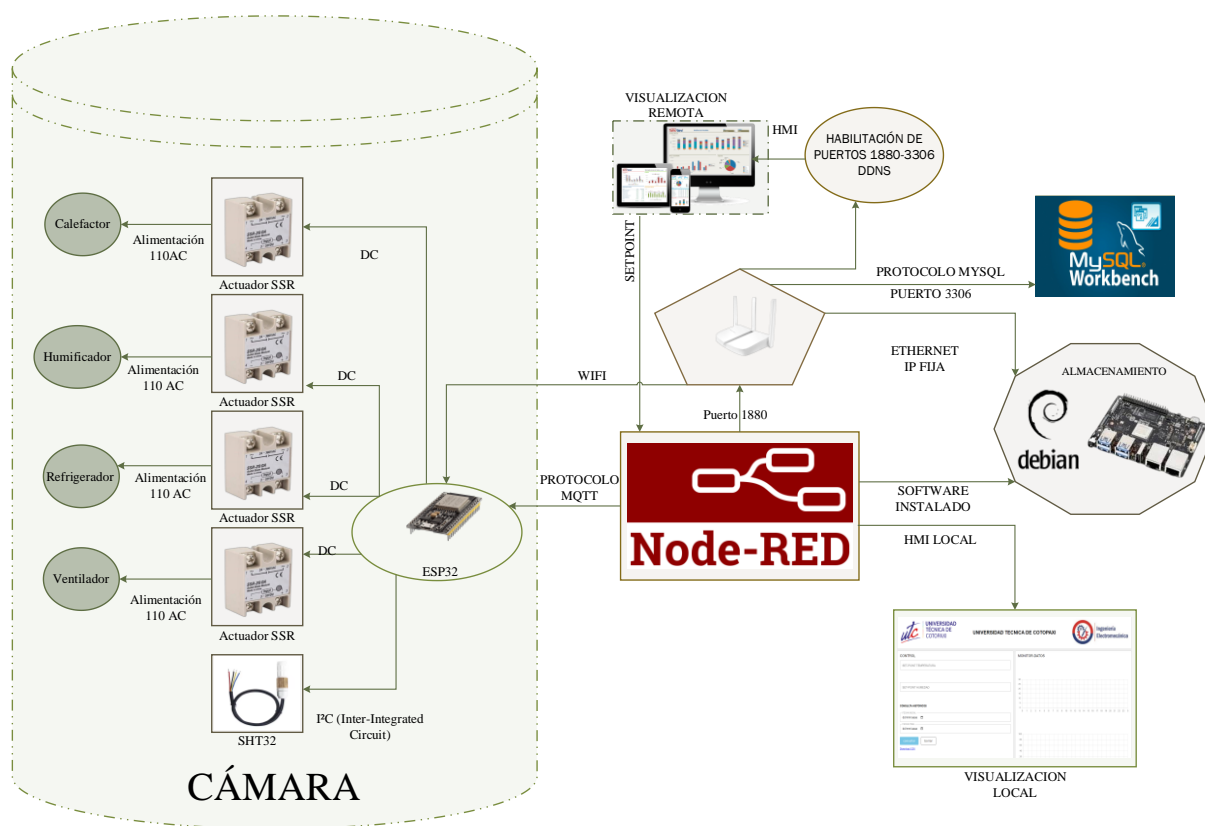


Figura 4.4 Red de automatización con Node-RED

#### 4.3 IMPLEMENTACIÓN DE MICROCONTROLADORES

En muchos entornos industriales el monitoreo manual de variables como la temperatura y humedad, resulta ineficiente y arriesgado. Esta falta de automatización tiende a generar pérdidas económicas. Es por eso que el uso de un microcontrolador ayudará a una mejor eficiencia, esto permitirá la automatización en el control de las variables ya mencionadas.

El monitoreo en tiempo real para medir la temperatura y humedad continuamente es crucial para alertas cambios los cuales excedan los límites predefinidos garantizando una respuesta rápida. Esto nos lleva a tener un registro de datos históricos de temperatura y humedad para análisis posteriores.[20]

Para eso existe características las cuales debemos tener en cuenta estas son las siguientes:

- Arquitectura
- Numero de Pines y Arquitectura
- Memoria
- Consumo de Energía
- Rendimiento
- Costo
- Temperatura y confiabilidad
- Facilidad de Desarrollo
- Capacidades de Comunicación
- Actualizaciones

Estas características ayudaran a tomar una decisión informada al seleccionar un microcontrolador que se ajuste a las necesidades las cuales se presentó anteriormente.

#### **4.4 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE MICROPROCESADORES: CRITERIOS Y CONSIDERACIONES.**

La selección de un microprocesador será de suma importancia pues este se encargará de dar las instrucciones necesarias y ejecutarlas de manera rápida. Es necesario fijarse en las características que estos presentan ya que cada uno puede llegar a ser similar físicamente pero no puede tener el mismo rendimiento debido a que estas presentan limitaciones, por otra parte, debemos tomar en cuenta en que interfaz se necesitara ya que cada una tiene diferentes protocolos de comunicación.

Las características a tomar en cuenta para su selección son las siguientes:

- Arquitectura: Tener en cuenta la arquitectura y sus ventajas.
- Capacidad de Memoria: Tener en cuenta la cantidad de RAM
- Numero de núcleos: Estos pueden ser de un solo núcleo o múltiple núcleo
- Rango de Frecuencia: Tener en cuenta a que frecuencia de operación presenta
- Costo

Estas características se deben tener en cuenta, estas se verán reflejadas en la velocidad que el microprocesador pueda presentar

#### **4.5 SELECCIÓN DE UN SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD**

Los requisitos los cuales se debe tomar en cuenta para poder seleccionar el sensor para nuestra cámara experimental será su rango de temperatura, rango de humedad, precisión, tipos de salida, conectividad, compatibilidad con el sistema IoT, su durabilidad y resistencia a factores ambientales. Para ello debemos identificar los tipos de sensores ya que existen una variedad de ellos como por ejemplo para el sensor de temperatura tenemos los termistores, termopares, etc.

Para el sensor de temperatura tenemos los de resistencia, sensores de capacitancia, etc.

Las características de estos tipos de sensores hay que tomarlos en cuenta ya que cada uno tiene características mejores, pero a su vez puede presentar desventajas los cuales no serán beneficiosos a la hora de su selección en esto tendremos en cuenta lo siguiente:

- Rango de medición
- Precisión
- Tiempo de Respuesta
- Estabilidad
- Conectividad
- Precio

#### **4.6 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE ACTUADORES**

En este caso debemos tener consideraciones las cuales van a ser efectivas para la toma de decisión de que actuador se deberá usar estos serán el tipo de carga (energía), voltaje y corriente, tipo de control, frecuencia de operación y las condiciones ambientales.

Existen diferentes tipos de actuadores los cuales cada uno tienen diferentes características esto se debe a que cada uno están diseñado para distintas aplicaciones entre ellos tenemos el módulo relé de estado sólido, relé de estado sólido, etc.[21]

Estos presentan entre sus características lo siguiente:

- Bajo costo
- Adecuados para cargas de mayor potencia
- Para control de cargas menores
- Aplicaciones que requieren una posición exacta
- Tiempo de vida útil

Una vez que se consideren las características de los actuadores, es fundamental tener en cuenta la carga a la que estarán sometidos durante su funcionamiento. No considerar este aspecto puede resultar en una degradación más rápida del actuador y en consecuencia en fallas prematuras. Por lo tanto, es necesario establecer un margen de seguridad adecuado para garantizar que el actuador no opere al límite de su capacidad.

#### **4.7 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE SOFTWARE PARA UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL**

Para hacer uso de un software de monitoreo y control de temperatura y humedad, es fundamental seguir un enfoque metódico. Primero, debemos identificar los datos críticos a monitorear y controlar, en este caso, la temperatura y humedad. Luego definimos los objetivos específicos del software como generar alertas, automatizar procesos, entre otros. Es crucial considerar la latencia y la frecuencia de actualizaciones para garantizar la precisión y la relevancia de datos.

De siguiente debemos tener en cuenta la selección de tecnologías entre sus características tenemos la plataforma en que se va a desarrollar, lenguaje de programación y sus protocolos de comunicación

Para esto hay que estar muy claros en qué tipo de plataforma y que protocolo de datos se usara para definir la arquitectura del software una vez realizado se procede a diseñar su estructura como tal, así se puede establecer una comunicación entre componentes y sistemas

#### **4.8 IDENTIFICACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE BASE DE DATOS**

Antes de seleccionar una base datos, es importante el definir los requerimientos específicos del proyecto, esto incluye:

- Tipo de datos a almacenar
- Volumen de datos
- Frecuencia de acceso y actualización
- Requisitos de escalabilidad y seguridad

Con esto definimos los requisitos, esto es importante para evaluar las diferentes opciones de bases de datos. Es importante analizar las características de cada opción de datos, estas son las siguientes:

- Administración de servidores
- Migración de datos
- Restauración de datos
- Interfaz de Usuario
- Soporte

Es importante seleccionar la base de datos que de manera se adapte a los requisitos del proyecto y permita el mejor rendimiento y escalabilidad.

## **4.9 ANÁLISIS DE REQUISITOS PARA PANTALLAS HMI EN ENTORNOS INDUSTRIALES**

Hay que identificar las necesidades específicas para elegir la pantalla HMI, debemos tomar en cuenta lo siguiente:

- Tipos de datos a visualizar
- Tamaño y resolución
- Conectividad
- Costo
- Durabilidad

Estas características son necesarias, esto se debe a que cada pantalla tiene un propósito de uso específico esto para la visualización lo cual es ventajoso dependiendo de la opción. Con esto podemos tener una matriz de decisión para la selección correcta de la pantalla HMI.

## **4.10 VARIABLE DEPENDIENTE HE INDEPENDIENTE DEL PROYECTO**

### **4.10.1 Variable Dependiente**

Conforme al proyecto desarrollado la variable dependiente es la monitorización de las variables tanto de temperatura y humedad refiriendo tanto al almacenamiento de datos como también la eficiencia del control así también la visualización en tiempo real.

### **4.10.2 Variable Independiente**

Nuestra variable independiente es la configuración y programación del hardware y software tanto en Node-Red como el sistema de monitoreo de la cámara en su totalidad

## **5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

Esta sección presenta el análisis y discusión de los resultados obtenidos mediante la propuesta tecnológica desarrollada a lo largo del presente proyecto, así también se describen las pruebas realizadas, los resultados obtenidos incluyendo tablas de comparación, gráficos e insumos necesarios que permita presentar de un manera clara, concisa y comprensible los datos recopilados. Además, se realiza un análisis económico de todo el proceso del trabajo, finalmente, se interpretan los datos, los hallazgos en relación con el problema y los objetivos

propuestos, considerando toda la información presentada en los capítulos anteriores del presente trabajo de titulación.

## 5.1 EQUIPOS DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

### 5.1.1 Comparación del equipo de control

En el desarrollo de un sistema IoT es fundamental integrar dispositivos microcontroladores que ofrece una solución para la recolección de datos en tiempo real considerando la adaptación en entornos de adquisición de datos industriales como también la capacidad de controlar varios actuadores. En la tabla 5.2 se visualiza las características de los dispositivos de control.

Tabla 5.2 Características de los microcontroladores

Equipo	Características
Microcontrolador ESP32	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectividad inalámbrica</li> <li>• Doble núcleo de procesamiento</li> <li>• Interfaz de entrada y salida</li> <li>• Baja potencia</li> <li>• Lenguaje de programación C, C++, Python.</li> </ul>
Arduino	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectividad UART o serial</li> <li>• Entorno de desarrollo IDE</li> <li>• Interfaz de entrada y salida</li> <li>• Lenguaje de programación C</li> </ul>

#### 5.1.1.1 Selección del microcontrolador ESP32

Analizando la comparación realizada en la tabla 5.2 se seleccionó el microcontrolador ESP32 por las siguientes razones:

- Doble núcleo de procesamiento y diseño compacto permitiendo ser perfecto para aplicaciones IoT.
- Mayor capacidad de configuración y programación en lenguajes diferentes.
- Entradas y salidas analógicas y digitales.
- Conexión inalámbrica (wifi) de 802.11 b/g/n soportando 2.4 GHz.

## 5.1.2 Comparación de los microprocesadores

Tabla 5.3 Características de los microprocesadores

Equipo	Características
<b>Visionfive 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesador Starfive JH7110 alto rendimiento</li> <li>• 4GB RAM</li> <li>• Sistema operativo Debian 11</li> <li>• 256GB SSD almacenamiento</li> <li>• Interfaz de entrada y salida</li> <li>• Conexión por Ethernet</li> </ul>
<b>Rraspberry Pi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microcontrolador versátil</li> <li>• Conexión Wifi/Ethernet</li> <li>• Sistema operativo Linux</li> <li>• Interfaz de entrada y salida</li> <li>• Almacenamiento micro SD</li> </ul>

El desarrollo de un sistema IoT es de gran importancia un microprocesador que garantice el alto rendimiento que permita el control de los valores requeridos posibilita una transmisión de datos de manera confiable mejorando la integración del HMI.

### 5.1.2.1 Selección del microprocesador

Analizando la comparación realizada en la tabla 5.3 se empleó el microprocesador Visionfive 2 por las siguientes razones:

- Procesador de alto rendimiento con cuatro núcleos de velocidad.
- Memorias RAM de frecuencia de 1.5GHz DDR4.
- Resoluciones graficas GPU BXE-4-32
- Capacidad de almacenamiento eMMc, SD y SSD M.2.

## 5.1.3 Comparación de los actuadores (SSR)

Para el desarrollo del sistema IoT se requiere emplear actuadores que permitan la respuesta inmediata conforme el usuario lo requiera garantizando así que el control ambiental pueda mantener los valores deseados. En la tabla 5.4 se detalla las características de los actuadores.

Tabla 5.4 Características de los actuadores

Equipo	Características
<b>Modulo relé estado solido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentación: 5VDC</li> <li>• Carga máxima de trabajo de 240VAC/2A</li> <li>• Voltaje señal de control; OFF:0-0.5V, ON: 2.5-5V</li> </ul>
<b>Relé estado sólido industrial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voltaje de activación de 3V-32VDC</li> </ul>

- 
- Voltaje controlador de maquinaria de 24V-380VAC
  - Carga máxima 10A
- 

### 5.1.3.1 Selección del actuador

Tras analizar la tabla 5.4 y de acuerdo a nuestro proyecto se empleó el Relé de estado sólido industrial que debido a las siguientes razones:

- La carga nominal es la requerida por el proyecto.
- El voltaje de activación es variable.
- El voltaje para el trabajo del equipo a activar es variado sin limitación.
- Aislamiento robusto.
- Indicador led en uso.

### 5.1.4 Comparación de la plataforma de control

El uso de un sistema IoT requiere una plataforma(software) que nos permita el monitoreo y control de datos en tiempo real, así también posibilita una transmisión de datos de una manera estable he inmediata a nuestra base de datos. En la tabla 5.5 se detalla las características de dos plataformas con una similitud aproximada para el desarrollo del mismo.

Tabla 5.5 Características de plataformas similares

Plataforma (Software)	Características
<b>Node-RED</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación en Windows, Linux (Ubuntu, debían) y Mac.</li> <li>• Desarrollo basado en Flujos</li> <li>• Dashboard para visualización</li> <li>• Ejecución en microprocesadores</li> <li>• Protocolos MQTT, HTTP</li> <li>• Integración con servidores APIS MySQL</li> <li>• Gratuito</li> </ul>
<b>ioBroker</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación en Windows, Linux y Mac.</li> <li>• Desarrollo basado en Java Script</li> <li>• Dashboard para visualización</li> <li>• Ejecución en procesadores de alto rendimiento.</li> <li>• Protocolos MQTT, HTTP</li> <li>• Integración con servidores APIS</li> <li>• Pagado</li> </ul>

#### 5.1.4.1 Selección de plataforma

Conforme a la tabla 5.5 se empleó la plataforma Node-RED debido a las siguientes razones:

- Permite la ejecución en microprocesadores ya que se puede instalar mediante cmd.

- Integración API ya sea a la nube o a base de datos mediante MySQL.
- Programación por flujos permitiendo menos complejidad para el mismo.
- Protocolos IoT MQTT y HTTP
- Gratuito

### 5.1.5 Comparación de la plataforma de base de datos

Para el desarrollo del sistema IoT es necesario emplear una base de datos el cual permita poner a disposición todo lo almacenado en cualquier momento, evitando la eliminación de manera automática y permitiendo que el usuario lo maneje conforma la necesidad.

Tabla 5.6 Características de la plataforma de base de datos

Bases de Datos	Características
MySQL Workbench	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo SQL</li> <li>• Administración de servidores</li> <li>• Migración de datos</li> <li>• Restauración de datos</li> </ul>
DBeaver	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soporte multibase de datos</li> <li>• Interfaz de usuario Intuitiva</li> <li>• Herramientas SQL</li> <li>• Integración e insensibilidad</li> </ul>

#### 5.1.5.1 Selección de software base de datos

Tras analizar la tabla 5.6 se empleó la plataforma MySQL debido a las siguientes razones:

- MySQL Workbench fue creado para ser usado con MySQL, proporcionando una conexión fluida y funciones avanzadas para manejar eficazmente esta base de datos.
- MySQL es reconocido por su eficacia al manejar grandes cantidades de datos y consultas complicadas.
- Tiene una comunidad considerable y mucha información disponible, lo que facilita resolver problemas habituales.
- Cuenta con herramientas sólidas para crear modelos de datos y esquemas, lo que resulta útil en proyectos más avanzados.

- Proporciona herramientas especializadas para transferir datos y hacer copias de seguridad, aspectos fundamentales en la gestión de bases de datos.

#### **5.1.6 Selección del HMI WAVESHARE SINCE 10.1”**

Para el HMI se empleó la pantalla Waveshare debido a las siguientes razones:

- La pantalla IPS de 10.1 pulgadas de Waveshare HMI destaca por su alta resolución de 1280x800 píxeles, colores precisos y amplios ángulos de visión.
- Es compatible con varias plataformas como Raspberry Pi, Jetson Nano, Windows y Linux, permitiendo una fácil integración a través de HDMI para video.
- Permite la visualizar de forma clara y controlar en tiempo real de manera interactiva.

### **5.2 CONEXIONES DE LA CÁMARA EXPERIMENTAL**

La cámara experimental para la cría de moscas se encuentra constituida por diferentes conexiones como se muestra en el anexo A, los cuales permiten mantener las condiciones ambientales necesarias, esto se lo puede realizar con un microcontrolador de entradas y salidas controlando así los parámetros requeridos.

#### **5.2.1 Conexión de los actuadores (SSR)**

Para el control de las condiciones ambientales se empleó relés de estado solidos los cuales se encuentran conectados con el microcontrolador y el equipo a accionar a través de una PCB que se muestra en el anexo B.

##### **5.2.1.1 Conexión de sistema de calefacción**

Para controlar el calefactor conforme a la necesidad se procede a realizar la conexión a partir de nuestro microcontrolador el mismo que da la orden al actuador y permita la activación de nuestra resistencia eléctrico, la conexión se lo realizo de acuerdo a la figura 5.5.

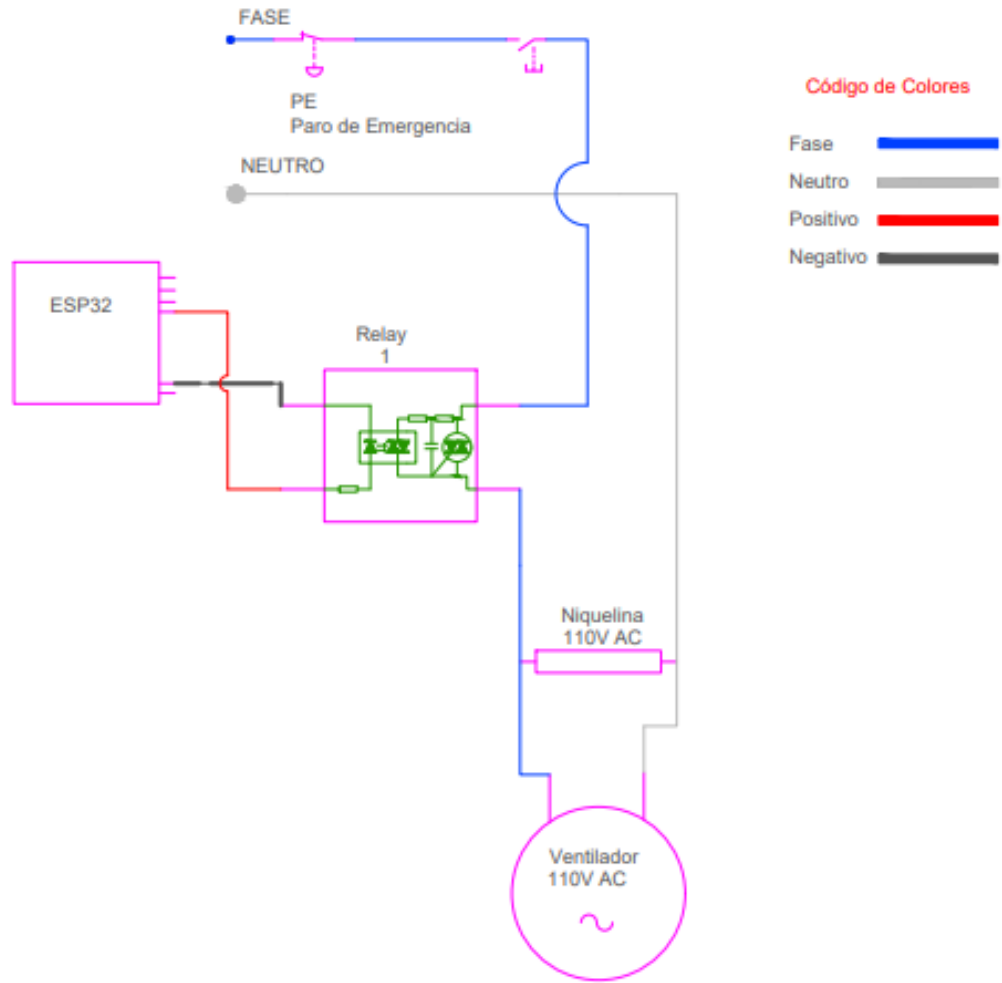


Figura 5.5 Diagrama de conexión del sistema de calefacción

### 5.2.1.2 Conexión del sistema humificador

Para tener el control de la humedad conforme a la necesidad se procede a realizar la conexión a partir de nuestro microcontrolador el mismo que da la orden al actuador y permita la activación de la fuente del humificador, la conexión se lo realizo de acuerdo a la figura 5.6.

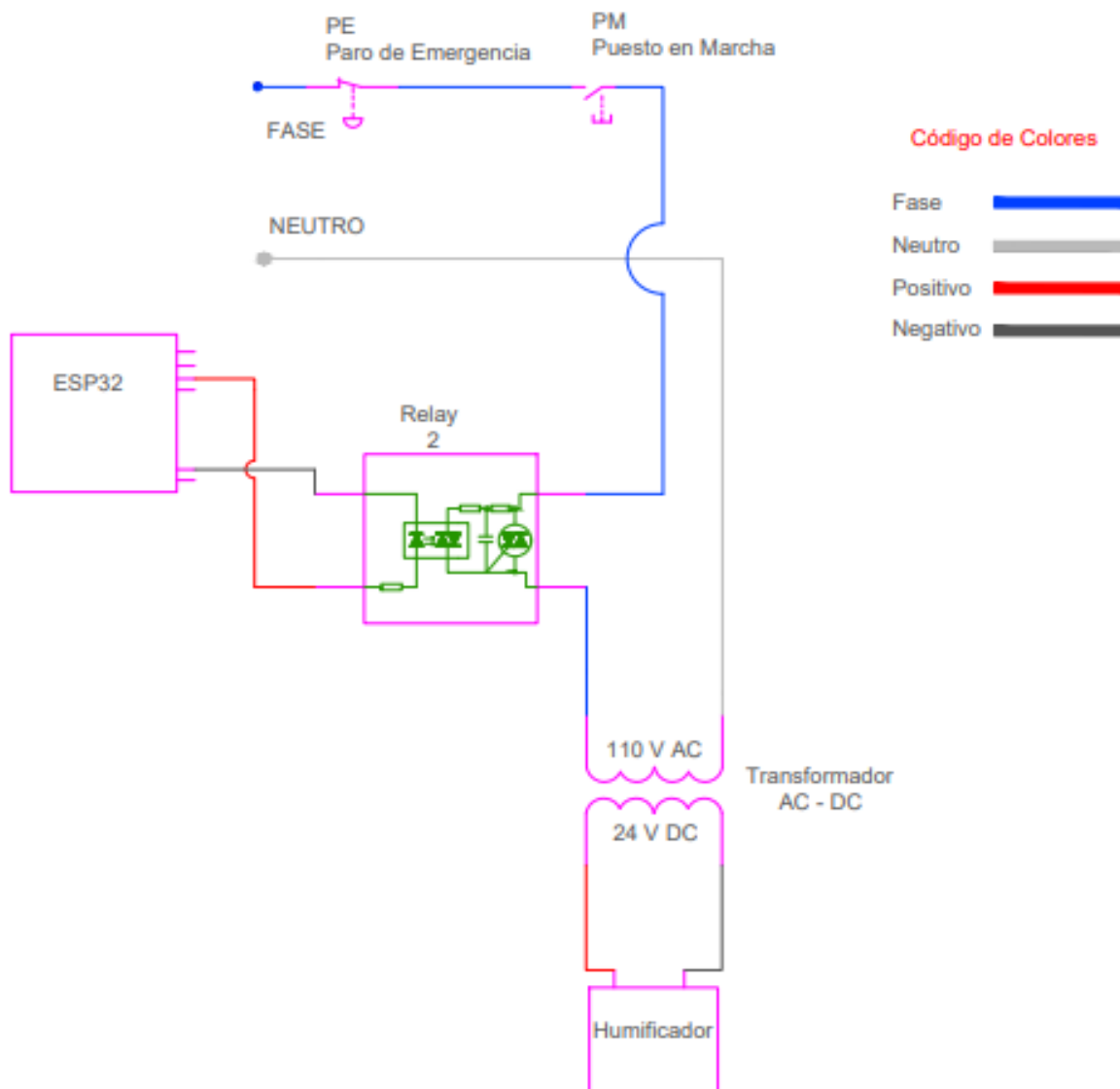


Figura 5.6 Diagrama de conexión del Humificador.

### 5.2.1.3 Conexión sistema de refrigeración

Para tener el control de la temperatura es necesario el control on-off del calefactor y el refrigerador por ende se procede a realizar la conexión del microcontrolador, el actuador y el compresor catalogado como el maestro del sistema, la conexión se lo realizo de acuerdo a la figura 5.7.

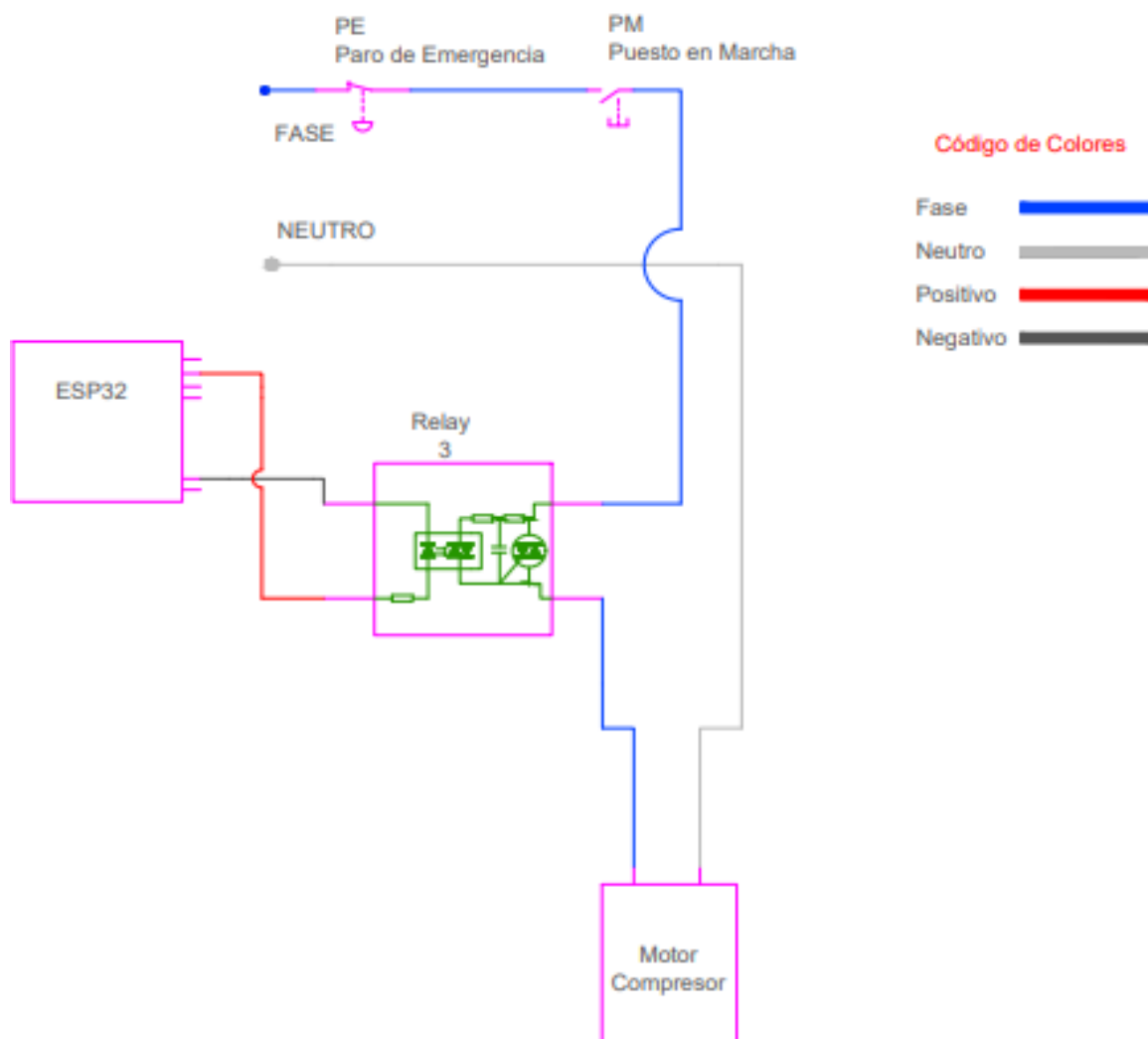


Figura 5.7 Diagrama sistema de refrigeración.

#### 5.2.1.4 Conexión de sistema de ventilación

El sistema de ventilación es empleado para dispersar la temperatura y humedad por toda la cámara permitiendo así que en cualquier lugar de la cámara se pueda tener la misma temperatura y humedad, es por ello que también va conectado al microcontrolador y al actuador de acuerdo a la figura 5.8.

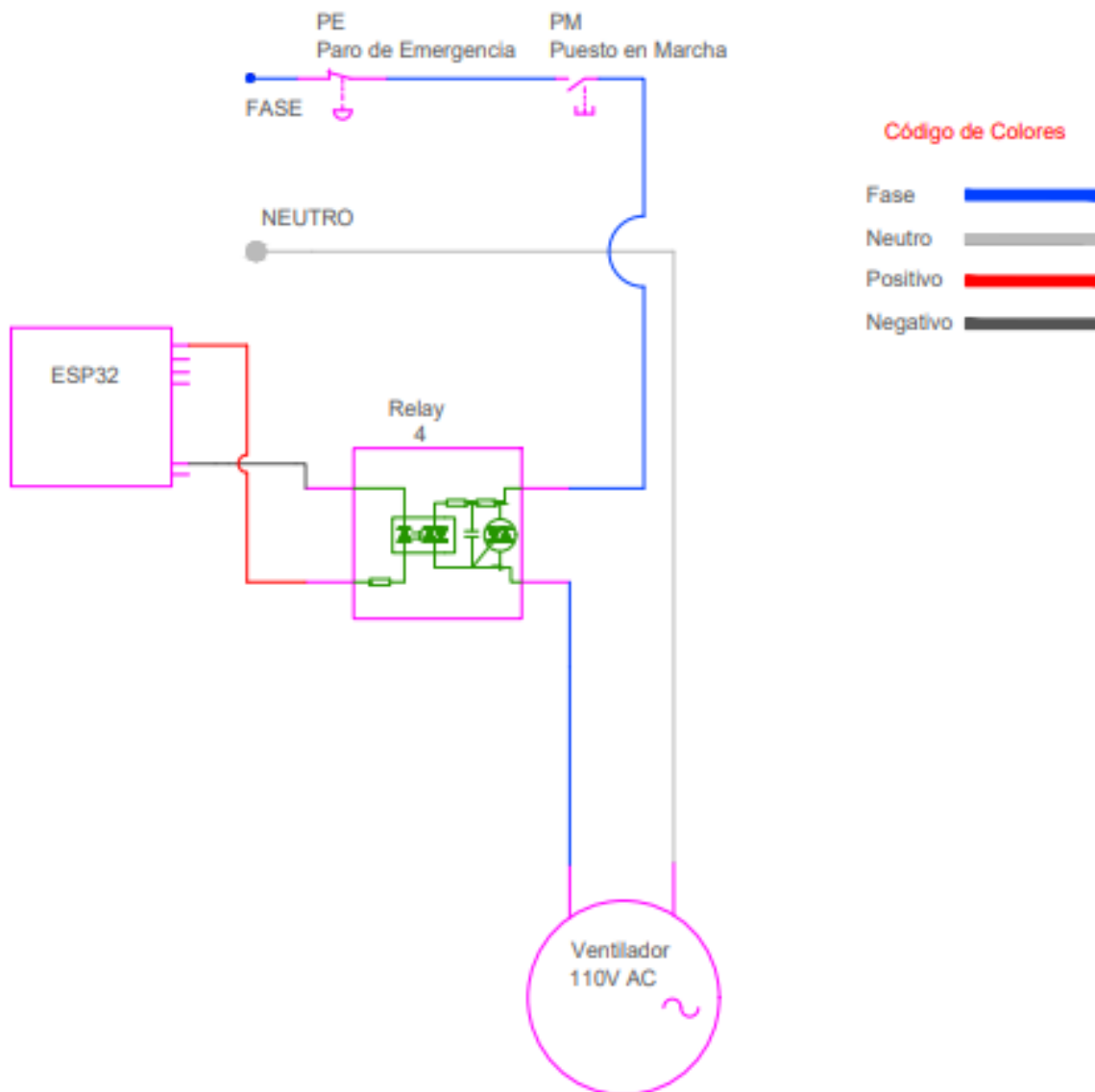


Figura 5.8 Diagrama del sistema de ventilación.

### 5.2.2 Conexión del sensor SHT32

Para la recopilación de los datos tanto de la variable de temperatura y humedad se procedió a integrar un sensor SHT32 el mismo que va conectado directamente a nuestro microcontrolador como se muestra en la figura 5.9 conforme a las especificaciones de la tabla 5.7.

Tabla 5.7 Descripción de los pines de conexión.

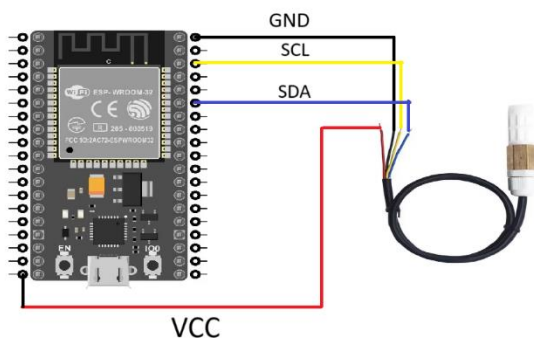


Figura 5.9 Conexión sensor SHT32

DESCRIPCIÓN	PIN
VCC	3.3V o 5V
GND	GND
SCL	22
SDA	21

### 5.2.3 Conexión microprocesador con la pantalla HMI

Conforme a nuestro diagrama general es necesario realizar una conexión que se dé entre el Visionfive 2 y la pantalla HMI esto para permitir el monitoreo y control de la cámara ya sea de forma local o de forma remota como también la conexión del cable ethernet al microprocesador como se muestra en la figura 5.10.

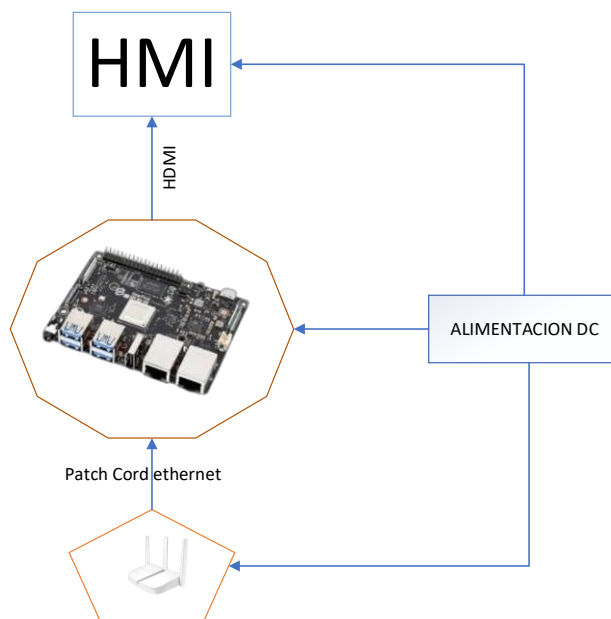


Figura 5.10 Diagrama de conexión Router-Microprocesador y HMI

## 5.3 PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR ESP32

Uno de los métodos para garantizar que nuestra cámara climática pueda tener las condiciones ambientales deseadas por el usuario es necesario realizar con centro on-off mediante el software

Arduino IDE el mismo que utiliza el lenguaje C, así también es necesario tener las siguientes bibliotecas:

- **Wire.h:** Librería para I2C, para usarse con sensores como el SHT31.
- **Adafruit\_SHT31.h:** Librería particular para el sensor de temperatura y humedad SHT31 de Adafruit.
- **WiFi.h:** Librería para manejar la conexión Wi-Fi en el ESP32.
- **PubSubClient.h:** Librería MQTT para mandar y recibir mensajes a través de un broker MQTT.

Una vez instalado las bibliotecas antes mencionadas se procedo a realizar el código que realiza un control on-off del calefactor, refrigerador, humidificador y ventilador en función del setpoint de temperatura y humedad. El calefactor y refrigerador se encienden o apagan para mantener la temperatura en torno al setpoint, mientras que el humidificador se controla para mantener la humedad deseada. El setpoint de temperatura y humedad se actualiza a través de mensajes MQTT recibidos en los temas "t1" y "t2", respectivamente, donde el valor recibido en el payload se convierte a entero y se usa para ajustar los umbrales de control. El estado del ventilador cambia cada 60 segundos, encendiéndose o apagándose alternativamente. Además, el código se conecta a una red Wi-Fi utilizando el SSID y la contraseña proporcionados, y publica periódicamente los datos de temperatura y humedad en el tema MQTT "datos" cada 2 segundos, mientras también maneja la reconexión al broker MQTT si es necesario.

Para poder analizar el código y verificar la programación realizada es necesario visitar el anexo C en el cual se encuentra de manera detallada como se logra controlar cada variable.

#### **5.4 PROGRAMACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL NODE-RED**

Para obtener que Node-Red reciba los datos desde el ESP32 y obstante los envié a la base de datos o viceversa se instaló los nodos correspondientes que permita configurar la dashboard como también programar la conexión MySQL respetiva como se muestra en el anexo D, entre los nodos utilizados tenemos:

- **MQTT IN:** Recibe mensajes desde un servidor MQTT.
- **MQTT OUT:** Envía mensajes a un servidor MQTT.
- **Función:** Ejecuta un código personalizado en JavaScript para procesar la información.
- **MySQL:** Interactúa con una base de datos MySQL para consultar y almacenar datos.

- **ui\_template:** Permite personalizar y crear interfaces de usuario mediante HTML y JavaScript.
- **ui\_gauge:** Muestra visualmente datos numéricos mediante un medidor.
- **ui\_chart:** Visualiza información en tiempo real utilizando gráficos.
- **http response:** Envía una respuesta HTTP desde un flujo de trabajo.
- **http in:** Recibe solicitudes HTTP y las envía a través de un flujo.
- **csv:** Convierte datos entre CSV y JSON.
- **join:** Agrupa varios mensajes en uno solo basado en criterios establecidos.
- **ui\_text\_input:** Permite ingresar texto desde la interfaz del panel de control.

El uso de los nodos de manera adecuada a permitido que el sistema IoT sea pueda ejecutar sin alteraciones a la misma, la programación mediante nodos se puede evidenciar en la figura 5.11.

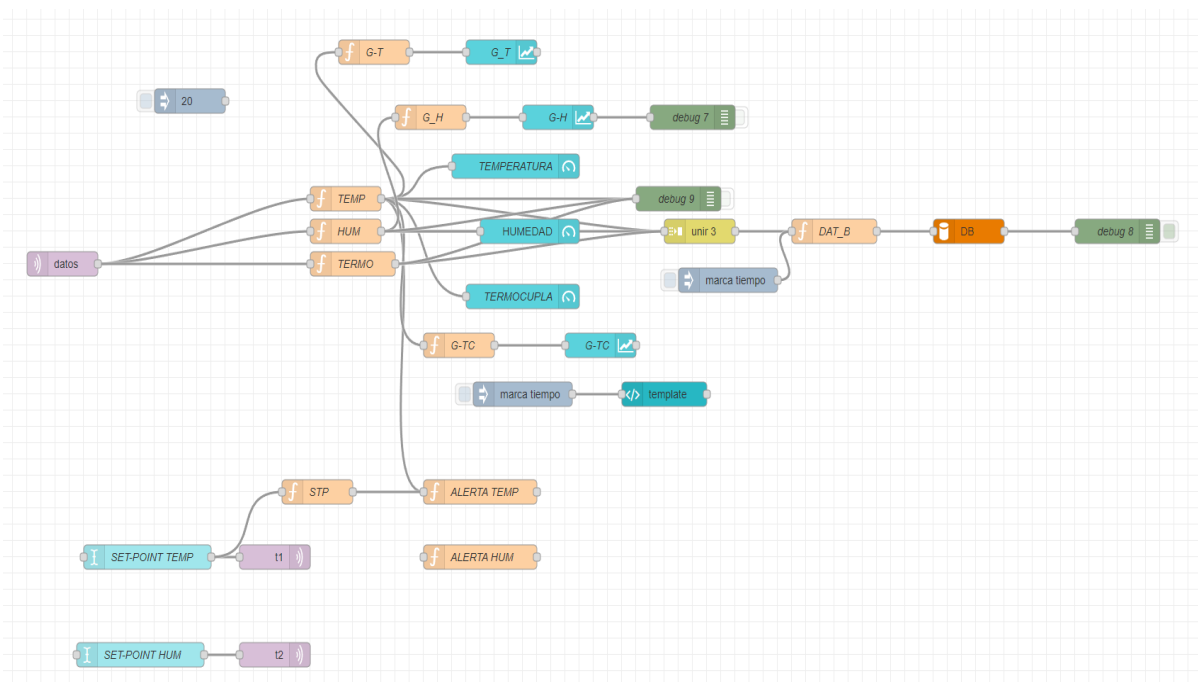


Figura 5.11 Programación de recolección y envío de datos.

## 5.5 PROGRAMAR LA BASE DE DATOS EN MYSQL WORKBENCH

Se realizó la conexión a nuestro servidor MySQL de nuestro microprocesador mediante el hostname, usuario, contraseña y un nombre del mismo que se lo debe configurar previamente en el nodo MySQL de Node-RED como se muestra en la figura 5.12.

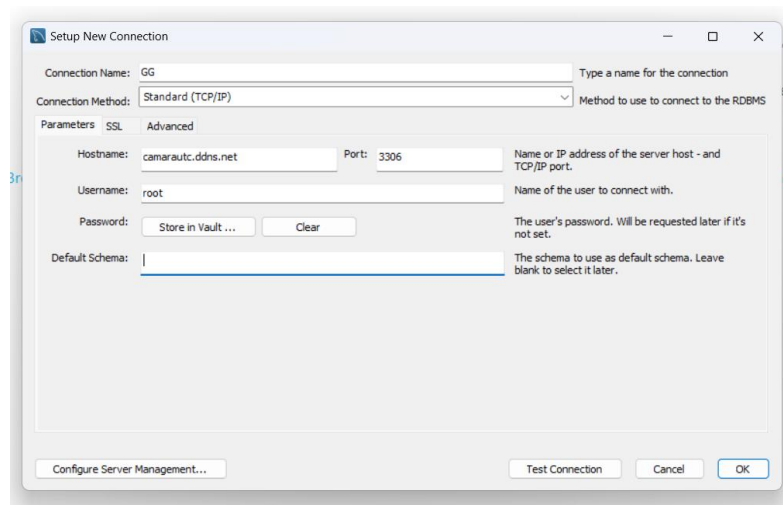


Figura 5.12 Configuración de conexión MySQL Workbench.

Tras haber realizado lo antes mencionado se procedió a la creación de la base de datos el mismo que se realizó mediante programación ya que el servidor se encuentra ejecutando en el sistema operativo debían utilizando los siguientes comandos:

- CREATE DATABASE date;

Una vez creada la base de datos se procede a la creación de la tabla como muestra la figura 5.13.

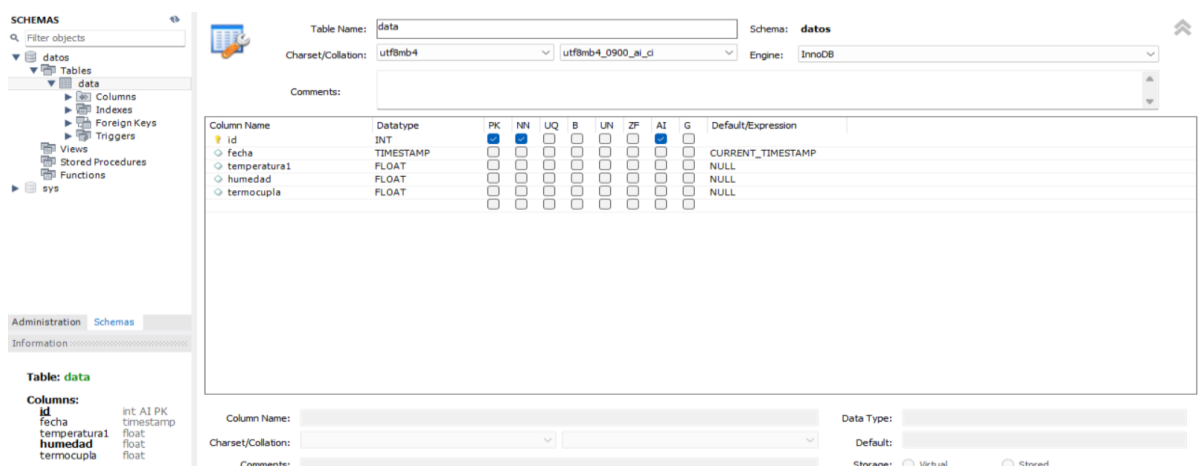


Figura 5.13 Creación de tablas en el database

## 5.6 CREACIÓN DE DDNS PARA ACCESO REMOTO

Mediante la página web my noip procedemos a crear nuestro ddns de forma gratuita conforme a nuestra necesidad, registramos el nombre de dominio “camarautc” para de allí generar una

contraseña que más tarde será utilizada en para el cliente. Una vez que se realizó todo el proceso se verifico la conexión del DDNS en mismo que se refleja como active, para poder acceder remotamente se ejecuta en un navegador el DDNS generado más el puerto abierto en nuestro router.

## 5.7 CONFIGURACIÓN DE ROUTER

Se procedió a configurar el router para lo cual ingresamos a nuestro navegador mediante la dirección IP y la clave necesaria del mismo, una vez dentro se procedió a configurar mediante entrada LAN con una puerta de enlace estática como se muestra en la figura 5.14.

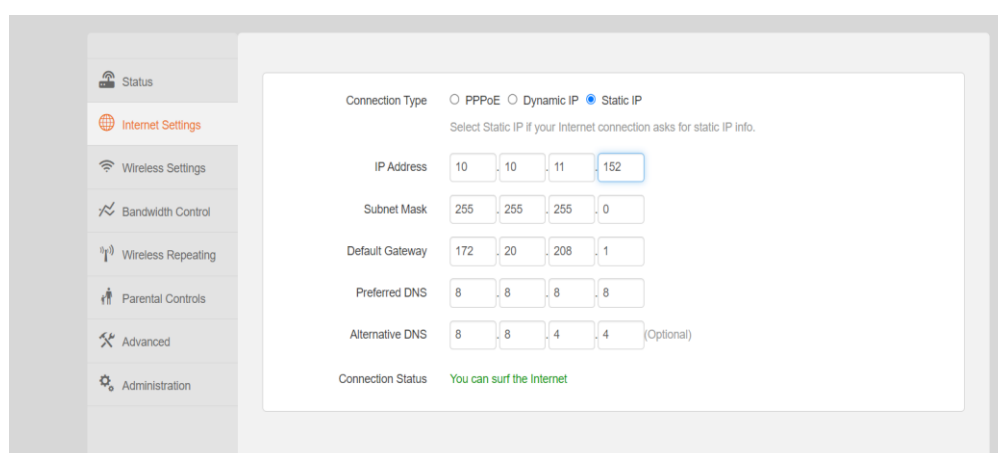


Figura 5.14 Configuración IP estática

### 5.7.1 Configuración del cliente DDNS y reenvío de puertos

Accedimos al router y seleccionamos el apartado Advanced o a reenvío NAT procedemos a ingresar la IP estática de nuestro microprocesador e ingresar los puertos que se utilizó en la ejecución de Node-RED y MySQL Workbench esto se realizó tanto en puertos externos como en internos con protocolo TCP.

Tras haber ejecutado los puertos se procede a registrar el DDNS creado anteriormente, para lo cual ingrese el proveedor del dominio en username que me dio la página noip, la contraseña y por último nuestro dominio generado conforme muestra la figura 5.15.

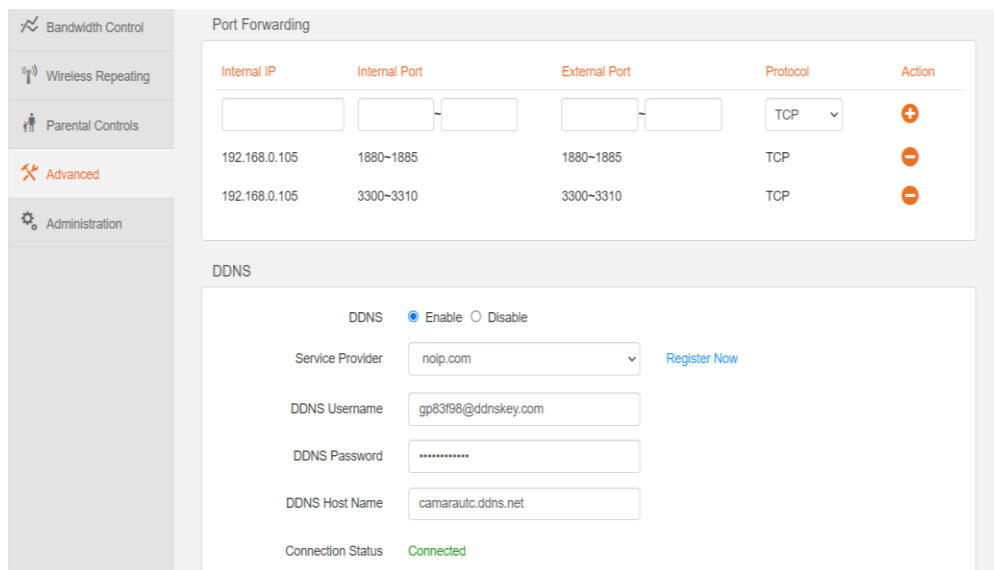


Figura 5.15 configuración DDNS y apertura de puertos.

## 5.8 VERIFICACIÓN DE CONEXIÓN DEL ESP32

En las figuras 5.16 se observa la conexión del ESP32 con el router servidor de internet el mismo que está configurado para realizar lecturas y así también se puede comprobar los datos que recibe con su variabilidad en tiempo real mediante la opción de monitor serial conforme se observa en la figura 5.17.

```

10:53:32.439 -> ..
10:53:32.943 -> WiFi conectado
10:53:32.943 -> Dirección IP:
10:53:32.943 -> 192.168.1.100
10:53:32.943 -> Intentando conexión MQTT...Conectado
    
```

Figura 5.16 Proceso de conexión del ESP32 a Wifi.



Figura 5.17 Datos recolectados en tiempo real de temperatura y humedad

## 5.9 VERIFICACIÓN DE COMUNICACIÓN EN PROTOCOLO MQTT, HTTP Y MYSQL

### 5.9.1 Protocolo de comunicación MQTT

Dado el caso de comunicación con protocolo MQTT se tiene una conexión inalámbrica, permitiendo publicar y recibir los datos mediante broker.emqx.io perteneciente a MQTT\_server trabajando enlazados con el nodo MQTT OUT y el nodo MQTT IN en la plataforma Node-RED siendo la parte fundamental del sistema IoT, esta comunicación se la verifica observando los datos como se muestra en la figura 5.18 o a su vez mediante el mensaje “conected” una vez ejecutado el programa.

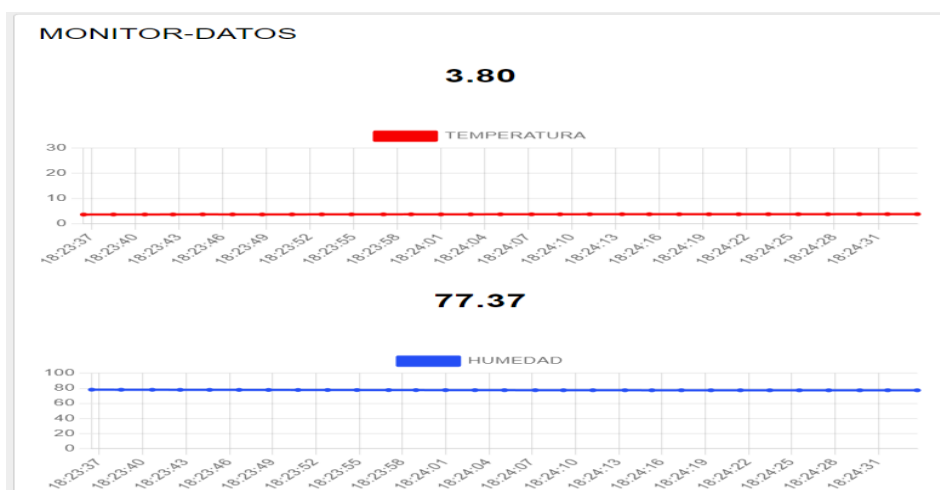


Figura 5.18 Verificación de protocolo de comunicación MQTT

### 5.9.2 Protocolo de comunicación HTTP

El presente protocolo de comunicación se desarrolló para el HMI permitiendo transferir la información desde el Node-RED a la pantalla, simulando una página web desarrollada y así permitiendo el ingreso mediante DDNS según la figura 5.19 configurados anteriormente.

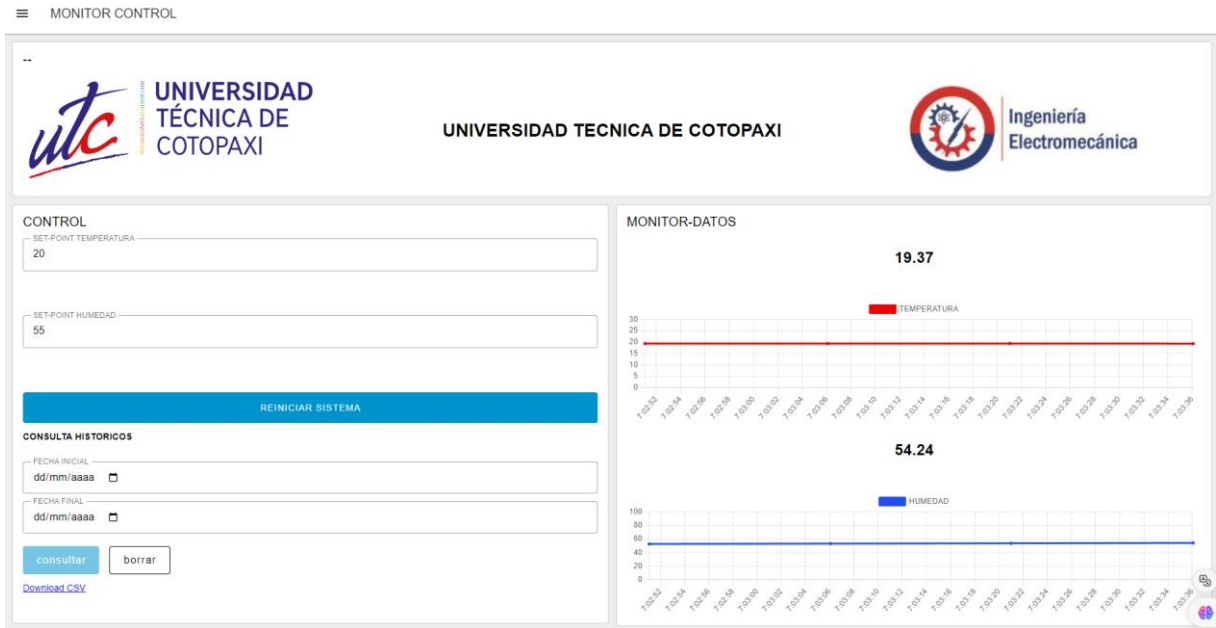


Figura 5.19 Protocolo de comunicación HTTP-DDNS

### 5.9.3 Protocolo de comunicación MySQL

El presente protocolo de comunicación fue utilizado para el sistema de gestión de datos permitiendo almacenar en MySQL Workbench mediante la programación y configuración del nodo MySQL con datos del protocolo HTTP conforme representa la figura 5.20, así también su verificación se lo puede realizar descargando los datos almacenados en la base.

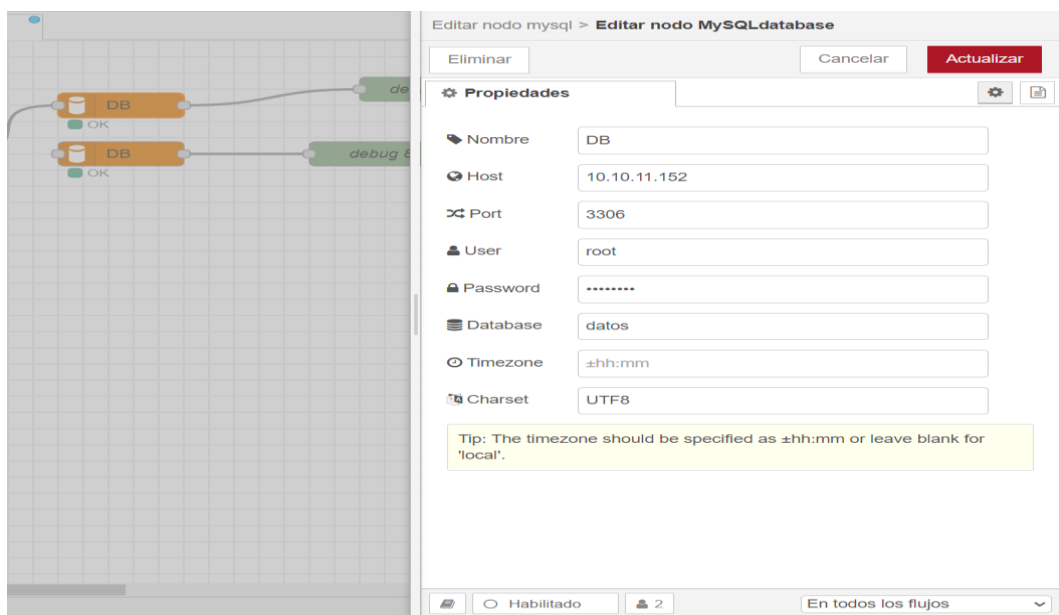
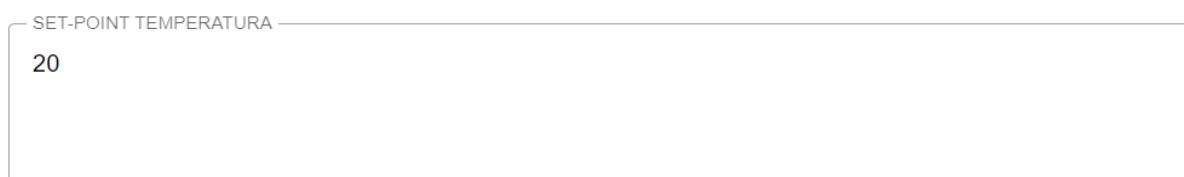


Figura 5.20 Protocolo de comunicación MySQL

## 5.10 RESULTADOS DE MONITOREO Y CONTROL DEL SISTEMA IOT

### 5.10.1 Monitoreo y control de variables

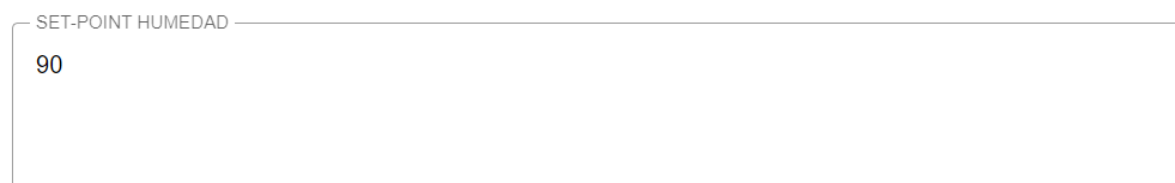
Se introduce diferentes valores en las dos variables a controlar en el HMI como se observa en las figuras 5.21 y 5.22 para obtener el valor a mantener dentro la cámara climática, hay que tener en cuenta que una vez ingresado el valor en el HMI se procede a la activación de los actuadores mediante protocolo MQTT de manera inmediata empezando a mantener el setpoint deseado.



SET-POINT TEMPERATURA

20

Figura 5.21 Ingreso del valor de temperatura para la cámara experimental



SET-POINT HUMEDAD

90

Figura 5.22 Ingreso del valor de humedad para la cámara experimental

### 5.10.2 Análisis de resultados de monitoreo

Debido a que los datos ingresados por el HMI son los mismos, se procede a la toma de datos en la plataforma MySQL Workbench y también se utilizó el instrumento denominado termohigrómetro digital HTC-1 el mismo que nos ayudó a realizar el cálculo de error con los datos del sensor y el instrumento estándar.

Tras la obtención de datos obtenidos en el apartado 5.3.1 se realiza un cálculo de error en la medición entre el valor ingresado o deseado como es el setpoint con la medida tanto en el termohigrómetro como en el sensor SHT32, teniendo un margen de error mínimo como se muestra en la tabla 5.8 y 5.9.

Tabla 5.8 Error entre el valor deseado de temperatura y el valor monitoreado de la cámara.

Valor deseado	Termohigrómetro	Sensor SHT32	°C de error
3	3.5	3.2/2.98	0.0067
5	5.5	5.2/4.98	0.004
10	10.5	9.98/10.2	0.002
15	15.5	14.98/15.2	0.0013
20	20.5	19.97/20.3	0.0015
25	25.5	24.96/25.4	0.0016
30	30.5	29.95/30.5	0.0016

Tabla 5.9 Error entre el valor deseado de humedad y el valor monitoreado de la cámara.

Valor deseado	Termohigrómetro	Sensor SHT32	% de error
40	39.2	39.5	0,013
50	49.2	49.5	0,010
60	59.2	59.5	0,008
70	69.2	69.5	0,007
80	79.2	79.5	0,006
90	89.2	89.5	0,006
100	99.2	99.5	0,005

### 5.11 PRUEBAS DE PRECISIÓN

Se llevaron a cabo pruebas de precisión el cual nos permitió verificar la exactitud de las mediciones de la temperatura y humedad las mismas que eran tomadas por nuestro sensor SHT32, las pruebas que se ejecutaron consistieron en comparar las lecturas obtenidas por el sensor con un dispositivo de medición estándar en diversas condiciones ambientales teniendo un rango de precisión conforme a las tablas 5.10 y 5.11 así también la verificación con el estándar el mismo que es presentado en el anexo E.

Tabla 5.10 Comparación de lecturas de temperatura

Condición	Sensor SHT32 (°C)	Dispositivo estándar (°C)
Temperatura baja	5	5.1
Temperatura media	20	20.1
Temperatura alto	30	34.9

Tabla 5.11 Comparación de lecturas de humedad

Condición	Sensor SHT32 (%)	Dispositivo estándar (%)
Temperatura baja	20	20.2
Temperatura media	50	50.1
Temperatura alto	80	79.9

### 5.11.1 Pruebas de consistencia

Para garantizar la consistencia de las lecturas, se realizó diferentes medicinas de manera repetitiva y prolongada obteniendo resultados que el sensor mantenía una precisión constante de los datos adquiridos como se muestra en la figura 5.23 esto durante 20 segundos de análisis la cual se mantiene conforme a la setpoint ingresado.

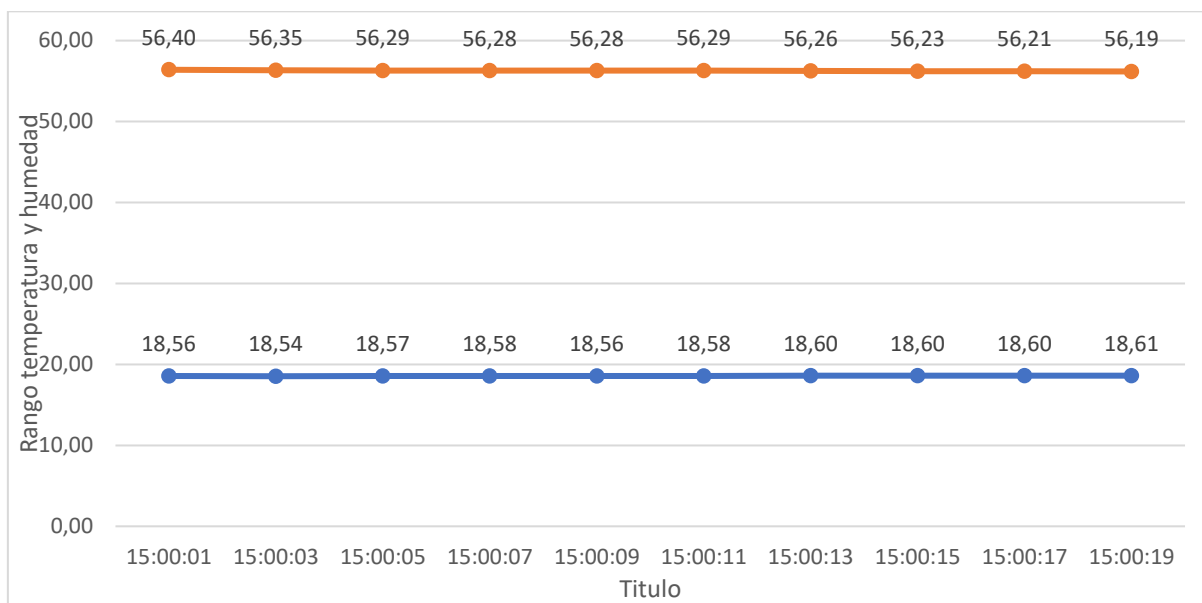


Figura 5.23 Consistencia de datos en 20 segundo de la cámara experimental

Además, se realizó otra prueba de consistencia con el mismo valor de setpoint conforme lo detalla la figura 5.24.

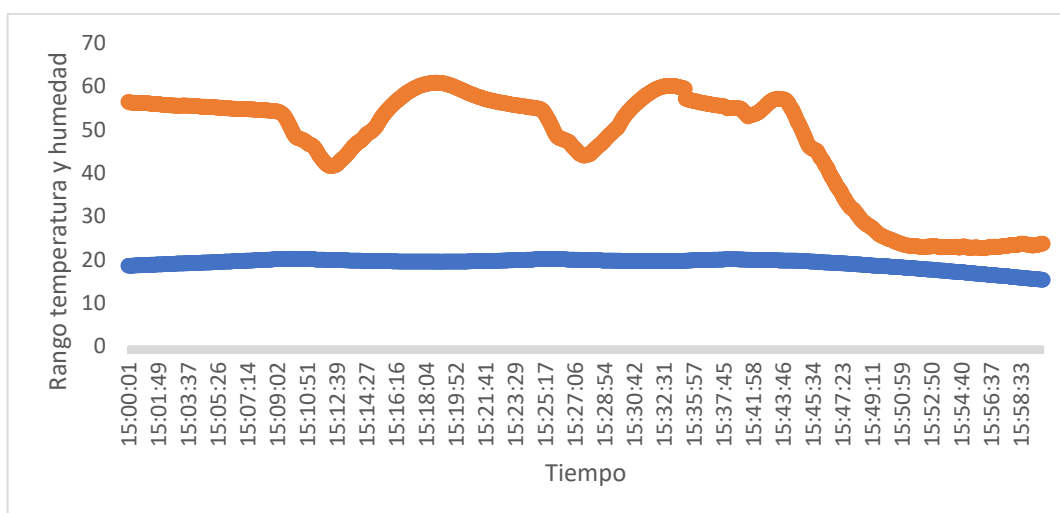


Figura 5.24 Consistencia de datos en 60 minutos de la cámara experimental

### 5.11.2 Variables Medidas

Para poder tener un ambiente controlado en la cámara experimental se procedió al control y medición de las variables de temperatura interna de la cámara (°C) como también de la humedad relativa (%) de la misma, registrando cada dato obtenido en la base de datos MySQL Workbench conforme lo demuestra la figura 5.25.

id	fecha	temperatura1	humedad
988	2024-07-14 14:10:28	17.66	73.31
989	2024-07-14 14:10:30	17.64	73.41
990	2024-07-14 14:10:33	17.63	73.45
991	2024-07-14 14:10:35	17.63	73.53
992	2024-07-14 14:10:37	17.61	73.6
993	2024-07-14 14:10:39	17.61	73.64
994	2024-07-14 14:10:41	17.6	73.69
995	2024-07-14 14:10:43	17.6	73.69
996	2024-07-14 14:10:45	17.61	73.72
997	2024-07-14 14:10:47	17.59	73.78
998	2024-07-14 14:10:49	17.59	73.79
999	2024-07-14 14:10:51	17.57	73.78
1000	2024-07-14 14:10:53	17.55	73.8
1001	2024-07-14 14:10:55	17.61	73.75
1002	2024-07-14 14:10:57	17.55	73.76
1003	2024-07-14 14:10:59	17.53	73.74

Figura 5.25 Datos registrados en MySQL Workbench.

## 5.12 PRUEBAS DE LABORATORIO

### 5.12.1 Análisis a 15 °C y 60% de humedad

En el presente entorno controlado según el tipo de mosca como en este caso se analizó a *Drosophila* y *Migrans* este tipo de mosca es utilizada en investigaciones biológicas y genéticas.

Al colocar dentro de la cámara experimental climática con un rango de temperatura de 15 °C y una humedad de 60% se pudo evidenciar que misma tenía una variable de error de 13°C mínimo y 17°C como máximo teniendo una caída de 15 grados la misma que se logró controlar en un rango de 3 minutos sin alteraciones al crecimiento del mismo. Se puso dentro de la cámara desde el huevo y hasta llegar a adulto se demoró 10 días conforme al siguiente rango:

Huevo a larva: 3 días.

Larva a pupa: 4 días

Pupa a adulto: 3 días.

Entre el rango de temperatura controlada y monitoreada tenemos

Temperatura setpoint es de 15°C con caídas de 2°C llegando como mínimo a 13°C así también con unas elevaciones de 2°C llegando hasta 17°C la humedad óptima del presente experimento de 60% a 70% siendo crucial para evitar la desecación de los huevos y larvas.

Gracias al monitoreo y control estable se consiguió que esta cría de moscas se diera según el rango establecido conforme a diferentes investigaciones logrando que las fluctuaciones sean precisas.

### **5.12.2 Análisis a 25 °C y 60% de humedad**

En el presente entorno controlado según el tipo de mosca como en este caso se analizó a *Drosophila* y *Migrans* este tipo de mosca es utilizada en investigaciones biológicas y genéticas.

Al colocar dentro de la cámara experimental climática con un rango de temperatura de 25 °C y una humedad de 60% se pudo evidenciar que misma tenía una variable de error de 33°C mínimo y 27°C como máximo teniendo una caída de 5 grados la misma que se logró controlar en un rango de 1 minutos sin alteraciones al crecimiento del mismo. Se puso dentro de la cámara desde el huevo y hasta llegar a adulto se demoró 6 días conforme al siguiente rango:

Huevo a larva: 1 días.

Larva a pupa: 3 días

Pupa a adulto: 6 días.

Entre el rango de temperatura controlada y monitoreada tenemos

Temperatura setpoint es de 25°C con caídas de 2°C llegando como mínimo a 23°C así también con unas elevaciones de 2°C llegando hasta 27°C la humedad óptima del presente experimento de 60% a 70% siendo crucial para evitar la desecación de los huevos y larvas.

Gracias al monitoreo y control estable se consiguió que esta cría de moscas se diera según el rango establecido conforme a diferentes investigaciones logrando que las fluctuaciones sean precisas.

### 5.13 COSTO BENEFICIO DEL PROYECTO

#### 5.13.1 Costo

El proyecto consistió en el desarrollo de un sistema IoT para una cámara de cría de moscas, enfocado en el control ambiental (temperatura y humedad) mediante un sistema de control on-off. El sistema incluye hardware como VisionFive2, relés industriales, pantalla Waveshare, y otros componentes, integrados a través de Node-RED y MySQL.

Figura 5.12 Costo de la propuesta tecnologica

Ítem	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Microprocesar Visionfive2	1	100	100
Pantalla Waveshare	1	70	70
Reles Industriales	4	20	80
PCB	1	50	50
Conductores, termo retráctil, terminales	1	65	65
Reservorio de Humificador	1	30	30
Panel de control	1	130	130
Router	1	18	18
Mano de obra	2	100	200
Sensor	1	75	75
Microcontrolador ESP32	1	12	12
Total, Estimado			830

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

- El enfoque al uso de tecnologías y metodologías para el control de condiciones ambientales ha permitido que los sistemas de control desarrollados basándose en Node-RED y el almacenamiento en la base de datos MySQL, son útiles para poder gestionar y además monitorear los entornos controlados.
- La aplicación desarrollada ha facilitado el seguimiento de manera continua de las variables ambientales controladas dentro de la cámara experimental de crianza de moscas, ofreciendo una interfaz sutil para la supervisión y el ajuste necesario de los parámetros permitiendo una gestión accesible del sistema.
- La validación de los datos de nuestro sistema IoT ha confirmado que la información recolectada es confiable ya que las mediciones de las variables de temperatura y humedad proporcionadas por el mismo han sido verificadas mediante comparaciones directas con equipos de medición estándar demostrando una alta congruencia entre los datos recopilados por el sistema IoT como también los valores reales.

### 6.2 RECOMENDACIONES

- Establecer medidas de seguridad avanzadas para proteger los datos utilizando autenticación de dos pasos para acceder de forma remota y configurar firewalls apropiados.
- Instalar sensores extras, como de luz o CO<sub>2</sub>, brindaría una visión más completa del entorno de la cámara de cría de moscas ya que la inclusión de dichos sensores facilitaría una supervisión más minuciosa y un entendimiento más profundo de los factores que influyen en el desarrollo de las moscas.
- Mejorar la usabilidad de la interfaz de la aplicación de Node-RED podría mejorar la interacción con el sistema de forma más simple y efectiva considerando el uso de gráficos más detallados, notificaciones en tiempo real y opciones personalizables para los usuarios.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- [1] M. C. Abad Alay, M. A. Méndez García, and O. Erazo Moreta, “Tecnología de Internet de las Cosas en el monitoreo de cultivos agrícolas,” *REVISTA ODIGOS*, vol. 4, no. 3, pp. 69–93, oct. 2023, doi: 10.35290/RO. V4N3.2023.939.
- [2] “Científicos editan genéticamente a las moscas para proteger los cultivos | WIRED.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://es.wired.com/articulos/cientificos-editan-geneticamente-a-moscas-para-proteger-cultivos>
- [3] “Vista de Sistema IoT para el monitoreo de variables ambientales en un ambiente laboral.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.revistasocialfronteriza.com/ojs/index.php/rev/article/view/117/210>
- [4] “Beneficios del IoT para las empresas – Blog Incentro.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.incentro.com/es-ES/blog/internet-de-las-cosas>
- [5] “Protocolos de comunicación en IoT: ¡descúbrelos! | Tokio School.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.tokioschool.com/noticias/iot-protocolos-comunicacion/>
- [6] “¿Qué es MQTT? El protocolo de comunicación para IoT.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://solectroshop.com/es/blog/que-es-mqtt-el-protocolo-de-comunicacion-para-iot-n117>
- [7] “Generalidades del protocolo HTTP – HTTP | MDN.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTTP/Overview>
- [8] “Protocolo CoAP.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/protocolo-coap/thread/667241330188894208-667212896255488000>
- [9] “¿Qué son los microprocesadores y qué modelos hay? – JVS Informática Blog.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.jvs-informatica.com/blog/que-son-los-microprocesadores-y-que-modelos-hay/>
- [10] “Qué Es un Microcontrolador, Funcionamiento y Tipos.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.redeweb.com/actualidad/que-es-un-microcontrolador/>

- [11] “¿Qué significa HMI? Interfaz humano-máquina | COPA-DATA.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualizacion-control/que-significa-hmi-interfaz-humano-maquina-copa-data/>
- [12] “Qué es un sistema HMI, para qué sirve y cómo funciona.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.sicma21.com/que-es-un-hmi-y-como-funciona/>
- [13] “▷ Qué es un Relé y Tipos de Relés | Voltione.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://voltione.com/pages/que-es-rele>
- [14] “Qué es un relé y cómo funciona – Advantecnia.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://advantecnia.com/que-es-un-rele-y-como-funciona/>
- [15] “What’s the Difference Between Analog and Digital Sensors? – Sensorex Liquid Analysis Technology.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://sensorex.com/analog-vs-digital-sensors/>
- [16] “Base de Datos – Concepto, tipos y ejemplos,” <https://concepto.de/>, Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://concepto.de/base-de-datos/>
- [17] “Programación visual y sus aplicaciones en BIM.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://mcad.co/programacion-visual-y-sus-aplicaciones-en-bim/>
- [18] “Sistema operativo: Qué es, fundamentos y características.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.godaddy.com/resources/es/digitalizacion/sistema-operativo-que-es>
- [19] “11.2.4.1 Reenvío de puertos.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.sapalomera.cat/moodlecf/RS/2/course/module11/11.2.4.1/11.2.4.1.html>
- [20] “▷ Especificaciones del módulo ESP32.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://vasanza.blogspot.com/2021/07/especificaciones-del-modulo-esp32.html>
- [21] “Relé estado Sólido.” Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.eivinieza.com.ec/automatizacion-y-control/reles-termicos/rele-estado-solido.html>

## 8 ANEXOS

### CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica con el tema: “DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT PARA UNA CÁMARA DE CRIANZA DE MOSCAS”, de Soto Cuchiye Neris Humberto, Rodríguez Simba Joel Sebastián, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto turnitin, con un porcentaje de coincidencias del 7%; y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.

#### 7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




##### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado

##### Exclusiones

- ▶ N.º de fuente excluida

##### Fuentes principales

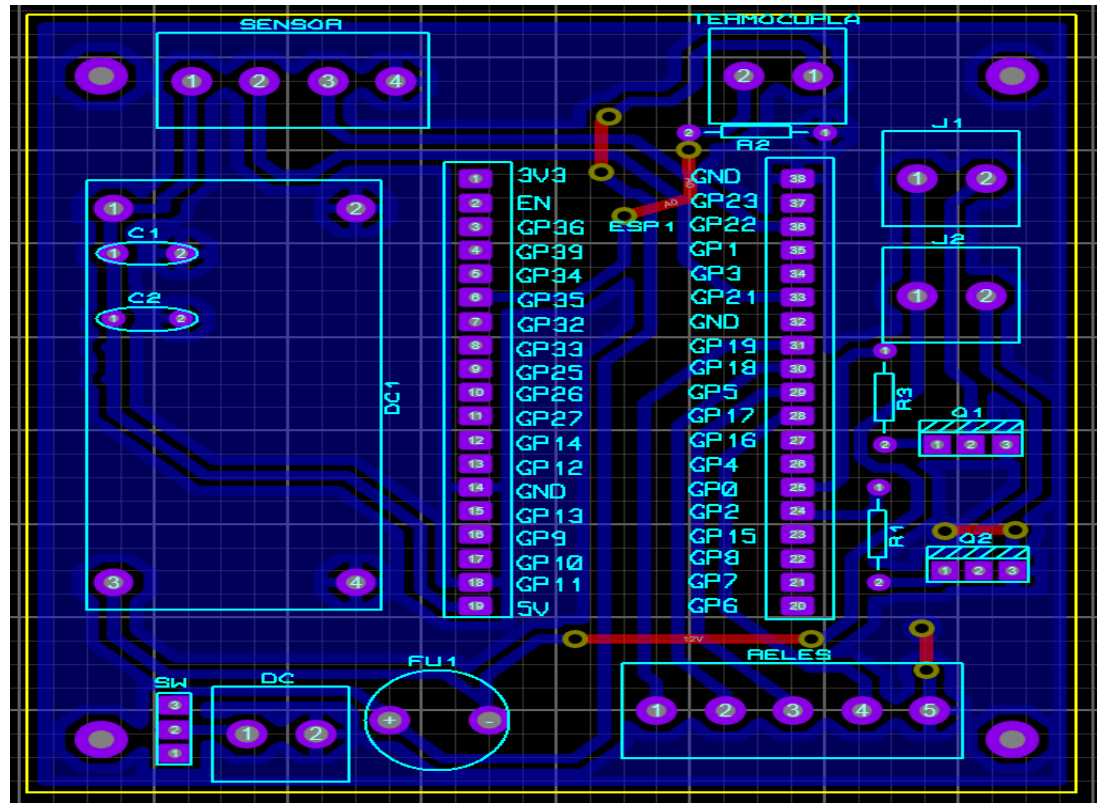
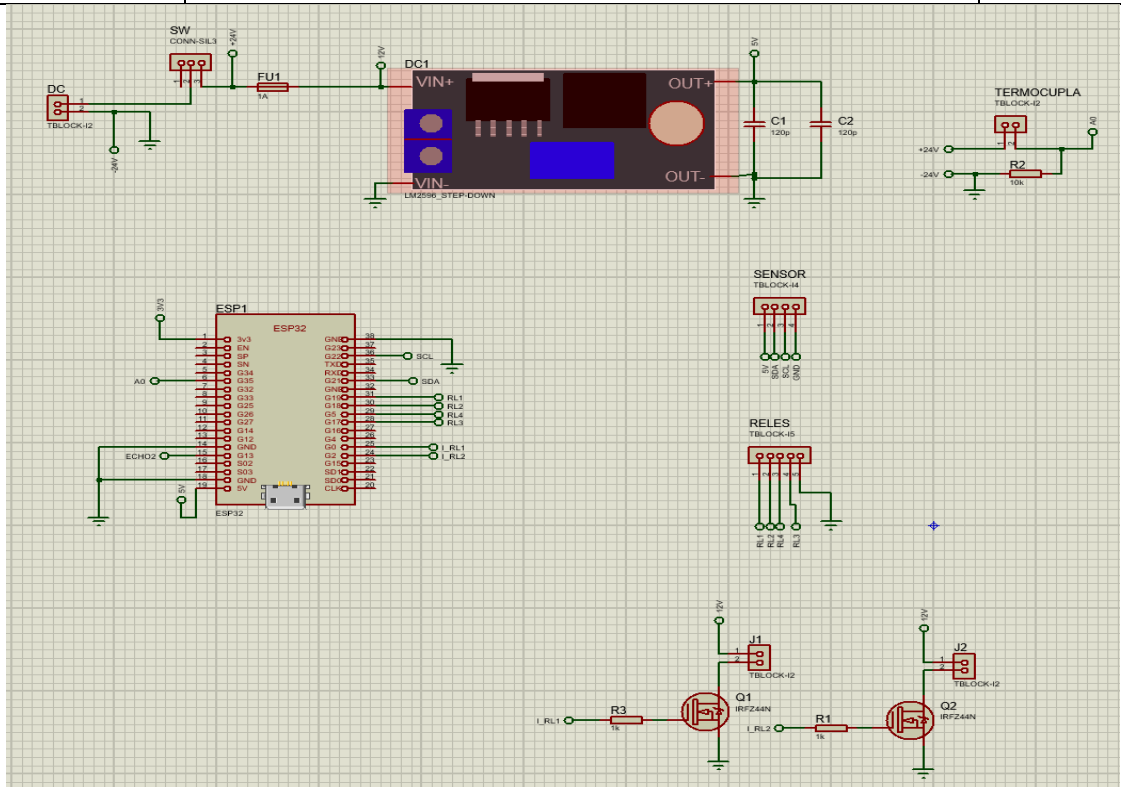
- 7%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Latacunga, 19 de agosto de 2024

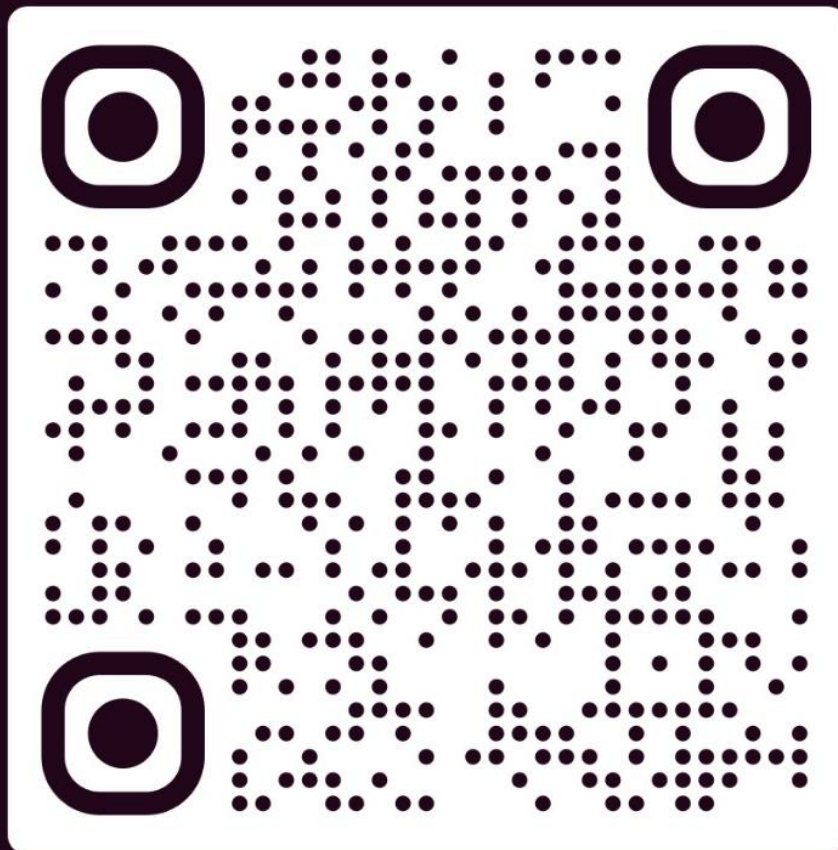
.....  
Ing. Ms.C Luigi Orlando Freire Martínez  
C.C.: 0502529589  
**TUTOR**





# CODIGO ESP32

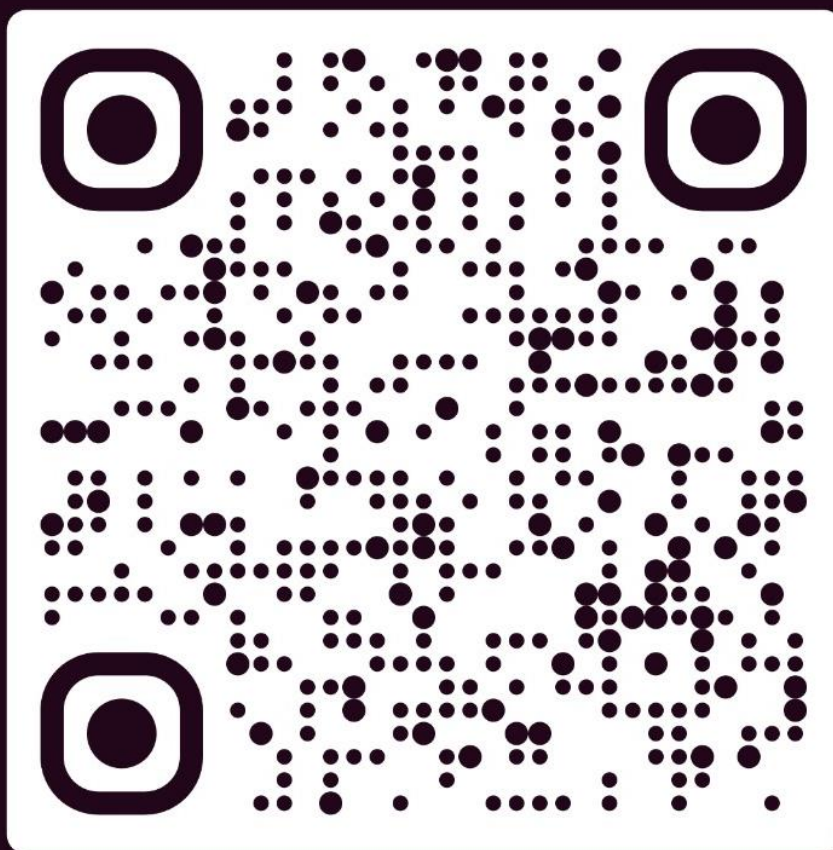
---



ANEXO D	PROGRAMACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL NODE-RED	1 DE 1
---------	--	--------

# Código Node-RED

---



ANEXO E	PRUEBAS DE PRECISIÓN	1 DE 1																																
 <p>The photograph shows the exterior control panel of a refrigerator on the left, featuring a monitor labeled 'PANTALLA' and a red emergency stop button. The monitor displays a web interface for 'UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI' with 'Ingeniería Electromecánica' and 'MONITOR DATOS' sections. On the right, the refrigerator door is open, revealing a digital thermometer on a shelf displaying 19.4°C.</p>																																		
<div data-bbox="255 851 734 1523"><p><b>18.96</b></p><p>TEMPERATURA</p><table border="1"><thead><tr><th>Time</th><th>Temperature (°C)</th></tr></thead><tbody><tr><td>11:35:48</td><td>18.96</td></tr><tr><td>11:35:56</td><td>18.96</td></tr><tr><td>11:36:04</td><td>18.96</td></tr><tr><td>11:36:12</td><td>18.96</td></tr><tr><td>11:36:20</td><td>18.96</td></tr><tr><td>11:36:28</td><td>18.96</td></tr><tr><td>11:36:36</td><td>18.96</td></tr></tbody></table><p><b>60.68</b></p><p>HUMEDAD</p><table border="1"><thead><tr><th>Time</th><th>Humidity (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>11:35:48</td><td>60.68</td></tr><tr><td>11:35:56</td><td>60.68</td></tr><tr><td>11:36:04</td><td>60.68</td></tr><tr><td>11:36:12</td><td>60.68</td></tr><tr><td>11:36:20</td><td>60.68</td></tr><tr><td>11:36:28</td><td>60.68</td></tr><tr><td>11:36:36</td><td>60.68</td></tr></tbody></table></div> <div data-bbox="798 828 1404 1523"><p>A close-up photograph of the digital thermometer inside the refrigerator. The display shows a temperature of 18.9°C and a humidity of 55%. The device also displays the time 12:36 and the model name HTC-1.</p></div>			Time	Temperature (°C)	11:35:48	18.96	11:35:56	18.96	11:36:04	18.96	11:36:12	18.96	11:36:20	18.96	11:36:28	18.96	11:36:36	18.96	Time	Humidity (%)	11:35:48	60.68	11:35:56	60.68	11:36:04	60.68	11:36:12	60.68	11:36:20	60.68	11:36:28	60.68	11:36:36	60.68
Time	Temperature (°C)																																	
11:35:48	18.96																																	
11:35:56	18.96																																	
11:36:04	18.96																																	
11:36:12	18.96																																	
11:36:20	18.96																																	
11:36:28	18.96																																	
11:36:36	18.96																																	
Time	Humidity (%)																																	
11:35:48	60.68																																	
11:35:56	60.68																																	
11:36:04	60.68																																	
11:36:12	60.68																																	
11:36:20	60.68																																	
11:36:28	60.68																																	
11:36:36	60.68																																	