

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y
MECÁNICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

**“MONITOREO Y SUPERVISIÓN ELECTRONICA DE TEMPERATURA Y
HUMEDAD RELATIVA PARA LA CONSERVACIÓN PREVENTIVA DE LOS
BIENES CULTURALES DEL MUSEO INKA-CUSCO”**

PRESENTADO POR: BACH. MAYDELIM GLENDIFER ORTIZ DE ORUE
QUIRITA

ASESOR: M.Sc. ING. FERNANDO TAGLE CARBAJAL.

CUSCO-PERÚ

2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: MONITOREO Y SUPERVISIÓN ELECTRONICA DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA PARA LA CONSERVACIÓN PREVENTIVA DE LOS BIENES CULTURALES DEL MUSEO INKA -CUSCO

presentado por: MAYDELYN GLENDFER ORTIZ DE ORIVE QUIRITA con DNI Nro.: 48473738

presentado por: con DNI Nro.:

para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO ELECTRONICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 12 de ABRIL de 2023

Firma

Post firma: Fernando Tagle Carbajal

Nro. de DNI: 29585932

ORCID del Asesor: 0000-0003-0481-5277

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio.

NOMBRE DEL TRABAJO

Tesis Ortiz de Orue Maydelim.pdf

AUTOR

Maydelim Glendifer Ortiz de Orué Quirita

RECUENTO DE PALABRAS

18609 Words

RECUENTO DE CARACTERES

107082 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

106 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.4MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 24, 2023 8:52 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

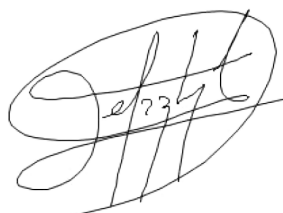
Jan 24, 2023 8:54 PM GMT-5**● 8% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente



Fernando Tagle Carbajal

DEDICATORIA

*A mis padres y hermanas, por él
constante apoyo durante cada etapa de mí
vida. Y gracias a ellos soy lo que soy.*

Maydelim Glendifer Ortiz de Orue Quirita

AGRADECIMIENTOS

A Nuestro Señor Todo Poderoso por darme la vida y por brindarme a mis padres Enrique y Ligia por su constante apoyo, a mis hermanas Jhoselim y Kristell por creer en mí y a mi amada sobrina Valentina por ser mi gran inspiración.

Maydelim Glendifer Ortiz de Orue Quirita.

INDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
INDICE	IV
INDICE DE FIGURAS	VII
INDICE DE TABLAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1: GENERALIDADES.....	2
1.1. ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS	2
1.2. DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	3
1.2.1. LOCALIZACION Y AMBITO GEOGRAFICO.....	3
1.2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA	4
1.4. JUSTIFICACION.....	4
1.5. OBJETIVOS.....	5
1.5.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
1.6. VARIABLES E INDICADORES	6
1.7. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION	6
1.8. FUENTES DE INFORMACION E INSTRUMENTOS UTILIZADOS	6
CAPITULO 2: MARCO CONCEPTUAL	7
2.1. BASES TEORICAS.....	7
2.1.1. LA CONSERVACION	7
2.1.2. CONSERVACION PREVENTIVA	7
2.1.3. FACTORES QUE AMENAZAN LAS COLECCIONES	8

2.1.4. MUSEO INKA.....	8
2.1.5. CARACTERISTICA DE LA VARIABLE A CONTROLAR	9
2.1.6. ALGORITMOS DE CONTROL	10
2.1.7. MICROCONTROLADOR.....	11
2.1.8. EL IDE ARDUINO.....	11
2.1.9. EL PROGRAMADOR	11
2.1.10. ACTUADOR	12
2.1.10.1. Sistemas de actuación	12
2.1.11. SENSORES.....	14
2.1.11.1. Sensor de humedad	14
2.1.11.2. Sensor de temperatura.....	15
2.1.12. RELOJ DE TIEMPO REAL	15
2.1.13. COMUNICACIONES WIFI	16
2.1.14. COMUNICACIONES ONE-WIRE	16
2.1.15. COMUNICACIONES I2C	17
2.1.16. EL SOFTWARE LABVIEW	17
CAPITULO 3: DISEÑO E IMPLEMENTACION	19
3.1. DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL	19
3.1.1. EL MICROCONTROLADOR ESP32.....	19
3.1.2. SENSOR HUMEDAD DHT22	22
3.1.3. SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20.....	23
3.1.4. SENSOR DE LUZ.....	24
3.1.5. MODELO TEORICO DEL SISTEMA DE CONTROL	24
3.2. DISEÑO DEL PROTOTIPO	25
3.3. CONSIDERACIONES DE DISEÑO.....	26
3.3.1. EL CHASIS.....	30
3.3.2. EL SISTEMA DE COMUNICACIONES.....	30
3.3.3. EL SISTEMA DE MEDIDA Y CONTROL DE TEMPERATURA.....	32

3.3.3.1. Diagrama circuital del prototipo desarrollado.....	34
3.3.3.2. Implementación del Algoritmo de control del ESP32	40
3.3.3.3. Implementación del algoritmo de Comunicación TCP/IP	42
3.3.3.4. Implementación del algoritmo de control de Temperatura	42
3.3.3.5. Empaquetado de datos	44
3.3.4. EL SOFTWARE DE CONFIGURACIONES REMOTAS Y VISUALIZACIÓN DE VARIABLES.....	45
3.3.4.1. Selección de Direcciones TCP/IP.....	47
3.3.4.2. Carga de la temperatura de referencia	50
3.3.4.3. Lectura de variables del módulo de preservación de objetos	51
3.3.4.4. Finalización de comunicación TCP/IP	52
CAPITULO 4: PRUEBAS Y VALIDACION DEL PROTOTIPO.....	53
4.1. FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO EN LABORATORIO	53
4.2. FUNCIONAMIENTO DE PROTOTIPO EN MUSEO INKA.....	57
CAPITULO 5: ANALISIS DE COSTO	67
5.1. RECURSOS HUMANOS.....	67
5.2. RECURSOS MATERIALES	67
5.3. COSTOS DE IMPLEMENTACION.....	69
5.4. ANÁLISIS DE BENEFICIOS	69
5.4.1. Beneficios tangibles.....	69
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXO.....	73
ANEXO 1: CODIGO DE PROGRAMA DEL ESP32	75
ANEXO 2: HOJAS DE DATOS DEL SISTEMA	93
ANEXO 3: COSTO DE LA IMPLEMENTACION	96

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	<i>Celda Peltier (Gomar, 2018)</i>	13
Figura 2.	<i>Maxim Integrated</i>	15
Figura 3.	<i>Comunicación one wire (Cambronero Piqueras, 2017)</i>	17
Figura 4.	<i>Diagrama de las dos líneas del bus en un nivel lógico alto cuando</i>	17
Figura 5.	<i>Microcontrolador dual Core de 32 bits ESP32 ("PROMETEC", 2021)</i>	20
Figura 6.	<i>Diagrama de bloques del EPP32 (Carrasco, 2021)</i>	21
Figura 7.	<i>Pinout del ESP32 (Carrasco, 2021)</i>	21
Figura 8.	<i>Modelo teórico del sistema de control</i>	25
Figura 9.	<i>Ejemplo de disposición de cajas de vidrio dentro de un museo</i>	26
Figura 10.	<i>Red de datos de nodos wifi basados en el protocolo TCP/IP</i>	27
Figura 11.	<i>Conexión de la red de nodos 1, nodos 2 y el cliente TCP/IP</i>	29
Figura 12.	<i>Caja de vidrio para el almacenamiento de restos culturales</i>	30
Figura 13.	<i>Configuración de las direcciones IP de los nodos de red a implementar</i>	31
Figura 14.	<i>Diagrama de bloques de un Nodo de red basado en el ESP32</i>	32
Figura 15.	<i>Diagrama circuital de un nodo basado en el ESP32</i>	34
Figura 16.	<i>Detalle de los conectores para los sensores de Humedad, Temperatura y Luz</i>	35
Figura 17.	<i>Conexión del ESP32 a las resistencias de Potencia</i>	36
Figura 18.	<i>Diagrama circuital para el control de la celda Peltier</i>	38
Figura 19.	<i>Diagrama circuital para el control de los actuadores de inyección y extracción de aire</i>	39
Figura 20.	<i>Eventos del CPU 0 CPU1 del ESP32</i>	40
Figura 21.	<i>Diagrama de flujo del CPU 0 del ESP3</i>	41
Figura 22.	<i>Diagrama de flujo del control de la comunicación TCP/IP del CPU 1 del ESP32</i>	42
Figura 23.	<i>Diagrama de flujo del Algoritmo de control de temperatura</i>	43
Figura 24.	<i>Diagrama de bloques del Algoritmo del Cliente TCP/IP</i>	45
Figura 25.	<i>Diagrama de bloques del software LabVIEW con el código de programa general</i>	46
Figura 26.	<i>Estructura switch seleccionando la dirección IP: 192.168.1.12</i>	48
Figura 27.	<i>Estructura switch seleccionando la dirección IP: 192.168.1.14</i>	¡Error!
Marcador no definido.		

<i>Figura 28. Envío de comando de cambio de referencia de temperatura.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 29. Envío de comando de cambio de referencia de temperatura.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 30. Decodificación de variables y visualización</i>	<i>51</i>
<i>Figura 31. Finalización de comunicación y limpieza de errores TCP/I</i>	<i>52</i>
<i>Figura 32. Implementación del circuito</i>	<i>54</i>
<i>Figura 33. Prueba de Control de temperatura y monitoreo de humedad relativa.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 34. Biblioteca del museo Inka.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 35. Estado de algunos libros afectados por la humedad.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 36. Estado de algunos libros afectados por la humedad.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 37. Prueba de control de temperatura y monitoreo humedad relativa en la biblioteca del museo Inka con setpoint 17°C.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 38. Prueba de control de temperatura y monitoreo de humedad relativa en la biblioteca del museo Inka con setpoint 16°C.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 39. Prueba de control de temperatura y monitoreo de humedad relativa en la biblioteca del museo Inka con setpoint 16.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 40. Validación del funcionamiento del sistema para la conservación de huesos</i>	<i>63</i>
<i>Figura 41. Prueba Validación del funcionamiento del sistema para la conservación de huesos en diferentes setpoint.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 42. Prueba del control de temperatura y monitoreo de humedad relativa de la sala de huesos del museo Inka con setpoint de 18°C</i>	<i>64</i>

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estándares recomendados para niveles de humedad relativa y temperatura que tiene en cuenta los diferentes materiales de museo. (Garcia Fernandez, 2013).....	2
Tabla 2. Comparación de microcontroladores	22
Tabla 3. Comparación de sensores de humedad	23
Tabla 4. Comparación de sensores de temperatura	24
Tabla 5. Empaquetado de Datos TCP/IP	44
Tabla 6. Pruebas realizadas en laboratorio	55
Tabla 7. Pruebas realizadas en museo Inka.....	65
Tabla 8. Valores asumidos	67
Tabla 9. Relación de insumos y componentes electrónicos.....	68
Tabla 10. Costo de montaje	69
Tabla 11. Especificaciones del ESP32	93
Tabla 12. Especificaciones técnicas del sensor de temperatura DS18B20.....	94
Tabla 13. Especificaciones técnicas del sensor de temperatura y humedad DHT22	95
Tabla 14. Relación de insumos y componentes electrónicos.....	96

RESUMEN

Este proyecto de tesis se enfoca en implementar un sistema de monitoreo y supervisión electrónica de temperatura y humedad relativa para la conservación de bienes culturales que se albergan en el museo Inka. La presente tesis está desarrollada en cinco capítulos.

El capítulo 1, describe la realidad problemática, la justificación y los límites del proyecto, la carencia de un sistema que monitorea y regula la temperatura y humedad relativa para un óptimo ambiente que albergue los bienes culturales del Museo Inka.

En el capítulo 2, se presenta el marco conceptual dando a conocer los conceptos fundamentales de conservación preventiva, los valores y parámetros de rangos de conservación, los bienes culturales que son albergados en el museo Inka, las características de las variables a controlar y finalmente se detalla conceptos previos de los sensores, actuadores, microcontroladores, programación y software para la implementación del proyecto.

En el capítulo 3, se describe los elementos del sistema que se utilizaron para la implementación de los dos módulos, uno de ellos contiene la celda Peltier para alcanzar temperaturas más pequeñas, los demás elementos son iguales como el microprocesador ESP32, se realiza la programación y configuración de sus puertos, el transductor de temperatura y humedad relativa DHT22, mide la temperatura exterior y la humedad del interior del módulo. El sensor de temperatura DS18B20, para medir la temperatura del interior del módulo. El sensor de luz BH1750, las resistencias de calor y el inyector/extractor de aire. Se presentan los diagramas circuitales, el sistema de comunicación y el software de configuración para la visualización de las variables.

En el capítulo 4, se realizó las pruebas y validación del prototipo comprobando el funcionamiento del sistema de implementación respaldado por las pruebas realizadas en laboratorio y en el museo Inka con diferentes setpoint de temperatura, que afectara la humedad relativa, logrando la implementación del prototipo electrónico de manera eficaz y compacta, con una confiabilidad del 97%.

En el capítulo 5, se presenta el análisis de costo en el cual se evalúa los recursos humanos y materiales, el costo de implementación y sus beneficios. Al final del capítulo presento las conclusiones, recomendaciones y bibliografía.

ABSTRACT

This thesis project focuses on implementing an electronic monitoring and supervision system of temperature and relative humidity for the conservation of cultural assets that are housed in the Inka museum. This thesis is developed into five chapters.

Chapter 1, the problematic reality, the justification and the limits of the project are described, the lack of a system that monitors and regulates the temperature and relative humidity for an optimal environment that houses the cultural assets of the Inka Museum.

Chapter 2, the conceptual framework is presented, revealing the fundamental concepts of preventive conservation, the values and parameters of conservation ranges, the cultural assets that are housed in the Inka museum, the characteristics of the variables to be controlled, and finally details of previous concepts of sensors, actuators, and microcontrollers, programming and software for the implementation of the project.

In chapter 3, the elements of the system that were used for the implementation of the two modules are described, one of them contains the Peltier cell to reach lower temperatures, the other elements are the same as the ESP32 microprocessor, the programming is carried out and configuration of its ports, the DHT20 temperature and relative humidity sensor, which measures the outside temperature and humidity inside the module, and DS18B20, the temperature sensor for the inside of the module, the BH1750 light sensor, the heat resistors, and the air injector/extractor. The circuit diagrams, the communication system, and the configuration software for the visualization of the variables are presented.

Chapter 4, the tests and validation of the prototype were carried out, verifying the operation of the implementation system supported by the tests carried out in the laboratory and in the Inka museum with different temperature setpoints, which affected the relative humidity, achieving the implementation of the electronic prototype in an efficient and compact way, with a reliability of 97 % .

In chapter 5, the cost analysis is presented in which the human and material resources, the cost of implementation, and its benefits are evaluated and at the end of the chapter the conclusions, recommendations, and bibliography are presented.

INTRODUCCION

Según el Comité Internacional de Museos (*International Council of Museums ICOM*), “Los museos son espacios democratizadores, inclusivos y polifónicos para el diálogo crítico sobre los pasados y los futuros. Reconociendo y abordando los conflictos y desafíos del presente, custodian artefactos y especímenes para la sociedad, salvaguardan memorias diversas para las generaciones futuras, y garantizan la igualdad de derechos y la igualdad de acceso al patrimonio para todos los pueblos. Los museos no tienen ánimo de lucro. Son participativos y transparentes, y trabajan en colaboración activa con y para diversas comunidades a fin de coleccionar, preservar, investigar, interpretar, exponer, y ampliar las comprensiones del mundo, con el propósito de contribuir a la dignidad humana y a la justicia social, a la igualdad mundial y al bienestar planetario. (Consejo Internacional de Museos ICOM, 2019)

Las colecciones albergadas en los museos se deterioran por diferentes motivos como las malas condiciones ambientales, inadecuada intervención humana y degeneración natural, por ende, los museos han estado en una lucha constante para brindar a dichos objetos un contexto óptimo para su conservación preventiva. Para contar con ambientes de condiciones estables como parte de la conservación preventiva, se usan termómetros, psicrómetros e higrómetros siendo el objetivo medir la temperatura y humedad relativa, ya que las fluctuaciones bruscas pueden acelerar el desgaste en las piezas culturales; sin embargo, estas formas tradicionales poseen problemas como su gran tamaño, el esfuerzo humano y la insuficiencia de proporcionar mediciones continuas. Por este motivo en esta tesis se presenta un “Monitoreo y supervisión electrónica de temperatura y humedad relativa para la conservación preventiva de los bienes culturales del museo inka-cusco” siendo fundamental medir y controlar constantemente estos parámetros que influyen en la conservación preventiva de nuestro patrimonio cultural.

CAPITULO 1: GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS

García (2013) se enfoca en la conservación preventiva, cuya sistematización evalúa, detecta y controla los riesgos de deterioro logrando minimizar o evitar que se produzca el deterioro por ende para cumplir con la función de la conservación preventiva, se centra, en las variables de temperatura y humedad relativa se tiene la siguiente tabla con rangos recomendados por los Estándares en el Cuidado de Colecciones de la Comisión de Museos y Galerías (MGC).

Tabla 1.

Estándares recomendados para niveles de humedad relativa y temperatura que tiene en cuenta los diferentes materiales de museo. (Garcia Fernandez, La Conservacion Preventiva de Bienes Culturales, 2013)

Material	Temperatura	Humedad relativa
Papel, grabado, acuarelas, dibujos, manuscritos	16 -19 °C (2)	45-60% (3)
Fotografías- blanco y negro	11-13 °C (2)	30-40% (3)
Fotografías-color	11-13 °C (2)	30-50% (3)
Textiles	18 °C (4)	50-60% (5)
Piel sin teñir, cuerno, huesos, marfil, madera	18 °C (4)	50-60% (5)
Metales férricos	10-25 °C (4)	Menos del 15 %
Metales no férricos	10-25 °C (4)	Menos del 35%
Vidrio	18 °C (4)	42% (5)
Cerámicas y piedras	16 -22 °C (4)	45-55% (5)

Nota:

- (1) Este criterio cumple con los requisitos para las personas y los objetos.
- (2) Las fluctuaciones no deben superar 1 °C del nivel fijado dentro del rango.
- (3) Las fluctuaciones no deben superar 5% del nivel fijado dentro del rango.
- (4) Las fluctuaciones no deben superar 2 °C del nivel fijado dentro del rango.

(5) Las fluctuaciones no deben superar 2% del nivel fijado dentro del rango

La investigación de **“REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES APLICADAS AL MONITOREO AMBIENTAL DE MUSEOS”** desarrollado por LINA M. PESTANA LEÃO DE BRITO, LAURA M. RODRÍGUEZ PERALTA, FILIPE E. SOUSA SANTOS, ROBERTO P. RAMOS FERNANDES, se basa en monitorear el ambiente del museo para conservar adecuadamente las obras de arte, es fundamental medir continuamente algunos parámetros, como la temperatura, la humedad relativa, la luz y los contaminantes, ya sea en las salas de almacenamiento o exposición. El despliegue de una red de sensores inalámbricos en un museo puede ayudar a implementar estas mediciones en tiempo real, de forma continua y de una manera mucho más fácil y económica. Presentan un banco de pruebas práctico desplegado en un museo llamado Fortaleza Sao Tiago, ubicado en la isla de Madeira, Portugal.

El paper **”A WSN-BASED ARCHITECTURE FOR THE E MUSEUM – THE EXPERIENCE AT SALA DEI 500 IN PALAZZO VECCHIO (FLORENCE)”**

En este trabajo, la validación experimental de una plataforma inalámbrica de sensores para el monitoreo de áreas de museos presentado. La tecnología de red del sensor inalámbrico se adopta como una columna vertebral de hardware que permite servicios tanto para museólogos, curadores y visitantes. El sistema propuesto, llamado E-Museum, va hacia la implementación de una manera más manejable, museo accesible e interactivo, a través de lo omnipresente detección de cantidades heterogéneas procesadas en tiempo real y disponible de forma remota. Un primer prototipo de E-Museum ha sido desplegado en "Sala dei 500", la cámara más grande del Palazzo Vecchio en Florencia, Italia. Las respuestas preliminares muestran la posibilidad de la solución adoptada en el manejo del monitoreo de los parámetros del entorno cerca de las obras de arte, y establecer el fundamento para la implementación de características adicionales de esta arquitectura orientada a servicios (MENDUNI, 2013).

1.2. DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

1.2.1. LOCALIZACION Y AMBITO GEOGRAFICO

El monitoreo y supervisión electrónica de temperatura y humedad relativa aplicada a la conservación preventiva de los bienes culturales del museo Inka, se realiza en dicho museo el cual está ubicado en Cuesta del Almirante N.º 103, centro histórico Cusco-Perú.

1.2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El hombre al paso del tiempo fue desarrollando su capacidad para afrontar y dar soluciones evolutivas y revolucionarias a sus necesidades constantes, como el avance tecnológico en el diseño e implementación de un sistema automatizado de un museo para la conservación y prevención de las colecciones que contemplan estas instituciones debido a que durante años se ha buscado soluciones consecuentes que estabilicen los parámetros que perjudican la conservación y mantenimiento de estas colecciones patrimoniales, debido a que el museo Inka está desprovisto de un método para regular la temperatura y humedad relativa en esta tesis se presenta el diseño de un sistema de monitoreo y supervisión eficaz que brinde las condiciones óptimas de temperatura y humedad relativa.

Cusco es patrimonio cultural de la humanidad, siendo un conglomerado de la ciudad inca, ciudad colonial y coexiste con la ciudad moderna con sus cambios e innovaciones tecnológicas por ende Cusco viene a ser una ciudad muy atractiva para el turismo, algunas de las entidades que se dedican a custodiar y conservar el patrimonio cultural son los museos por esta razón se hace el monitoreo y supervisión electrónica para la temperatura y humedad relativa aplicada a la conservación preventiva del Museo Inka.

1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA

El museo Inka, para la conservación de las colecciones que guarda, cuenta con dispositivos manuales muchos de ellos ya se encuentran fuera de uso o cuentan con equipos de medición de temperatura y humedad que no están calibrados, obteniendo una medición errónea, haciendo que el personal encargado realice mucho esfuerzo para un adecuado mantenimiento y conservación de las piezas invaluable.

El Museo Inka carece de un sistema de monitoreo y supervisión electrónica de temperatura y humedad relativa para la preservación y conservación de sus colecciones.

1.4. JUSTIFICACION

Este trabajo se justifica a nivel social, este permitirá monitorear y supervisar de manera continua la temperatura y humedad relativa para la conservación preventiva del Museo Inka, mejorando la protección de las colecciones que poseen historia, cultura, valor monetario y logrando resguardarlas para generaciones futuras.

Este monitoreo y supervisión electrónica para la temperatura y humedad relativa se puede tener de referencia para los museos que deseen tener la misma o mejor implementación.

1.5.LIMITACIONES

Se cuenta con el prototipo del sistema de control ON/OFF, debido a que la temperatura será la variable a controlar, la cual cambia lentamente y no de manera abrupta, esta a su vez tiene una relación inversamente proporcional con la humedad relativa. La temperatura y la humedad relativa están inter-relacionadas y no son independientes pues al controlar una de las variables se afecta a la otra. En este caso la temperatura afecta a la humedad.

Cuando la temperatura de referencia sea actualizada, el microcontrolador lo almacenara sobre la variable de temperatura, pero si es una solicitud de datos, entonces, se carga los datos de la variable almacenada y transferirá dichos datos al cliente mediante la conexión wifi utilizando el protocolo TCP/IP, estos datos recibidos por el cliente serán almacenados, decodificados y visualizados en el software LabVIEW, de esta manera será monitoreado la información del sistema.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar el sistema de monitoreo y supervisión electrónica de temperatura y humedad relativa cuyos valores deben establecerse en los rangos especificados para la conservación preventiva de las colecciones patrimoniales del Museo Inka.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar un prototipo del sistema electrónico con la lógica de control ON/OFF en lazo cerrado automatizado de temperatura y humedad relativa aplicada a la conservación preventiva del Museo Inka.
- Implementar el prototipo electrónico diseñado anteriormente.
- Diseñar la circuitería de sensores y actuadores.
- Diseñar la interfaz gráfica de usuario.
- Evaluar y validar el prototipo electrónico.

1.7. VARIABLES E INDICADORES

- Variable independiente: Temperatura ambiente y humedad relativa.
- Variable dependiente: Confiabilidad del sistema de control automatizado.

1.8. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION

Según el alcance y método del proyecto de tesis, el estudio es de tipo experimental por que se evalúa la eficiencia del sistema de automatización electrónica para el control de temperatura y humedad relativa.

1.9. FUENTES DE INFORMACION E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

- Análisis de instrumentación electrónica

En una etapa inicial, se determina los componentes más apropiados para el diseño de un prototipo electrónico de automatización. Para poder evaluar las medidas de temperatura y humedad relativa se hace un análisis de sensores para la adquisición de las señales. De manera similar, de acuerdo a las señales de control que se envíen hacia los actuadores se hará un análisis de los mismos.

- Implementación a nivel de prototipo de un sistema de adquisición de
para monitoreo y análisis

Se elabora la interface gráfica para monitorear la información del sistema y realizar las pruebas de funcionamiento, implementando un prototipo del sistema de obtención de datos que nos permite visualizar y almacenar la información recolectada.

CAPITULO 2: MARCO CONCEPTUAL

2.1. BASES TEORICAS

2.1.1. LA CONSERVACION

La conservación necesita definición y explicación, no debería sorprender, puesto que, en su forma actual, tiene menos de cuarenta años de existencia. La conservación está todavía en constante evolución, lo que explica el hecho de que no haya sido aceptada plenamente por muchos museólogos. Puesto que no nos hemos explicado ante nuestros colegas, es lógico el que no siempre nos comprendan. Se trata, pues, de reparar esa omisión, describiendo el carácter y las actividades esenciales de la conservación, en teoría la obligación del museo de preservar sus colecciones es infinita; de hecho, en sus estatutos institucionales queda expresada con los siguientes términos "para preservar perpetuidad". Por consiguiente, si la conservación es la tecnología de la preservación, el deber del restaurador es asegurar la conservación de la colección por el máximo de tiempo posible. Las exigencias de la conservación del objeto a largo plazo deben tener siempre prioridad sobre las ventajas del uso a corto plazo y el deber del especialista en conservación consiste en tomar todas las medidas posibles para prevenir o reducir al mínimo el deterioro de las colecciones y evitar situaciones, ya sean activas o pasivas, que pudieran tener como consecuencia la deterioración del objeto. (Ward, enero 2010)

2.1.2. CONSERVACION PREVENTIVA

La conservación preventiva es un método que busca encontrar el equilibrio entre el uso y la conservación de un patrimonio cultural, este método evalúa, detecta y controla los riesgos de deterioro para cumplir su objetivo de minimizar o evitar que se produzca dicho deterioro.

Las colecciones del museo Inka están conformados por piezas compuestas con materiales orgánicos e inorgánicos, siendo necesario entender su comportamiento ante diferentes características ambientales, negligencia humana, almacenamiento inadecuado poniendo más interés en un control para tener condiciones óptimas atmosféricas de su entorno como de temperatura, humedad, iluminación, contaminación y otros, para poder así prevenir y mitigar acciones desfavorables, los procesos de envejecimiento no pueden impedirse pero si se pueden retrasarse, por lo tanto, se explicará a mayor detalle los objetos de materiales orgánicos e inorgánicos.

- Objetos de materiales orgánicos: Están conformados por materiales de naturaleza natural como los de procedencia del reino animal y vegetal como huesos, marfil, textil, papel, algodón y etcétera.
- Objetos de materiales inorgánicos: Estos provienen del reino mineral, no tienen vida como son rocas, metales, arcillas, vidrios y etcétera.

2.1.3. FACTORES QUE AMENAZAN LAS COLECCIONES

- Factores intrínsecos

Resaltaremos que cada pieza de las colecciones de los museos no se hicieron o elaboraron pensando que en un futuro podrían ser usados o mucho menos que estarían en exposición dando a conocer reseñas históricas si no, se elaboraron para un uso cotidiano entonces teniendo en mente ello sabemos que están hechos con materiales orgánicos y materiales inorgánicos, por tanto, tiene una vida perecedera y su deterioro depende de ello y de la calidad o técnicas usadas en su elaboración de cada pieza de la colección.

- Factores extrínsecos

Las causas principales de deterioro tienen, sin embargo, su origen en factores extrínsecos a la naturaleza de los objetos que integran los fondos. Una temperatura y humedad relativa inadecuada, la manipulación negligente de los objetos, acciones humanas perniciosas (vandalismo, robo, incidentes provocados por fallos técnicos o humanos, incendios o catástrofes), pueden ocasionar no solo la reactivación de los procesos de deterioro, si no también alterar seriamente la estructura de los objetos e, incluso, destruirlos. (García Morales , 2017)

2.1.4. MUSEO INKA

El Museo Inka propaga nuestra historia, conservando, investigando, exhibiendo y educando con la finalidad de mejorar la identidad cultural de la sociedad; fue al inicio del siglo XVII edificada con piedras incas siendo el responsable el teniente corregidor más conocido como el almirante Francisco Aldrete Maldonado quien lo habito hasta el día de su muerte en 1643.

Fue reconstruida después del terremoto de 1650 por Pedro Peralta de los Ríos, siendo restaurada por último por la Universidad Nacional San Antonio Abad la cual hasta la fecha se

manifiesta constantemente en su cuidado y mantenimiento del museo. En el museo Inka, se encuentra seis salas temáticas ordenadas cronológicamente:

- Pre-Inca (7000 a.C. hasta el 800 d.C.), presenta cerámicas de diferentes etnias, objetos ceremoniales, esculturas y textiles.
- Medio Ambiente, en esta sala se expone cuáles eran sus cultivos, sus animales de pastoreo y las características ambientales de cada región del imperio Inca.
- Historia Inca, se explica los orígenes históricos y míticos de los incas, la continuidad e invasión estos hechos se exhiben mediante muebles, objetos e imágenes que acompañan la historia inca.
- Técnicas de subsistencia, muestran los cultivos y ganadería de la época inca y las técnicas en la agricultura.
- Actividades, la cerámica inca, tanto doméstica como ceremonial; su arquitectura típica, incluyendo las herramientas que usaban para sus imponentes construcciones; el arte inca, representado por joyas, ornamentos, trajes, armas y elementos ceremoniales; y la medicina inca, muy avanzada para la época, ya que hasta practicaban cirugías.
- Mallki Wasi, dedicada al culto a los antepasados, las ceremonias funerarias, los sitios ceremoniales y la cosmovisión andina.

2.1.5. CARACTERISTICA DE LA VARIABLE A CONTROLAR

Se define la humedad relativa como la cantidad de vapor de agua que se puede encontrar en el ambiente, la humedad absoluta actual entre la densidad de vapor de saturación ambos relacionados nos brindan la humedad relativa.

Tanto la temperatura como la humedad posee una relación inversa, esto quiere decir, que, a elevadas temperaturas, se contiene mayor cantidad de vapor de agua en consecuencia disminuye la humedad relativa.

La humedad relativa puede ser medida con instrumentos como el higrómetro o el termómetro higrómetro, este instrumento puede medir la temperatura y la humedad, pero también puede ser medida por sensores.

Los cambios durante el día de la humedad relativa afectan directamente a las distintas colecciones del museo cuyos elementos están compuestas de diferentes materiales como, los metales los cuales usualmente se oxidan, es decir, pierden electrones desde el ánodo hasta el cátodo, llegando a oxidarse, sabemos que en este proceso tiene que ver mucho el ambiente húmedo favorable para que fácilmente se combine las moléculas de agua y oxígeno.

El papel o fibras vegetales están conformadas por polímeros, las cuales pueden ser afectadas por reacciones de hidrólisis transformando y desintegrando sus enlaces, también se presenta el caso de que cuando el metal está unido con papel o fibra aparece una especie de manchas debido a las reacciones de oxidación catalizadas por los metales.

La piedra o cerámica compuesta de diversas mezclas de sales, las cuales a una humedad relativa alta se llega a disolverse, si la humedad relativa disminuye las sales se cristalizan estos constantes cambios provocan un proceso el cual comienza con agrietamientos generalizados continua con desprendimiento de sus capas superficiales y finalmente su fragmentación.

Los materiales orgánicos son constantemente amenazados por bacterias, hongos, mohos e insectos, proliferándose, alimentándose y desarrollando sus actividades en dichos materiales.

Nos enfocaremos no solo en conservar dentro y estable de los valores propuestos para cada material la humedad relativa, si no también será la temperatura.

El grado de calor que un cuerpo posee es medido por la temperatura, la cual es una magnitud que mide el nivel térmico. Actualmente, se utiliza la escala de temperatura; grado Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

La temperatura fluctúa continuamente durante el día y todos los días, estos cambios pueden ser bruscos los cuales perjudican a los diversos materiales que componen los distintos elementos de dichas colecciones.

Si podemos controlar la temperatura podremos controlar la humedad debido a que estas variables son inversamente proporcionales.

2.1.6. ALGORITMOS DE CONTROL

- Control Clásico

El control clásico está fundamentado en modelos matemáticos, los cuales nos dan referencia para el proceder matemático, existe diversos tipos de control clásico entre ellos de resaltar el control ON/OFF. El algoritmo de control ON/OFF, calcula la desviación entre el valor promedio de los datos obtenidos con los sensores y el valor deseado, se obtendrá una respuesta y esta señal de control se enviará a los actuadores correspondientes encendiéndolos o apagándolos.

- Control Inteligente

Estos sistemas se han venido desarrollando imitando el razonamiento humano entre

estos tenemos el control difuso, red neural artificial entre otros.

2.1.7. MICROCONTROLADOR

El microcontrolador es un circuito programable que solo la programación y configuración realizará la tarea asignada, hay una gran diversidad de microcontroladores en el mercado con diferentes e interesantes características como por ejemplo los de 8, 16 o 32 bits, de los cuales se puede elegir de acuerdo a las exigencias que demande el proyecto a realizar.

Es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de un computador. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna. Esta última característica es la que le confiere la denominación de «controlador incrustado» (embedded controller). El microcontrolador es un computador dedicado. En su memoria sólo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada/salida soportan la conexión de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar, y todos los recursos complementarios disponibles tienen como única finalidad atender sus requerimientos. Una vez programado y configurado, el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignada. (Angulo Usategui & Angulo Martinez, 2003)

2.1.8. EL IDE ARDUINO

Para empezar a programar la placa Arduino es necesario descargar un IDE (Integrated Development Environment)

El IDE es un conjunto de herramientas de software que permiten a los programadores desarrollar y grabar todo el código necesario para hacer que nuestro Arduino funcione como queramos. El IDE de Arduino nos permite escribir, depurar, editar y grabar nuestro programa (llamados “sketches” en el mundo Arduino) de una manera sumamente sencilla, en gran parte a esto se debe el éxito de Arduino, a su accesibilidad.

2.1.9. EL PROGRAMADOR

El programador realiza un conjunto de competencias dentro del desarrollo de software. Se articula en torno a núcleos curriculares a partir de las demandas socio-productivas del sector y la realidad del medio industrial y de servicios. El Programador está capacitado, de acuerdo a las actividades que se detallan en el Perfil Profesional, para escribir, testear, depurar

y mantener el código de programación de los programas en el marco de un equipo de trabajo o en forma individual bajo supervisión. Los programadores escriben los programas de acuerdo a las especificaciones formales dadas por los analistas de sistemas. Ellos transforman el diseño en instrucciones concretas que pueden ejecutarse en la computadora. También tienen como tarea testear el programa en busca de bugs (errores de programación) dentro del proceso de prueba y depuración de errores. El software necesita ser actualizado, reparado, modificado y ampliado, es decir mantenido, siendo esta tarea realizada en parte por los programadores. Este profesional requiere supervisión en todas las actividades que desarrolla. Siempre reporta a superiores y se remite a ellos para solicitar instrucciones sobre su desempeño. (Instituto Nacional de Educación Tecnológica (inet), 2016, pág. 2)

2.1.10. ACTUADOR

Son dispositivos que están sometidos al controlador, tomando acciones necesarias para regular directamente o indirectamente las variables del proceso. Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.” (Nuñez Lozano & Paez Castros, IEEE Transactions on Magnetics, 2018)

2.1.10.1. Sistemas de actuación

- La ventilación se da cuando hay un cambio de aire interior con el exterior, puede ser natural o forzada. Si es natural se debe tener en cuenta la altura de sus ventanas y la ubicación, así como del ambiente en sí. Siendo forzada se empleará extractores la cual realizará el intercambio de aire del interior con aire del exterior.
- La calefacción, al prender la calefacción aumenta la temperatura y se reduce la humedad del aire y se hace el intercambio de aire con el ventilador.
- El humidificador este dispositivo consta con un recipiente que se llena de agua y pasando por un proceso libera vapor regulando así la cantidad de humedad de un ambiente.
- El micro aspersor es un sistema que convierte un flujo líquido presurizado para convertirlo en rocío, aumentando la cantidad de partículas de agua en el aire.
- La celda Peltier es una bomba de calor activa de estado sólido que transfiere calor de un lado del dispositivo al otro, con consumo de energía eléctrica, dependiendo de la dirección de la corriente. Dicho instrumento se puede usarse para calefacción

o para refrigeración, aunque en la práctica la aplicación principal es la refrigeración. También se puede usar como un controlador de temperatura que calienta o enfría. El enfriamiento termoeléctrico utiliza el efecto Peltier para crear un flujo de calor entre la unión de dos tipos diferentes de materiales. Esta tecnología se aplica mucho menos a la refrigeración, que la refrigeración por compresión de vapor. Las principales ventajas de una célula Peltier en comparación con un refrigerador por compresión de vapor, son su falta de piezas móviles o líquido circulante, una vida útil muy larga, invulnerabilidad a las fugas, un tamaño pequeño y una forma flexible. Sus principales desventajas son el alto costo y la pobre eficiencia energética. Muchos investigadores y empresas están tratando de desarrollar refrigeradores Peltier que sean baratos y eficientes.

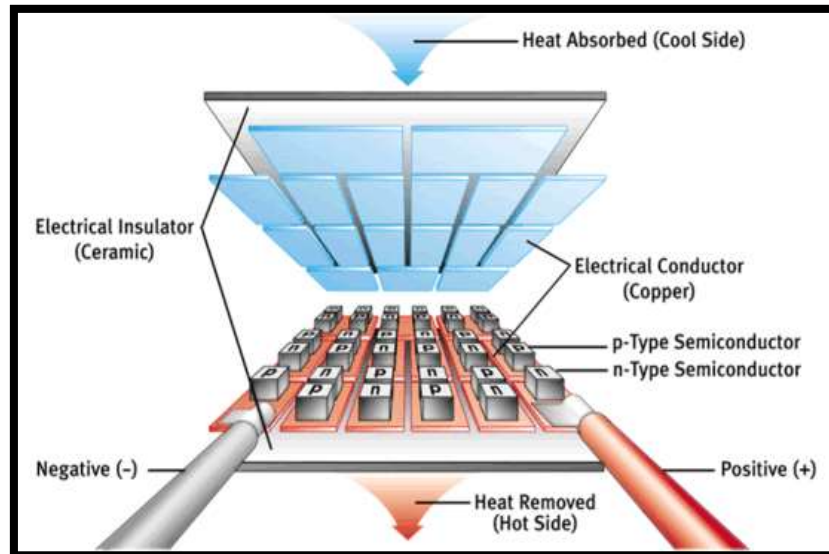


Figura 1. Celda Peltier (Gomar, 2018).

- Para su fabricación se utilizan dos semiconductores únicos, uno de tipo n y uno de p, porque necesitan tener densidades de electrones diferentes. Los semiconductores se colocan térmicamente en paralelo entre sí y eléctricamente en serie, y luego se unen con una placa conductora térmica en cada lado. Cuando se aplica un voltaje a los extremos libres de los dos semiconductores, hay un flujo de corriente continua a través de la unión de los semiconductores que causa una diferencia de temperatura. El lado con la placa de refrigeración absorbe el calor que luego se mueve al otro lado del dispositivo donde se encuentra el dissipador de calor.

Los enfriadores termoeléctricos, suelen estar conectados uno al lado del otro entre dos placas de cerámica. La capacidad de enfriamiento de la unidad total es proporcional al número de refrigeración termoeléctrica (TEC) en ella. Un TEC de una sola etapa producirá típicamente una diferencia de temperatura máxima de 70 ° C entre sus lados caliente y frío. Cuanto más calor se mueve con un TEC, menos eficiente se vuelve, ya que necesita disipar tanto el calor que se mueve como el calor que genera a partir de su propio consumo de energía. La cantidad de calor que se puede absorber es proporcional a la corriente y al tiempo. (Gomar, 2018)

2.1.11. SENSORES

Los sensores son dispositivos que transforman variables de instrumentación (magnitudes físicas o químicas) en magnitudes eléctricas pueden ser, por ejemplo: intensidad lumínica, temperatura, distancia, aceleración, inclinación, presión, desplazamiento, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc.

2.1.11.1. Sensor de humedad

Tipos de sensores

- Sensores por desplazamiento, este dispositivo hace uso de ciertos materiales los cuales se expanden o contraen de acuerdo a los cambios de humedad relativa a la cual están graduadas proporcionalmente.
- Sensores electrolíticos (ALARCÓN MELLADO, 2009) “Este sensor aprovecha la particularidad del agua para descomponerse en electrolisis, lo cual produce corriente eléctrica. Se colocan dos filamentos cargados y entremedios una película higroscópica que absorbe el agua en el aire.”
- Sensores infrarrojos, estos dispositivos se aprovechan de la capacidad del agua de absorber radiaciones de 1400λ y 1900λ , que están en el espectro infrarrojo, así se puede hacer una comparación entre un rayo infrarrojo que llega a una foto resistencia sin nada en el camino y otra que pasa a través del aire que contiene el vapor de agua. Los sensores que utilizan este método son muy sensibles y logran precisiones desde 0,05 a 30.000 PPM, en rangos de temperatura que comprenden de $-85\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. (ALARCÓN MELLADO, 2009)
- Sensores por conductividad, contienen un hilo positivo y un hilo negativo conductores, no unidos, los cuales están alimentados por un voltaje constante, si

hay presencia de material conductor en medio de dichos hilos se generará una circulación de corriente que será proporcional a la humedad del aire.

- Sensores piezoeléctricos, se utilizan cristales, los cuales tienen una frecuencia de oscilación muy constante y al cambiar la masa de este por deposiciones cambia su frecuencia de oscilación. Con este sistema se pueden detectar hasta variaciones de ± 0.1 Hz, lo cual equivale a humedades de alrededor de 0.1 PPM. (ALARCÓN MELLADO, 2009)

2.1.11.2. Sensor de temperatura

Tipos de sensores

- Variaciones de resistencia de un conductor, este dispositivo hace uso de la dependencia de la resistencia eléctrica con la temperatura.
- Diferencia de potencial, este fenómeno se conoce como efecto Seebeck, y consiste en la conversión de una diferencia de temperatura en electricidad. Si se tienen dos materiales juntos y se produce una diferencia de temperatura en su unión, esto induce una diferencia de potencial. (ALARCÓN MELLADO, 2009)

2.1.12. RELOJ DE TIEMPO REAL

Un reloj en tiempo real (en inglés, real-time clock, RTC) es un reloj de un ordenador, incluido en un circuito integrado, que mantiene la hora actual.

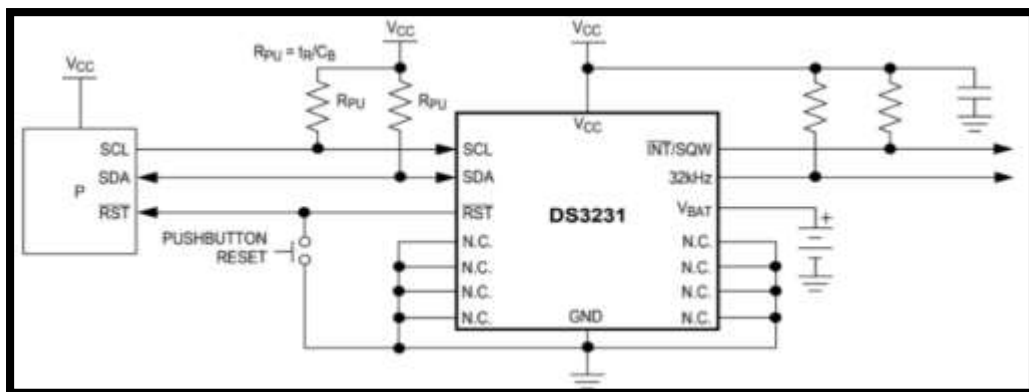


Figura 2. Maxim Integrated.

2.1.13. COMUNICACIONES WIFI

Es un sistema que permite que diferentes dispositivos electrónicos se conecten a las redes de comunicación a través de un punto de acceso de red inalámbrica (hotspot). Dicho punto de acceso tiene un alcance limitado, siendo mayor al aire libre que en interiores. La popularidad de estas redes se debe a que están asociadas a una supuesta transmisión de datos, gratuita, lo que sólo es cierto en ocasiones.

Wifi nace de la alianza de diferentes empresas interesadas por establecer un mecanismo de conexión inalámbrica, que fuese compatible entre distintos dispositivos y redes. Este mecanismo se basa en los estándares 802.11 sobre redes inalámbricas de área local y es totalmente compatible con todos los servicios de las redes locales (LAN) de cable. La denominación wifi es una marca y no una abreviatura, como a veces tiende a pensarse.

De forma simplificada, una red wifi es el nexo de unión entre una red de datos fija y una serie de dispositivos que funcionan de modo inalámbrico. Si esos dispositivos quieren conectarse con cualquier usuario, portal u ordenador que esté cerca o en el otro lado del planeta, y no quieren usar las redes de los operadores móviles tradicionales (con los correspondientes costes y tarifas), una de las opciones más utilizada es la red wifi. Esta red dispone de uno o varios puntos de acceso, que captan la señal de los dispositivos y la canalizan a la red fija, o a la inversa. Pueden agregarse más puntos de acceso para generar redes de cobertura más amplia, conectar antenas wifi más grandes que amplifiquen la señal o usar repetidores wifi inalámbricos para extender la cobertura de una red que tiene la señal más débil.

2.1.14. COMUNICACIONES ONE-WIRE

Es un protocolo de comunicaciones en serie diseñado por Dallas Semiconductor, está basado en un bus, un maestro y varios esclavos de una sola línea de datos en la que se alimentan y que se utiliza para el intercambio de datos. Por supuesto, necesita una referencia a tierra común a todos los dispositivos. (Cambronero Piqueras, 2017)

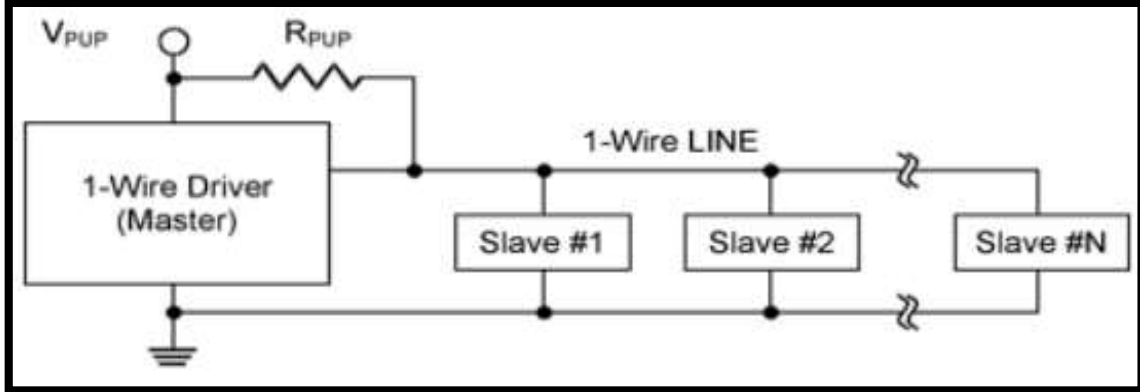


Figura 3. Comunicación one wire (Cambrero Piqueras, 2017).

2.1.15. COMUNICACIONES I2C

La abreviatura de I2C es Inter-IC (inter integrated circuits), un tipo de bus diseñado por Philips Semiconductors a principios de los 80s, que se utiliza para conectar circuitos integrados (ICs). El I2C es un bus con múltiples maestros, lo que significa que se pueden conectar varios chips al mismo bus y que todos ellos pueden actuar como maestro, sólo con iniciar la transferencia de datos. Este bus se utiliza en muchos dispositivos, en especial en equipos de vídeo como monitores de computadora, televisores y videocaseteras (Robótica, Automatización, control industrial, microcontroladores, electrónica digital, 2019)



Figura 4. Diagrama de las dos líneas del bus en un nivel lógico alto cuando.

2.1.16. EL SOFTWARE LABVIEW

Para monitorear y supervisar las variables climáticas dentro de las cápsulas que albergará un elemento de la colección del museo existen diferentes programas que brindan una interfaz al usuario nosotros usaremos:

El programa LabVIEW es una plataforma en la cual se podrá crear una interfaz de usuario para controlar el encendido o apagado de equipos, también puede mostrar la adquisición de datos mediante gráficos. MS Excel, en él se puede observar el tiempo y el comportamiento del sistema con los datos obtenidos por los sensores (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) de National Instruments es un ambiente de programación basado en programación gráfica y no en texto como lo son lenguajes de programación tradicionales como C, C++ o Java.

LabVIEW es un desarrollo de programación interactivo y un sistema de ejecución diseñado para personas como científicos o ingenieros que sin ser informáticos necesitan programar como parte de su trabajo. El ambiente de desarrollo de LabVIEW trabaja sobre computadoras Windows, Mac OS X, o Linux, además se pueden crear programas que corren en una variedad de plataformas embebidas como FPGAs (Field Programmable Gate Arrays), DSPs (Digital Signal Processors) y microprocesadores. Usando el poderoso lenguaje de programación gráfico, LabVIEW puede incrementar la productividad, programas que toman semanas o meses en ser escritos en lenguajes de programación convencionales pueden ser completados en horas usando LabVIEW, ya que este ha sido diseñado específicamente para realizar mediciones, analizar datos, y presentar resultados al usuario en interfaces gráficas fáciles de programar, es ideal para simulaciones, presentación de ideas, programación general e incluso para la enseñanza de conceptos básicos de programación. La computadora, hardware plug-in y LabVIEW es lo que se necesita para realizar un instrumento virtual completo, ofreciendo así una alternativa de mayor flexibilidad a los instrumentos estándares de laboratorio, pues al estar basado en software será cada usuario y no el fabricante del instrumento el que define la funcionalidad de este y si se necesita cambiar algo simplemente se modifica el programa.

CAPITULO 3: DISEÑO E IMPLEMENTACION

3.1. DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL

Se desarrolla e implementa el control ON/OFF también llamado todo o nada, es un sistema de control en lazo cerrado, funciona como un interruptor, debido a que nos ofrece dos estados, apagado o encendido. Un estado será usado cuando la temperatura medida del sistema se encuentra debajo de la temperatura de referencia y el otro estado cuando la temperatura medida se encuentra por encima de la temperatura de referencia. La temperatura de referencia es el valor consignado según los rangos de referencia de cada objeto de preservación mencionada en la tabla N.º1. Donde la función del microcontrolador ESP32 es la de controlar los actuadores a través de los interfaces de entrada y salida, por ello será programado; los actuadores como son las resistencias de potencia 1Ω , la celda Peltier para temperaturas más pequeñas y el extractor e inyector de aire, que aumentan o disminuyen la temperatura dependiendo de la necesidad. El sensor DS18B20 mide la temperatura para que en el proceso se realice la comparación de la temperatura de referencia con la temperatura medida, cabe mencionar que la temperatura es inversamente proporcional a la humedad relativa controlando de esa manera la humedad relativa.

En la figura 5 se observa, el sistema de control ON/OFF utilizado en el diseño y desarrollo de la tesis, el control se explicará con mayor detalle.

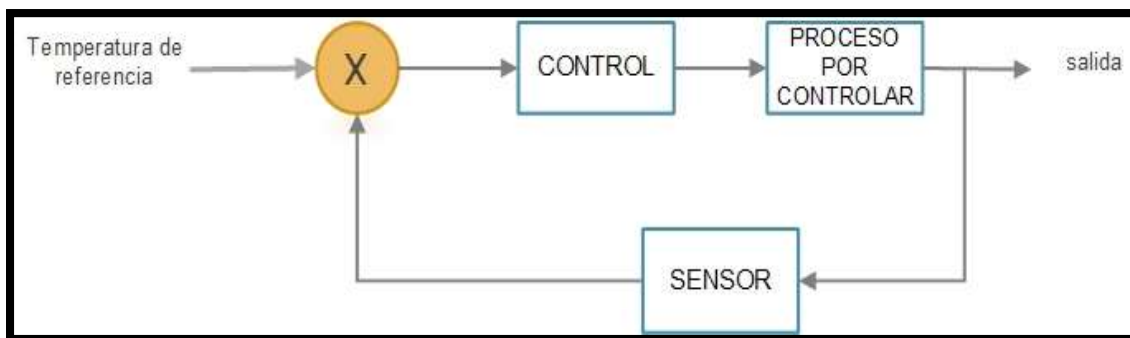


Figura 5. Sistema de control ON/OFF.

3.1.1. EL MICROCONTROLADOR ESP32

El ESP32 es un microcontrolador dual Core de 32 bits contiene wifi y bluetooth con montaje superficial SMD y 32 pines se recomienda usar para proyectos de internet de las cosas. Este chip trabaja a 3.0 V ~ 3.6 V.



Figura 6. *Microcontrolador dual Core de 32 bits ESP32 ("PROMOTEC", 2021).*

Las características más relevantes del ESP32 según (Unit Electronics, 2021) son:

- Tipo: Microcontrolador wifi y Bluetooth.
- Nombre: ESP32 WROOM 32 SMD.
- Dimensiones: 18 mm x 25.5 mm x 3.1 mm.
- Peso: 2.5 g.
- Voltaje de alimentación: 3.0 V ~ 3.6 V.
- Corriente de operación: 80 ma.
- Corriente mínima entregada por fuente de alimentación: 500 mA.
- CPU: Dual Core Tensilica LX6 (32 bits).
- Frecuencia de Reloj: 240 MHz.
- SRAM: 520 KB.
- Memoria Flash Externa: 4MB Interfaz de comunicación: UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR, pulse counter, GPIO, capacitive touch sensor, ADC, DAC y wifi.
- Protocolos: 802.11 b/g/n (802.11n hasta 150 Mbps).
- Rango de frecuencia: 2.4 GHz ~ 2.5 GHz Bluetooth.
- Protocolos: Bluetooth v4.2 BR/EDR y BLE specification.
- Radio: Receptor NZIF con sensibilidad de -97 dBm, Transmisor de clase 1, clase 2 y clase 3 y AFH (pag.01).

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL ESP32:

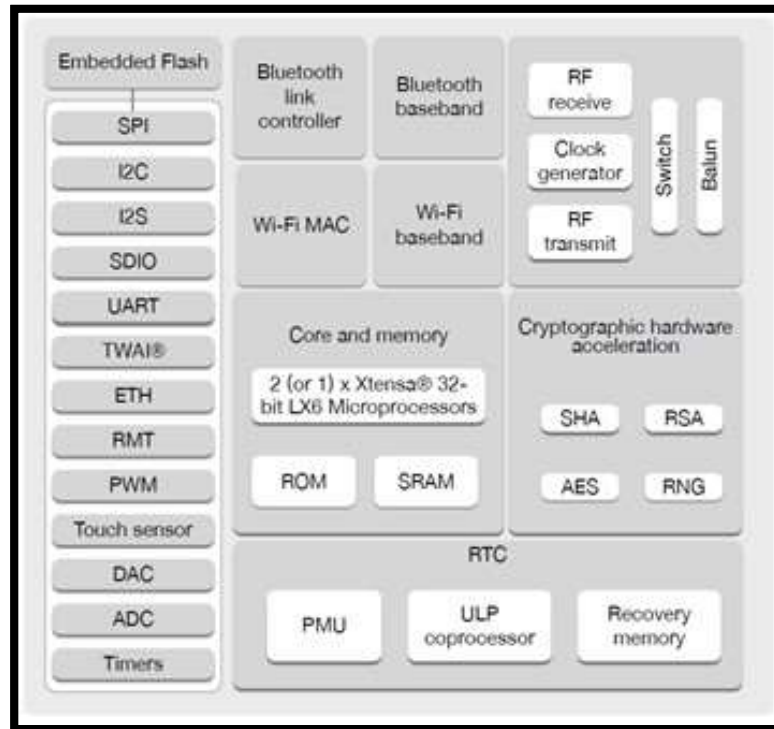


Figura 7. Diagrama de bloques del ESP32 (Carrasco, 2021).

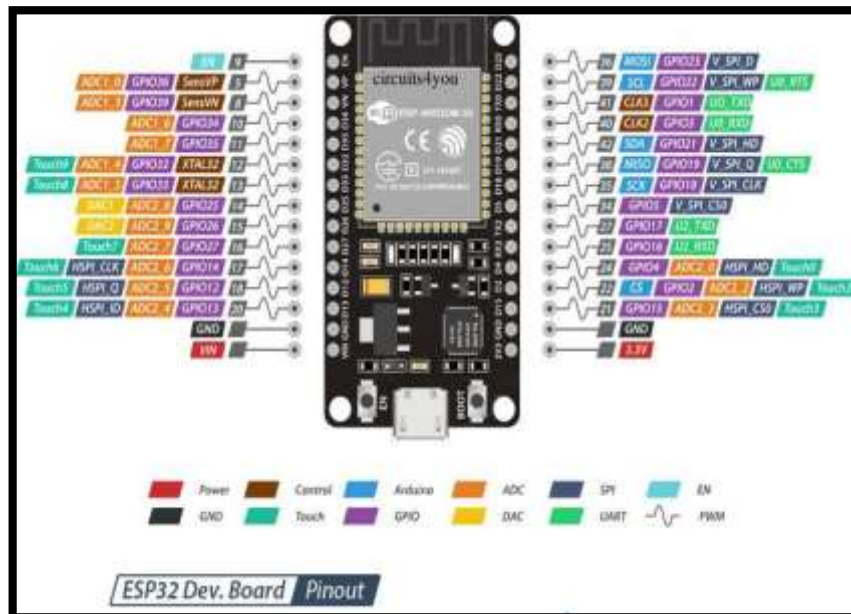


Figura 8. Distribución de terminales o patillas del ESP32 (Carrasco, 2021).

Tabla 2.

Comparación de microcontroladores

ESPECIFICACIONES	ESP8266	ESP32
MCU	Single-Core 32 bits	Dual-Core 32 bits
Wi-Fi	Si, ancho de banda 20 MHz	Si, ancho de banda 40 MHz
Bluetooth	No	Bluetooth 4.2
Frecuencia típica de operación	80 MHz	160 MHz
GPIO	17	36
SPI/I2C/I2S/UART	2/1/2/2	4/2/2/2
ADC	10-bit	12-bit
Sensor de Temperatura	No	Si
Temperatura de Trabajo	-40 °C-125 °C	-40 °C-125 °C

Haciendo las comparaciones, decidimos usar el ESP32 debido a que las características que presenta nos brinda más beneficios para la implementación de los módulos, es inalámbrico, tienen un procesador el cual contiene 2 núcleos de procesamiento que se pueden controlar independientemente también presenta interfaz integrado con el fin de conectar dispositivos periféricos; se encuentra en el mercado a un costo accesible.

3.1.2. SENSOR HUMEDAD DHT22

El sensor utilizado en la implementación del prototipo del sistema electrónico es el DHT22 (AM2302), es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de buen rendimiento y bajo costo. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Utilizado en aplicaciones de control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental en agricultura y más.

Utilizar el sensor DHT22 con las plataformas Arduino/Raspberry Pi/Nodemcu es muy sencillo tanto con respecto a software como hardware. En software se dispone de librerías para Arduino con soporte para el protocolo "Single bus". En cuanto al hardware, solo es necesario conectar el pin VCC de alimentación a 3-5 V, el pin GND a tierra (0 V) y el pin de

datos a un pin digital en nuestro Arduino. Si se desea conectar varios sensores DHT22 a un mismo Arduino, cada sensor debe tener su propio pin de datos. Quizá la única desventaja del sensor es que sólo se puede obtener nuevos datos cada 2 segundos. Cada sensor es calibrado en fábrica para obtener unos coeficientes de calibración grabados en su memoria OTP, asegurando alta estabilidad y fiabilidad a lo largo del tiempo. El protocolo de comunicación entre el sensor y el microcontrolador emplea un único hilo o cable, la distancia máxima recomendable de longitud de cable es de 20 m, de preferencia utilizar cable apantallado. Proteger el sensor de la luz directa del sol (radiación UV). El DHT22 presenta mejores prestaciones respecto al sensor DHT11, como mejor resolución, mayor precisión y un empaque más robusto. (NAYLAMP MECHATRONICS, 2021)

Tabla 3.

Comparación de sensores de humedad

<i>SENSOR</i>	<i>HS1101</i>	<i>DHT22</i>	<i>DHT11</i>
Rango de medición de Humedad	0-100% HR	0-100% HR	20-90% HR
Rango de medición de Temperatura	NO APLICA	-40 hasta 100 °C	0 hasta 50 °C
Precisión de Temperatura	NO APLICA	±0.5°C	± 2°C
Precisión de Humedad	± 2% HR	± 2% HR	± 5% HR
Tiempo de Respuesta	5 s	2 s	10 s

3.1.3. SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20

El sensor de temperatura aplicado para los módulos es DS18B20 cuyo sensor es digital de temperatura que utiliza el protocolo 1-Wire para comunicarse, este protocolo necesita solo un pin de datos y permite conectar más de un sensor en el mismo bus. (NAYLAMP MECHATRONICS, 2021). Se eligió este sensor debido a que es más accesible de encontrar en el mercado y califica para la implementación.

Tabla 4.

Comparación de sensores de temperatura

SENSOR	RANGO	PRECISION	RESOLUCION
LM35	-55 a 150 °C	± 0.5 °C	0.5 °C
DS1821	-55 a 125 °C	±1°C	1 °C
DS18B20	-55 a 125 °C	± 0.5 °C	0.2 °C

3.1.4. SENSOR DE LUZ

El módulo BH1750 es un sensor de iluminación digital para medición de flujo luminoso (iluminancia).

Posee un convertor interno de 16-bit, por lo que entrega una salida digital en formato I2C. Su desempeño es mejor al de un Foto-Resistor (LDR), pues no es necesario realizar conversiones de voltaje para obtener datos interpretables.

El BH1750 entrega la intensidad luminosa directamente en unidades Lux (Lx). El lux es la unidad derivada del S.I. de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación. Equivale a un lumen /m². Se usa en la fotometría como medida de la luminancia, tomando en cuenta las diferentes longitudes de onda según la función de luminosidad, un modelo estándar de la sensibilidad a la luz del ojo humano. Ejemplos de iluminación (Lux):

- Noche: 0.001-0.02.
- Luz de medianoche: 0.02-0.3.
- Interior nublado: 5-50.
- Exterior nublado: 50-500.
- Soleado Interior: 100-1000.
- Bajo el sol de verano: alrededor de 10⁶.
- Recomendado para lectura de libros: 50-60.
- Emitir y mostrar video: 1400. (NAYLAMP MECHATRONICS, 2021).

3.1.5. MODELO TEORICO DEL SISTEMA DE CONTROL

En la figura 9, se muestra un modelo general de conexión estrella de un sistema inalámbrico dentro de un museo, aquí se muestra N módulos de preservación que deben estar conectados dentro de una red local, donde los nodos 1, 2 y N, representan los controladores

de temperatura y humedad de cada módulo de preservación. El cliente TCP/IP debe ser capaz de establecer conexión con cada uno de los nodos señalados en la figura 9; asimismo, de poseer una salida a la nube (Internet), un servidor web puede ser implementado para la monitorización en tiempo real del sistema propuesto, pero como no está dentro de los alcances de este trabajo, pasará a ser una mejora futura, aunque la implementación de un servidor le compete más a la ingeniería Informática.

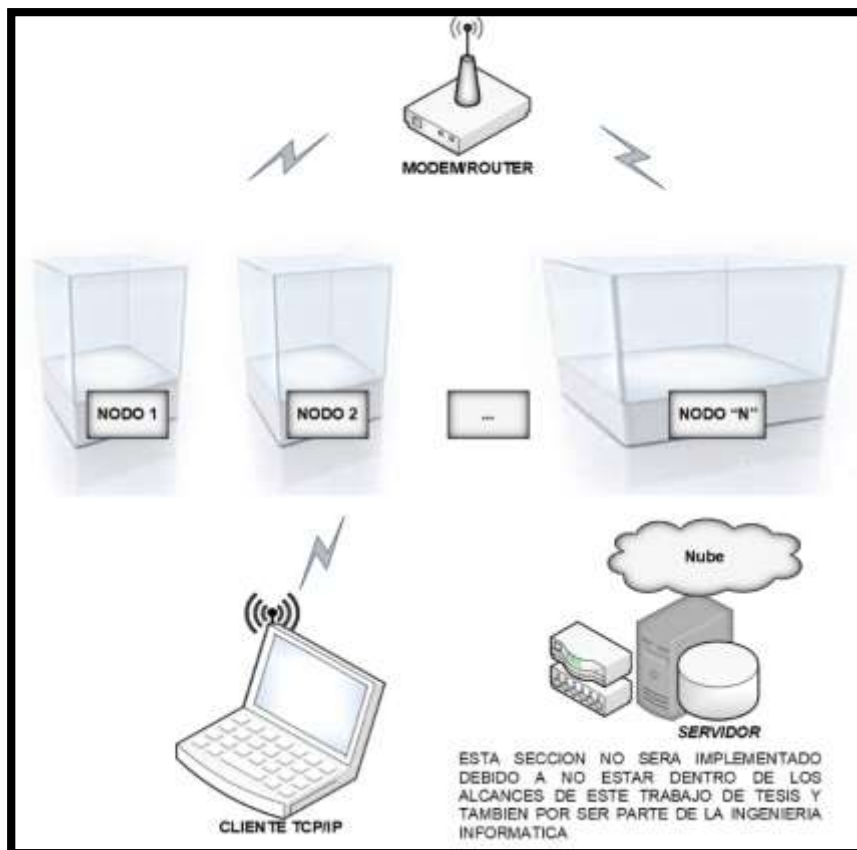


Figura 9. *Modelo teórico del sistema de control.*

3.2. DISEÑO DEL PROTOTIPO

En esta sección, se detalla todo el desarrollo del hardware y software del presente trabajo de tesis denominado: "Monitoreo y supervisión electrónica de temperatura y humedad relativa para la conservación preventiva de los bienes culturales del museo Inka - Cusco".

3.3. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Para realizar este sistema, debemos tener ciertas consideraciones y sobre todo debemos enmarcarnos dentro de un museo, generalmente un museo custodia objetos ancestrales que forman parte de nuestra historia, el mismo que es diverso, al ser una cantidad considerable de objetos y restos culturales que posee un museo, los mismos que generalmente, son preservados dentro de cajas de vidrio.



Figura 10. *Posible disposición de cajas de vidrio dentro de un museo.*

Tal como se aprecia en la figura 9 es necesario la implementación de una red inalámbrica de controladores que además de controlar la temperatura y humedad relativa de las cajas de vidrio, deberán estar interconectadas mediante una red de datos. Es por ello que el diagrama de bloques de la figura 10 refleja lo mencionado líneas arriba.

La figura 10, muestra una gráfica general con los elementos básicos de la implementación de este trabajo de tesis, se aprecia los módulos de preservación que a través de la tecnología wifi pueden conectarse hacia un cliente TCP/IP para poder visualizar la información de cualquiera de los módulos de preservación; así mismo debe notarse que para que el sistema sea íntegro, sería necesario la implementación de un servidor con su respectiva base de datos en la nube, siendo, el presente trabajo no considera dicho alcance de desarrollo, pudiendo considerarse como una mejora futura.

En este trabajo de tesis, se desarrolla dos módulos de preservación con sus respectivos nodos de red y la interconectividad hacia el software de visualización de variables que se presentará en los siguientes párrafos.

Por lo tanto, el presente prototipo, está conformado por los siguientes subsistemas:

- El Chasis.
- El sistema de comunicaciones.
- El sistema de medida de variables y control.
- El software de configuraciones remotas y visualización de variables.

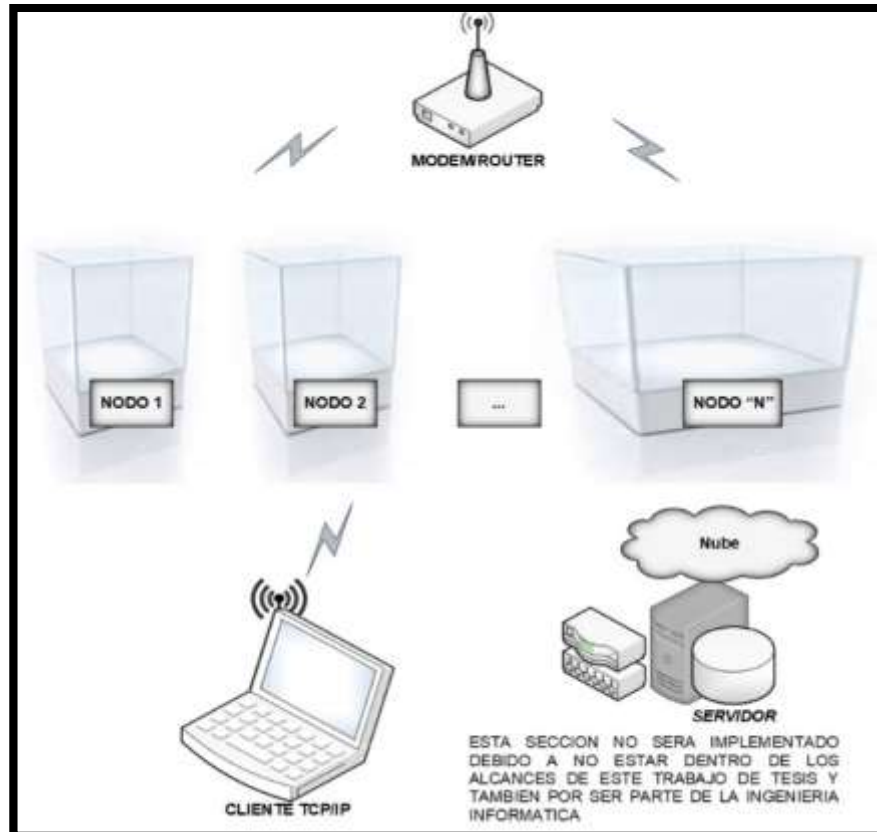


Figura 11. Red de datos de nodos wifi basados en el protocolo TCP/IP.

Un diagrama más detallado del desarrollo de este trabajo se presenta en la figura 11, donde se muestra la interconexión inalámbrica de dos nodos (hardware de control de módulos de conservación) y una computadora que tiene instalado el software de visualización, esto último, implementado en el software LabVIEW. Para compartir datos entre los módulos de conservación y la laptop, es necesario que exista una comunicación TCP/IP mediante wifi entre dichos dispositivos, un modem/router es necesario configurar una red local, que según el anexo que acompaña este documento, la red local debe estar configurado con el ssid = "MAYDELIM_2021" y el password = "MAYDELIM2021"; y las direcciones IP deben de estar en

el rango de 192.168.1.2 a 192.168.1.100. El módulo ESP32 trae integrado un módulo wifi, por lo que basta programar y configurar el ESP32 como se indica en el código de programa del ANEXO, al poseer dos cores, uno de los CPUs se utiliza exclusivamente para la conexión wifi y la comunicación TCP/IP; en vista que cada ESP32 está configurado con una IP diferente (192.168.1.12, 192.168.1.14), mediante el software LabVIEW se realiza la conexión TCP/IP a las direcciones IP señaladas.

En la figura 12, se presenta la conexión de la red de nodo 1, nodo 2 y el cliente TCP/IP de una manera más precisa, se puede observar que el módulo 1, que cabe recalcar viene hacer el nodo 1, contiene la celda Peltier a diferencia del módulo 2 al cual le corresponde el nodo 2, este nodo 2 no presenta en su diseño e implementación la celda Peltier. El nodo 1, se diseñó e implemento con la celda Peltier para alcanzar bajas temperaturas, debido a que los rangos de temperatura de algunos bienes culturales así lo demandan, para la regulación de temperatura, se ha provisto de resistencias de potencia conectados en paralelo las cuales se encuentran ubicadas en la base y dentro del módulo para generar calor en cada módulo, respectivamente y obtener la temperatura de referencia requerida o setpoint, también mencionar que estas resistencias tienen una fuente de alimentación de 12 V a diferencia del microcontrolador ESP32 que está siendo alimentada con una fuente de energía de 3.3 V, caso contrario el calor que se pueda encontrar en cada módulo de conservación debe ser extraída, para regular la temperatura del interior del módulo, por lo que también se ha provisto de un inyector y extractor de aire, dichos dispositivos se encuentran en la base de cada módulo, para lo cual se realizó dos aberturas circulares de un diámetro de 6cm en cada módulo, logrando simular el sistema de intercambio de calor dentro del módulo de preservación. Vale mencionar, que tanto las resistencias de potencia, como el inyector de aire y extractor de aire, son regulados mediante señal PWM en rampa, de manera que se pueda obtener un control suave de la variable temperatura.

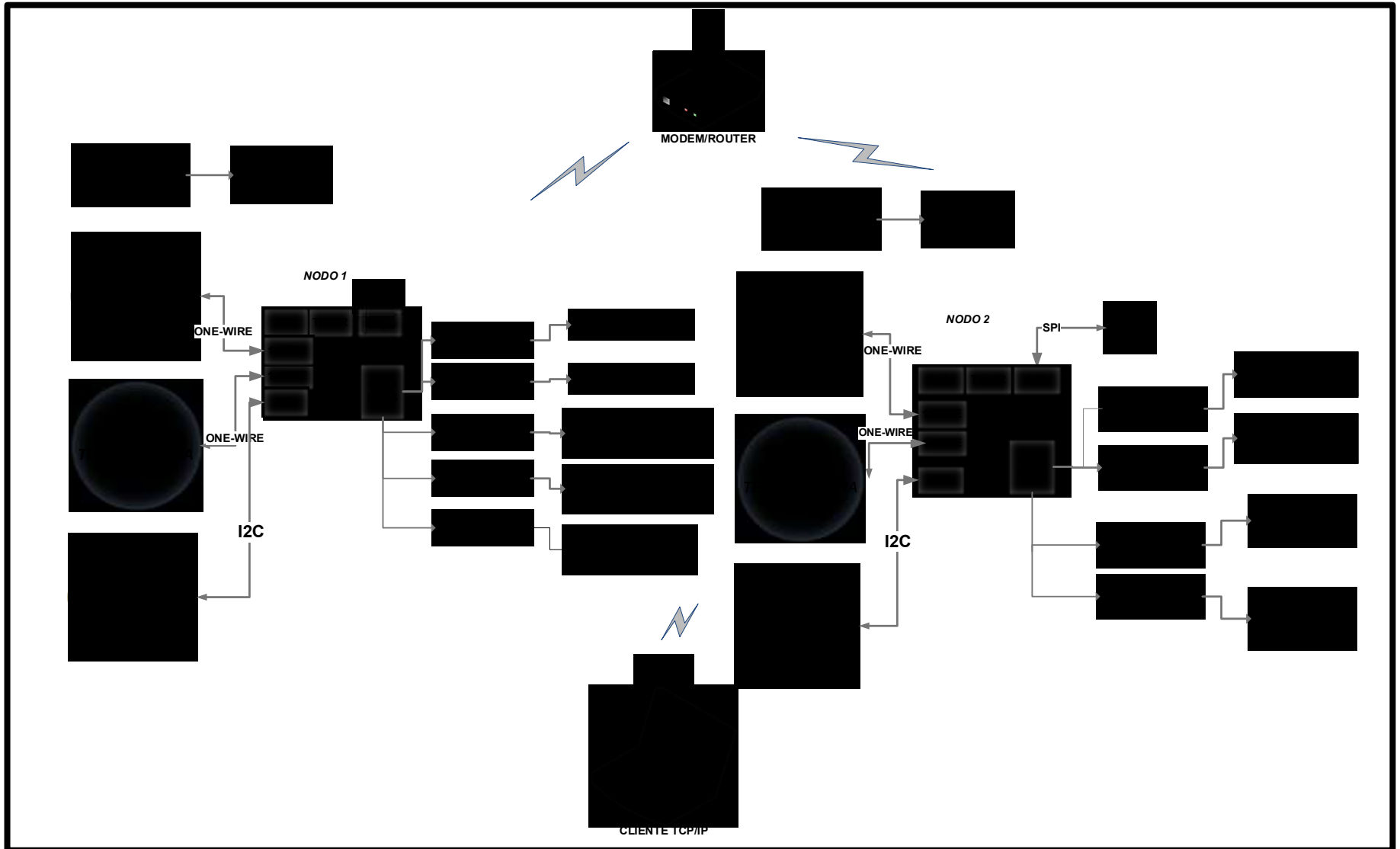


Figura 12. Conexión de la red de nodos 1, nodos 2 y el cliente TCP/IP.

3.3.1. EL CHASIS

El chasis estará conformado por las estructuras y/o cajas de vidrio, que se muestran en la siguiente imagen, la misma que debe tener una base donde se instalaran los sensores, actuadores, dispositivos electrónicos y circuitos de control de temperatura y humedad.



Figura 13. *Caja de vidrio para el almacenamiento de restos culturales.*

En la figura 13 se aprecia el detalle de la base de la caja, que sirve como contenedor de todos los dispositivos electrónicos que componen cada nodo de red, dentro de ello se encuentran los sensores de temperatura, humedad y luz, así como, los actuadores para la recirculación del aire dentro de la caja de vidrio, la celda Peltier y la fuente de alimentación.

3.3.2. EL SISTEMA DE COMUNICACIONES

Para realizar la comunicación entre los nodos y el software de visualización, se ha configurado cada nodo como si fuera un nodo servidor, que debe funcionar en forma independiente, por lo que la red más apropiada a implementar fue wifi, debido al largo alcance que posee, comparado con una red bluetooth o BLE (100 m máximo) o frente a una Red Zigbee que requeriría la adquisición de un dispositivo que trabaje a una frecuencia libre de operación en Perú. Actualmente, se encuentran numerosos dispositivos wifi en el mercado, pero solo los dispositivos ESP32 de la empresa ESPRESSIF integran un módulo wifi y BLE dentro de su

arquitectura ESP32-WROOM-32, ideal para aprovechar, no solo este módulo wifi, sino también el procesador de 2 núcleos.

En una red nada funciona sin direcciones IP, por lo que, en primera instancia, se ha realizado la configuración de las direcciones IP de la red como direcciones estáticas dentro del programa de control del ESP32, de manera que el módulo wifi integrado al ESP32 se mantenga con una IP fija, tal como se indica en la figura.

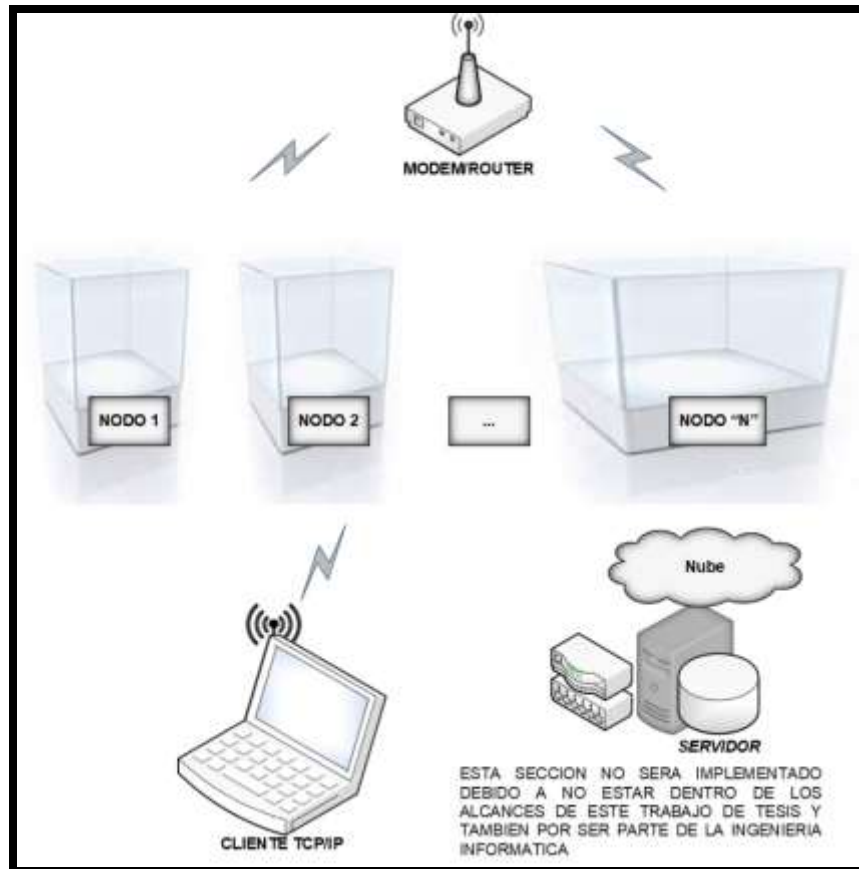


Figura 14. Configuración de las direcciones IP de los nodos de red a implementar.

En este trabajo de tesis se ha configurado dos nodos de red con las direcciones IP: 192.168.1.12 y 192.168.1.14; mediante el programa realizado en LabVIEW es posible acceder a los datos del nodo 1 y 2 respectivamente, en vista que existe una conexión TCP/IP entre el nodo 1 y el cliente, así como el nodo 2 y el cliente; para el caso del cliente, no es necesario configurar la dirección IP como estática, sin embargo, se debe cuidar que el MODEM/ROUTER, no le asigne ninguna de las direcciones antes indicadas y que además la dirección IP asignada al cliente, debe estar en el mismo segmento de red que los nodos.

3.3.3. EL SISTEMA DE MEDIDA Y CONTROL DE TEMPERATURA

El propósito principal del módulo de preservación es mantener la temperatura y humedad relativa de los contenedores de vidrio que resguardan determinado objeto ancestral o prehistórico, dentro de los rangos de medida, según el tipo de objeto, y según el material del que está compuesto el objeto; el controlador del nodo debe de realizar el control de temperatura, por lo que, se debe contar con un sensor de temperatura y un sensor de humedad para realizar el control de temperatura y el monitoreo de esta última variable.

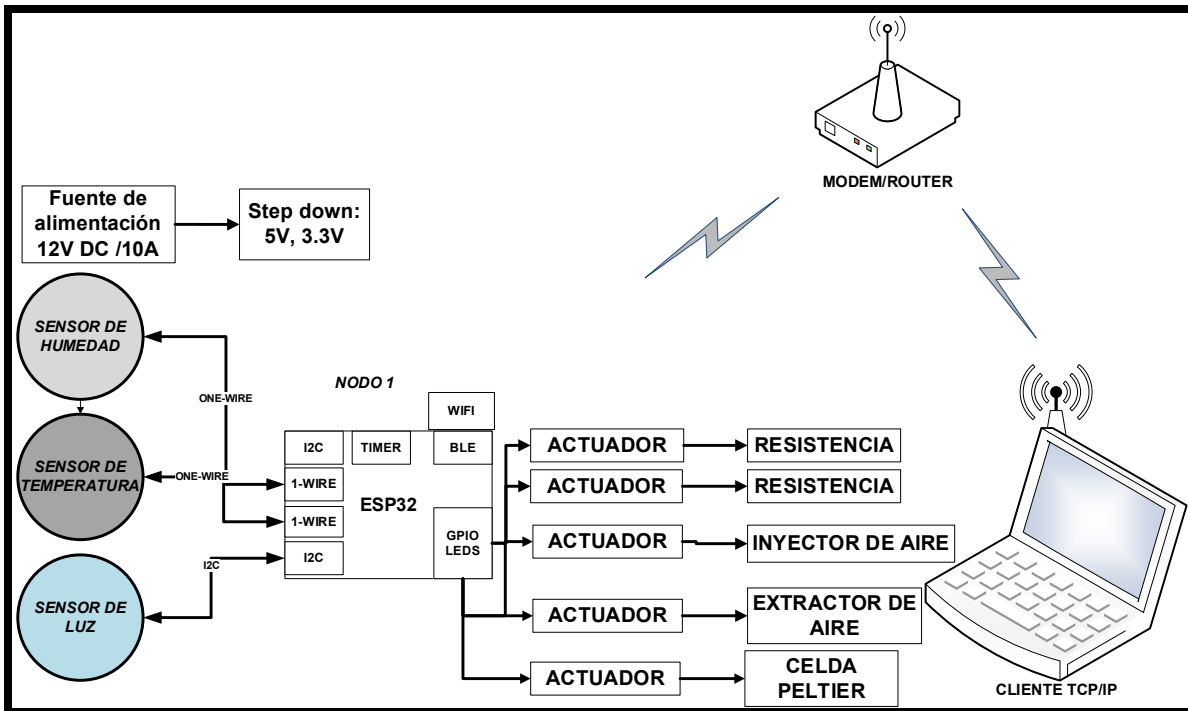


Figura 15. Diagrama de bloques de un Nodo de red basado en el ESP32.

En la figura 15, se observa el diagrama de bloques del controlador ESP32 con las conexiones a los sensores de humedad y temperatura conectados mediante el bus ONE-Wire, la conexión I2C al sensor de luz y las conexiones que debería tener hacia la celda Peltier, las resistencias las cuales generan calor, y el inyector/extractor de aire.

Se ha instalado un sensor de luz mediante comunicación I2C, para que el operador, pueda realizar el control manual de la iluminación de cada módulo de preservación, en caso cuente con un sistema de control por disparo o dimmer para regular la fuente de luz del módulo de preservación, el mismo que deberá ser regulado de acuerdo al tipo de material del objeto a preservar. Para la regulación de temperatura, se ha provisto de resistencias de potencia

conectados en paralelo, de manera que puedan generar calor dentro del módulo; dicho calor una vez superado el setpoint, debe ser extraído, por lo que también se ha provisto de un inyector y extractor de aire que simulan el sistema de intercambio de calor dentro del módulo de preservación. Vale mencionar, que tanto las resistencias de potencia, como el inyector de aire y extractor de aire, son regulados mediante señal PWM en rampa, de manera que se pueda obtener un control suave de la variable temperatura. Del mismo modo, se ha previsto la implementación de una celda Peltier en uno de los módulos desarrollados, esto último, para aquellos objetos que requieran temperaturas más bajas que la temperatura ambiente (11 °C, por ejemplo), que en promedio este alrededor de 16 °C. La celda Peltier está conectada por su lado frío hacia el interior del módulo de preservación, de manera que logre refrigerar el interior del mismo.

3.3.3.1. Diagrama circuital del prototipo desarrollado

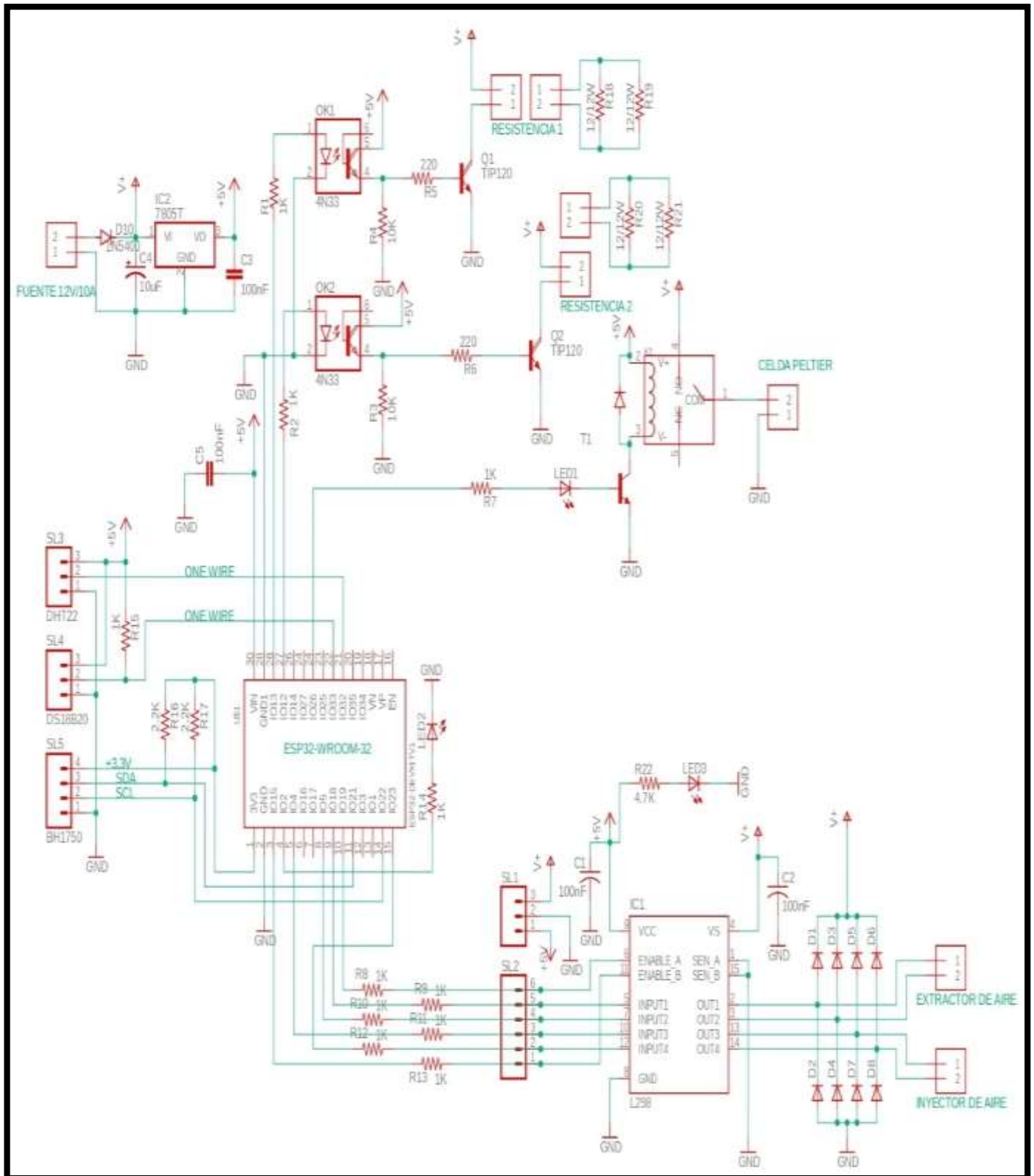


Figura 16. Diagrama circuital de un nodo basado en el ESP32.

En la figura 16, se aprecia el diagrama circuital del sistema de control de uno de los módulos de preservación, basado en el procesador dual core ESP32, dicho diagrama no es más que una extensión detallada de la figura 15. Claramente, se aprecia, al lado izquierdo, 3 conectores para los sensores DHT22 (sensor de humedad), DS18B20 (sensor de temperatura), y BH1750 (sensor de luz), que, al ser sensores con protocolo de comunicación, son sensores ya calibrados, y que, según hoja del fabricante, requiere de unas cuantas resistencias pull up para su funcionamiento, tal como se indica en la figura 17.

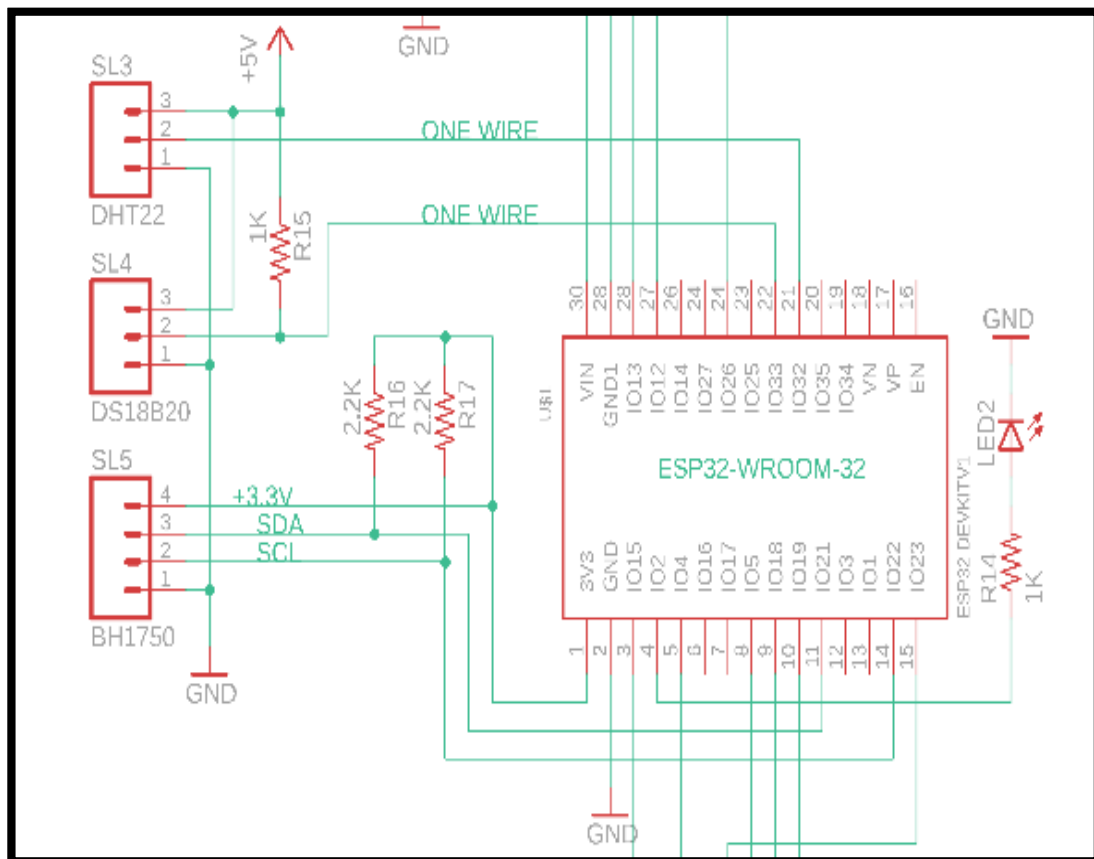


Figura 17. *Detalle de los conectores para los sensores de Humedad, Temperatura y Luz.*

La figura 18, muestra el control de las resistencias de potencia, se realiza mediante el encendido de los transistores TIP120, que al ser transistores que manejan corrientes de regular amperaje, ha sido necesario proteger el circuito de control ESP32 mediante los opto acopladores 4N33; R3 y R4 permiten forzar a cero lógico la base de los transistores TIP120, de manera que cuando el ESP32 encienda los leds de los optoacopladores, e indirectamente excite la base de los transistores de los 4N33, un "1" lógico (5 v), aparecerá en la base de los transistores TIP120, permitiendo actuar sobre las resistencias R18, R19

R20 y R21 cuyos valores son de 12 Ohmios a 12 W, debo recalcar que la activación de estas resistencias se realizan mediante señal PWM en rampa, para lograr una actuación suave.

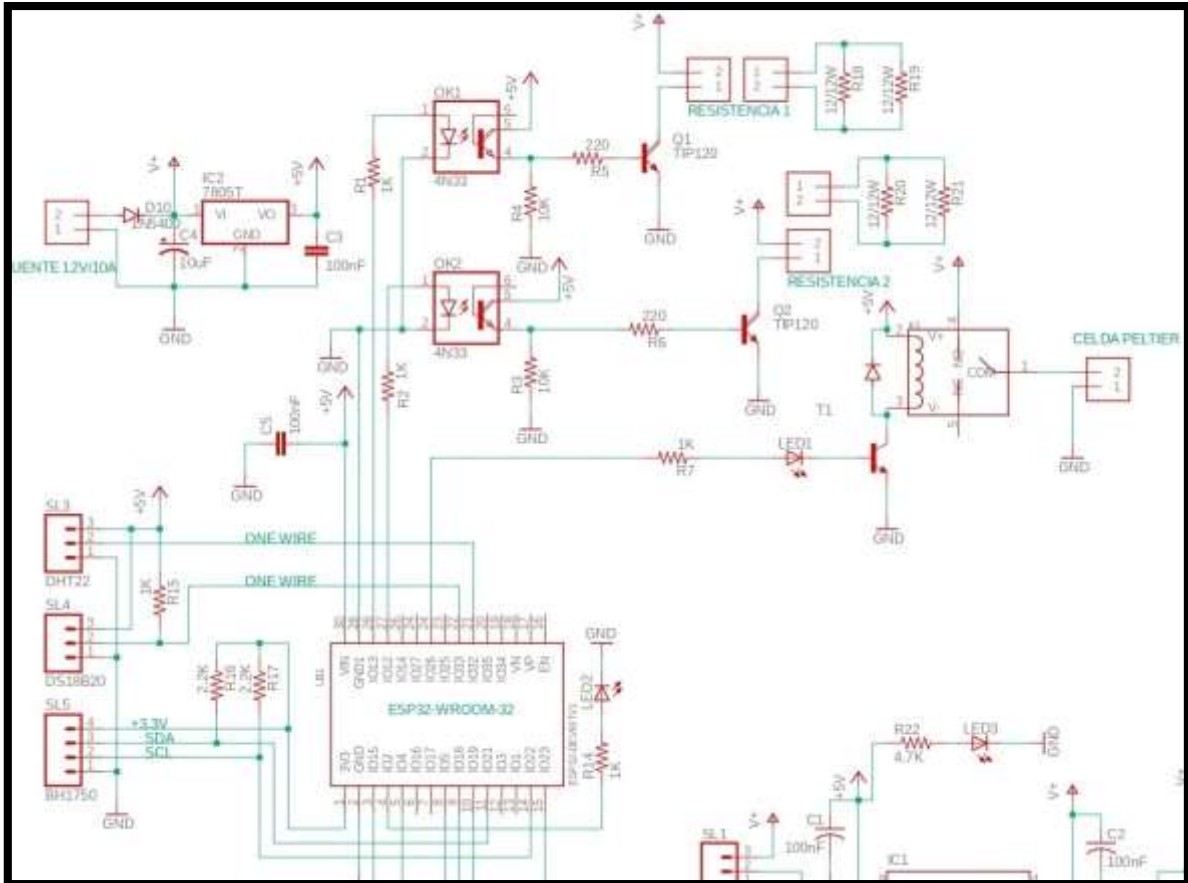


Figura 18. Conexión del ESP32 a las resistencias de Potencia.

OPTOACOPLADOR 4N33, son dos circuitos idénticos, los optoacopladores se está usando para acoplar las tensiones del microcontrolador de 3.3 v a 5 v y al mismo tiempo protegerlo, en caso exista una corriente de retorno o similar. A si mismo se está utilizando control PWM para el control de las resistencias.

TIP 120, son diseñados para funcionar como amplificador o como conmutador de media potencia, en la implementación de los módulos de conservación se hizo uso de este transistor TIP 120, como conmutador, también una de sus particularidades es que puede controlar dispositivos que consuman hasta 8 A (corriente de pico) o 5 A de forma continua, y que requieran tensiones de hasta 60 v dc, siempre y cuando no se sobre pase su potencia de disipación máxima.

TIP 120, se usa como un transistor de conmutación, por ello, corte-saturación:

$$V_{CE} = 0 \text{ v}$$

Las resistencias son de 12Ω y $12 W$ de potencia, estas resistencias se colocan en paralelo, para que el tiempo de calentamiento sea menor. La resistencia equivalente:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{12} + \frac{1}{12}}$$

$$R_{eq} = 6 \Omega$$

Por lo tanto, consumiría $1 A$ aproximadamente, en los 02 circuitos son $2 A$.

Tip 120, donde:

$$P = VI$$

$$P = 12v * 1A$$

$$P = 12 w$$

Sabemos:

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{12 v}{6 \Omega}$$

$$I = 2 A$$

Entonces, en cada brazo circula $1 A$.

Para el caso del módulo que esta implementado con celda Peltier, se ha utilizado un relé, debido a la mediana corriente que maneja la celda Peltier (más de $4A$), la misma que provocaría calentar en exceso a un transistor como el TIP120, por ejemplo, no ha sido necesario colocar protecciones adicionales más que el diodo Led1 para evitar que las corrientes parasitas retornaran hacia el ESP32, además cómo se trata de un relé, ya existe un aislamiento mediante las bobinas del relé y los contactos del mismo. Vale recordar que, una celda Peltier permite calentar y enfriar una de sus caras según la polaridad de la corriente que circule por ella, en este caso particular, se utiliza la cara que genera frio para enfriar el interior de la cámara de preservación de objetos.

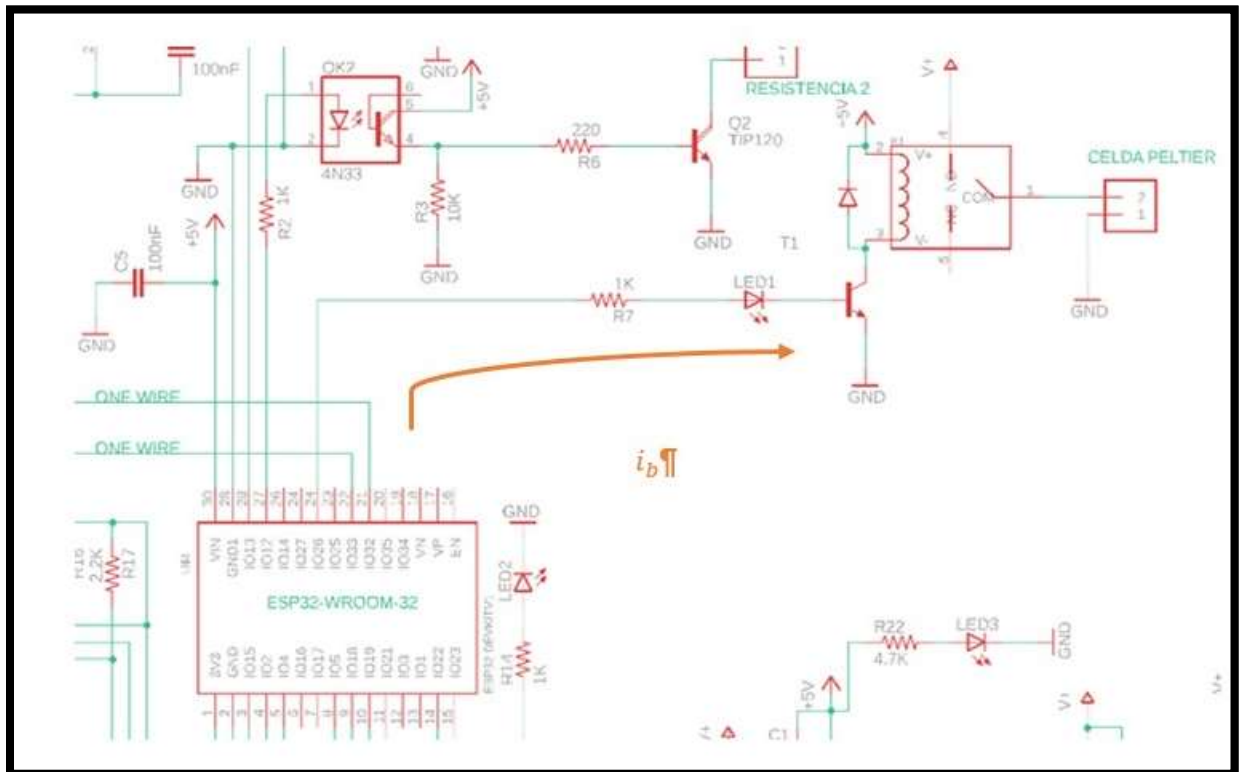


Figura 19. Diagrama circuital para el control de la celda Peltier

Según hoja de datos de rele, la resistencia de la bobina es de 65Ω y la resistencia de falla es de 1.2

$$5 \text{ v} = 65 \Omega * I_C + 1.2 \text{ v}$$

Por lo tanto:

$$I_C = 58.46 \text{ mA}$$

Sabemos las características de LED1, $V_{DD} = 2 \text{ v}$ $-V_{DD} = 2 \text{ v}$ y $I_{Dmax} = 20 \text{ mA}$

Se considera: $V_{DD} = 2 \text{ v}$ y $V_{BE} = 0.7 \text{ v}$

$$3.3 \text{ v} = 1 \text{ k}\Omega * i_b + V_{DD} + 0.7 \text{ v}$$

$$i_b = i_{Dred} = 0.6 \text{ mA}$$

El " β " o la ganancia es de 10, $\beta = 10$

Por lo tanto:

$$I_C = I_B * \beta = 60 \text{ mA}$$

Finalmente, para controlar los actuadores de inyección y extracción de aire, los cuales presentan las siguientes características cada una, son de tipo axial de un tamaño de 8x8x2 con 3000 RPM, su tensión de funcionamiento es de 12 v y 0.18 A como corriente nominal, los cuales se encuentran ubicados en la base y al exterior de cada cámara de preservación de objetos, las cuales tienen dos orificios circulares de 8 cm de diámetro cada una, para poder inyectar o extraer aire del interior del módulo, se ha utilizado un driver de motor L298, de manera que mediante el control de sus entradas 1 al 4 permitan el encendido y apagado del inyector y extractor de aire. Mediante las entradas ENABLE A y B se logra regular en forma suave la velocidad de estos actuadores, esto último, mediante 2 señales PWM en dichas entradas, logrando así regular un encendido y apagado suave o en rampa; la figura 20, muestra lo comentando en este último párrafo.

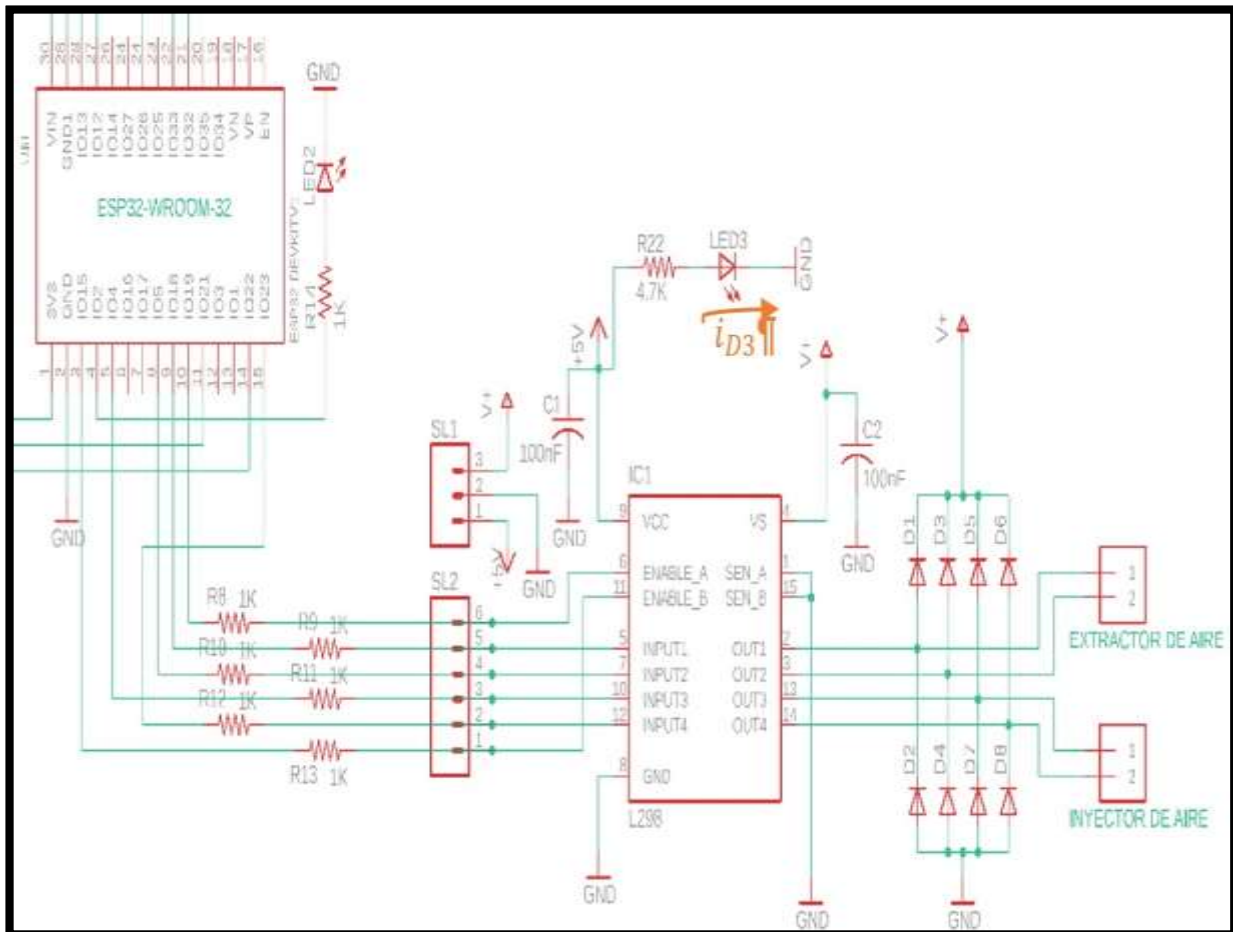


Figura 20. Diagrama circuital para el control de los actuadores de inyección y extracción de aire.

Sabemos las características de LED3, $V_{D3} = 2.8 \text{ v}$ y $i_{D3max} = 20 \text{ mA}$

Entonces:

$$5 v = 4.7 k\Omega * i_{D3} + V_{D3}$$

Por lo tanto:

$$i_{D3} = 0.468 mA$$

3.3.3.2. Implementación del Algoritmo de control del ESP32

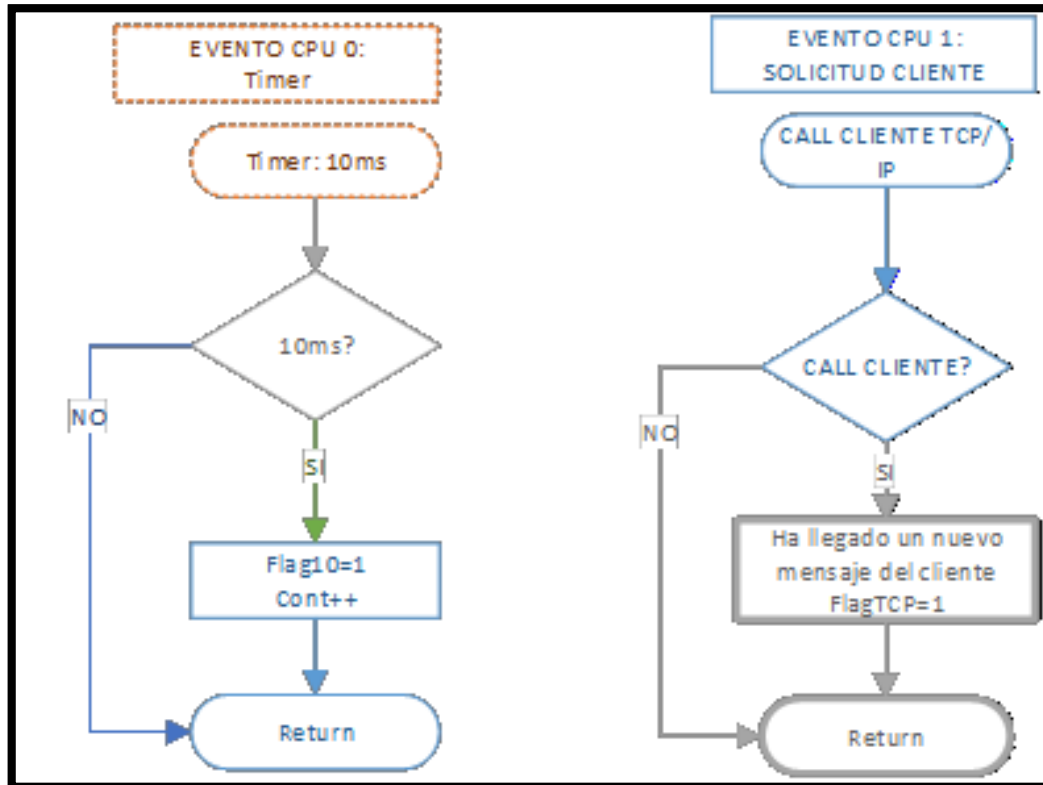


Figura 21. Eventos del CPU 0 y CP1 del ESP32.

La figura 21, muestra el diagrama general del control del programa implementado en el ESP32; como se ha mencionado en los capítulos anteriores, el ESP32 posee dos núcleos de 32 bits, denominados CPU 0 y CPU 1; El CPU 0 es el procesador que controla el proceso de, control del módulo de conservación; cada 10 ms este procesador realiza el incremento de los contadores de tiempo, los mismos que sirven para realizar la adquisición de muestras de las variables del proceso y realizar el control de los actuadores según la referencia.

El CPU 1, se encarga de realizar las comunicaciones TCP/IP mediante el wifi de la red local, cada vez que un cliente se conecta, se produce una interrupción y se activa una bandera para luego ser atendida por el CPU 1 en el bucle principal. Las figuras 22 y 23 muestran el detalle de los algoritmos de control del CPU 0 y CPU 1 respectivamente; el CPU 0 observa cada 10 ms si ha ocurrido un evento, a la vez que incrementa los contadores Cont1, Cont2 y Cont3, cuando los contadores superan los 200 ms, 1500 ms y

2000 ms, se adquieren una muestra de temperatura, de intensidad de luz y humedad respectivamente, para luego reiniciar los contadores en forma independiente para esperar una próxima muestra. Después de adquirir una muestra de temperatura se procede a realizar la actualización de la referencia y/o a ajustar los actuadores que controlan la temperatura, que se detalla en la figura 24.

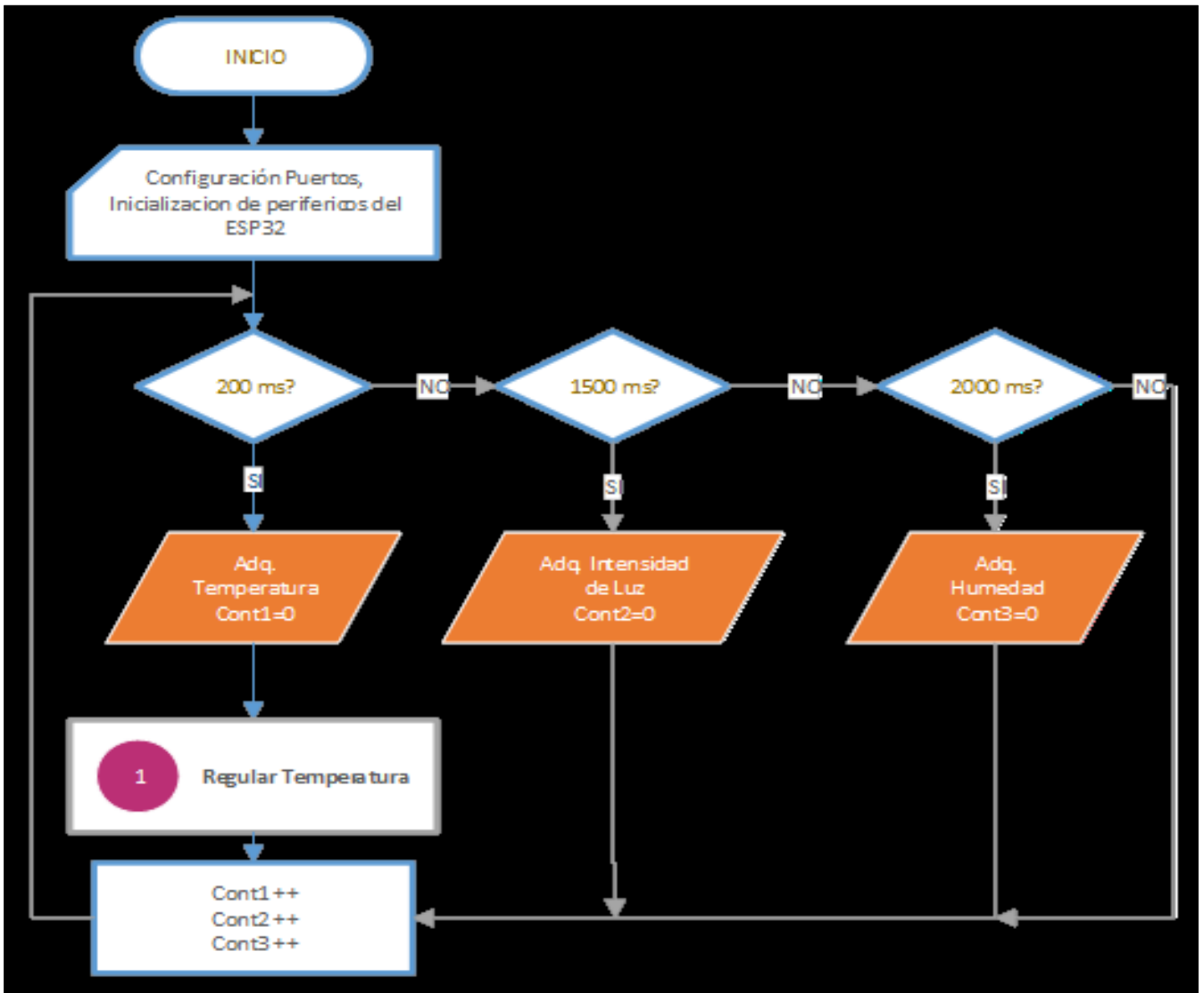


Figura 22. Diagrama de flujo del CPU 0 del ESP32.

3.3.3.3. Implementación del algoritmo de Comunicación TCP/IP

La figura 23, muestra el detalle del algoritmo de control de las comunicaciones del servidor ESP32, cada vez que le ha llegado un nuevo mensaje de un cliente, el algoritmo discierne si ha llegado una solicitud de datos, actualización de la referencia de la temperatura o de la humedad. En caso se actualice la referencia de la temperatura o humedad, el CPU 1 almacena sobre la variable de referencia respectiva, el valor que le acaba de llegar en la última trama de datos recibida. En caso sea una solicitud de datos, el CPU 1 carga el buffer de variables almacenadas y transfiere dicho buffer de datos al cliente a través de la conexión wifi, mediante el protocolo TCP/IP. La trama recibida por el cliente, es almacenada, decodificada y visualizada en el software LabVIEW.

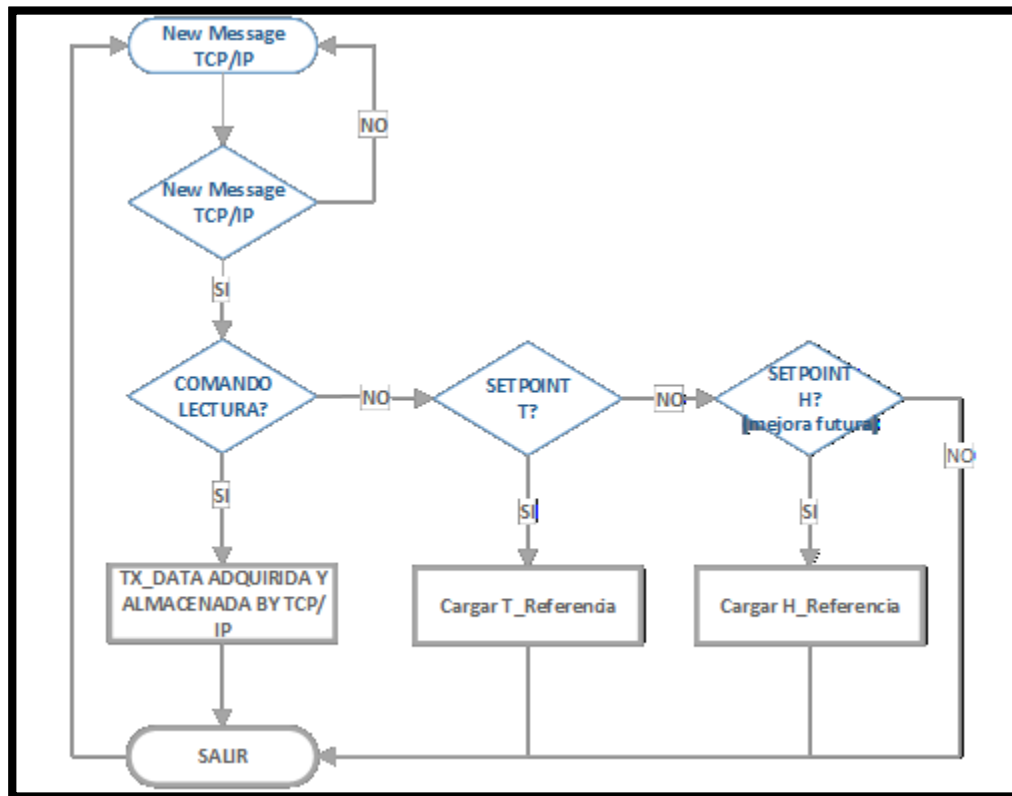


Figura 23. Diagrama de flujo del control de la comunicación TCP/IP del CPU 1 del ESP32.

3.3.3.4. Implementación del algoritmo de control de Temperatura

La figura 24 muestra el control de temperatura del módulo de preservación; según el diagrama de las figuras 15 y 16, los actuadores para esta variable están conformados por

resistencias, un extractor, un inyector y una celda Peltier. Una vez adquirido la temperatura del módulo de preservación cada 200 ms, dicho valor se almacena sobre la variable "T", la misma que es comparada con la temperatura de referencia "Tref"; en la figura 24, se presenta la comparación en los casos en que la temperatura es mayor a la temperatura de referencia y viceversa. En el caso de que la temperatura es mayor a la temperatura de referencia, la celda Peltier se enciende para enfriar la cara fría de la misma, que esta adjunta hacia la base del módulo, produciendo una temperatura inferior a la del módulo de preservación, así mismo se empieza a reducir el duty cycle de la resistencia, de manera que dejen de calentar, por otro lado los flujos de aire del Inyector y extractor se incrementan, para recircular más rápido el aire caliente contenido dentro del módulo de preservación; en el caso que los duty cycle de la resistencias llegue a 1, debe mantenerse en dicho valor, en forma similar los duty cycles del inyector y extractor deben mantenerse en 1023 cuando llegan a dicho valor máximo, esto último porque se utiliza un módulo PWM de 10 bits.

Contrario a todo lo dicho líneas arriba, sucede con el control cuando la temperatura es menor a la temperatura de referencia.

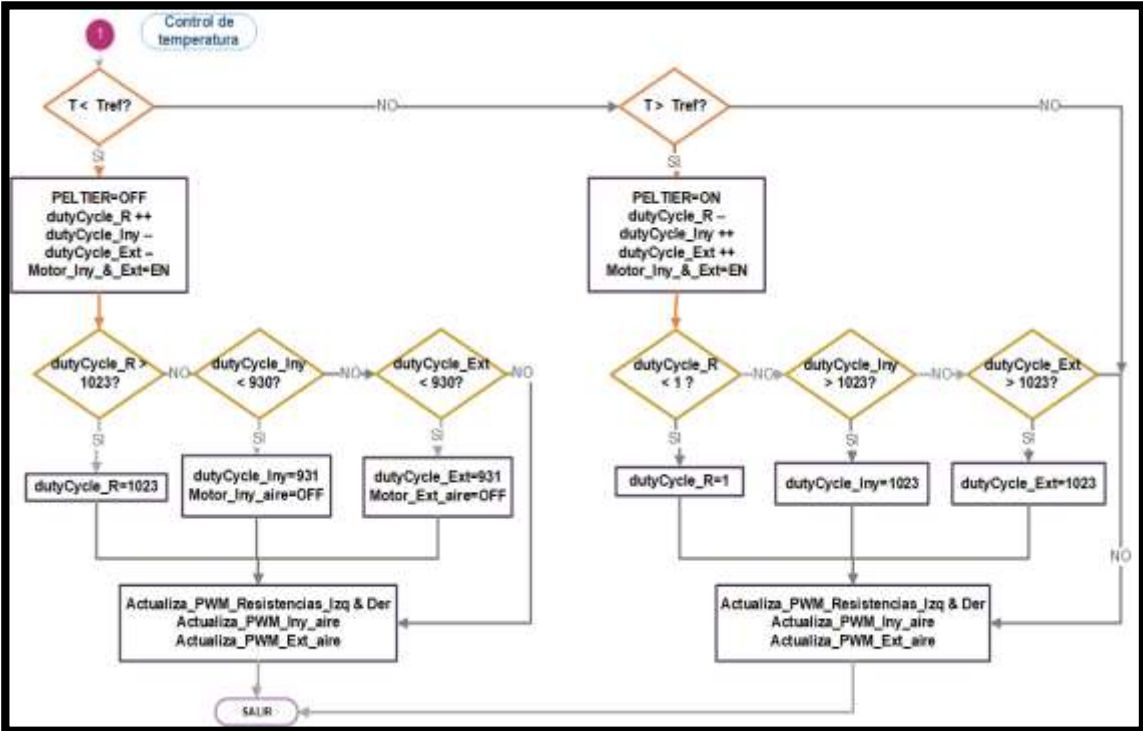


Figura 24. Diagrama de flujo del Algoritmo de control de temperatura.

3.3.3.5. Empaquetado de datos

El empaquetado de datos es realizado, de dos maneras, una para realizar la solicitud de información, y la otra para realizar la respuesta de información de los datos adquiridos en el orden siguiente: humedad, temperatura del sensor DHT22, temperatura del sensor DS18B20, intensidad de luz, duty cycle de las resistencias, duty cycle de los inyectores de aire, duty cycle del extractor, referencia de la temperatura, referencia de la humedad, retorno de carro, salto de línea.

Tabla 5.

Empaquetado de Datos TCP/IP

Tipo de comando	Solicitud	Respuesta
Cambio de referencia	T=xx.xx\r\n	OK\r\n
Lectura de Datos	a\r\n	Humedad T_DHT22 Temperatura Lux Duty_Cycle_R Duty_Cycle_Inyector Duty_Cycle_Extractor Referencia_Temperatura Referencia_Humedad \r \n

El algoritmo, tanto del controlador ESP32, así como el de visualización implementado en LabVIEW, espera el salto de línea (\n), para determinar que ha llegado un paquete de datos completo; procediendo luego a realizar la decodificación de la data recibida. Cuando le llega el comando “T” indica que la referencia de temperatura debe actualizarse, y cuyo valor se deberá tomar después del signo igual (T=xx.xx). Asimismo, cuando se recibe el comando “a” se trata de una solicitud de variables adquiridas, por lo que se debe proceder a empaquetar la data y enviarlas al cliente, con la misma dirección IP recibida.

3.3.4. EL SOFTWARE DE CONFIGURACIONES REMOTAS Y VISUALIZACIÓN DE VARIABLES

Para la visualización de variables, se ha desarrollado un cliente TCP/IP en el software LabVIEW, el cual permite visualizar las variables de temperatura, humedad, intensidad de luz, valor actual de la señal PWM de las resistencias, de los actuadores de extracción e inyección de aire, así como del encendido y apagado de la celda Peltier, entre otras.

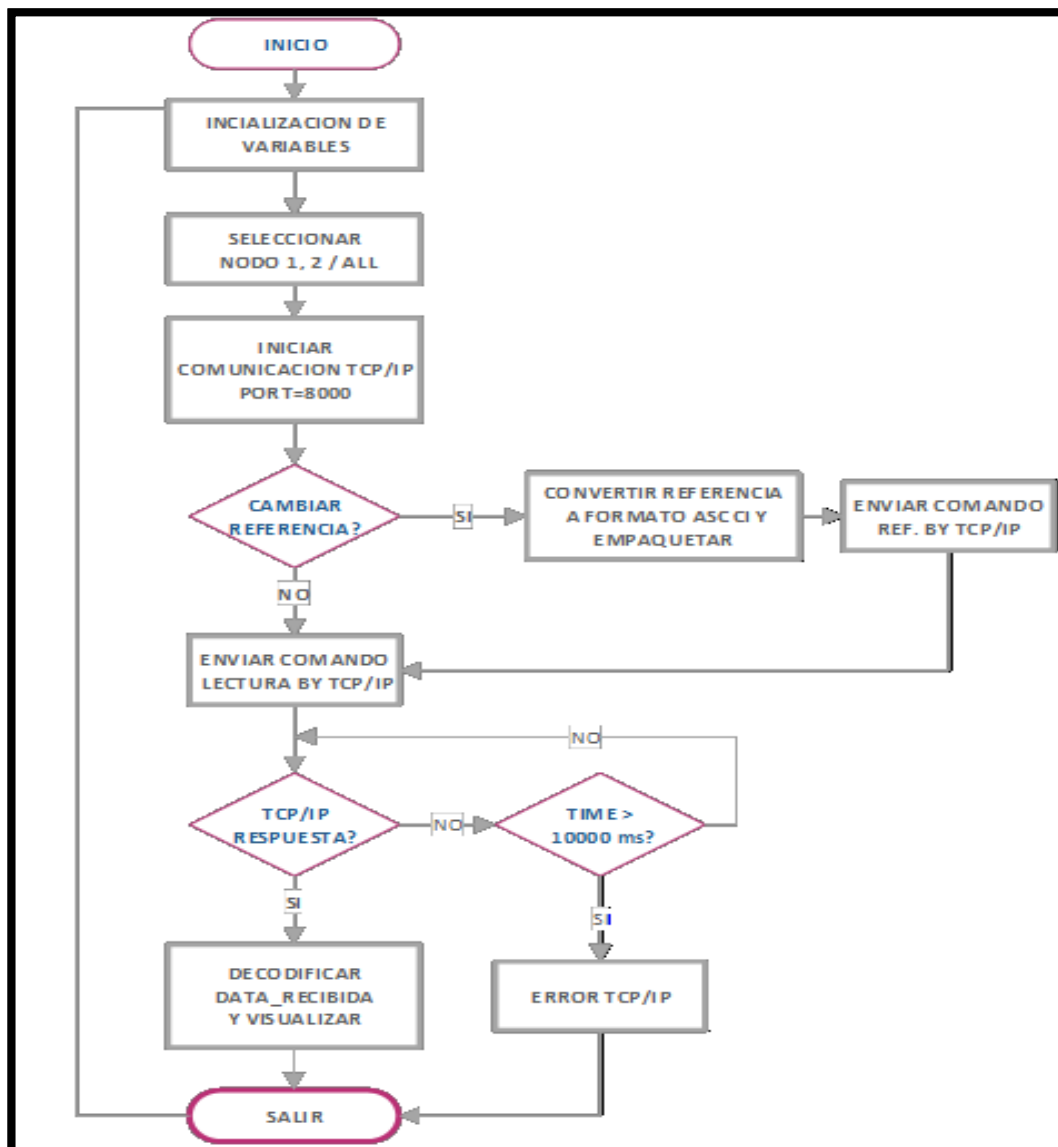


Figura 25. Diagrama de bloques del Algoritmo del Cliente TCP/IP.

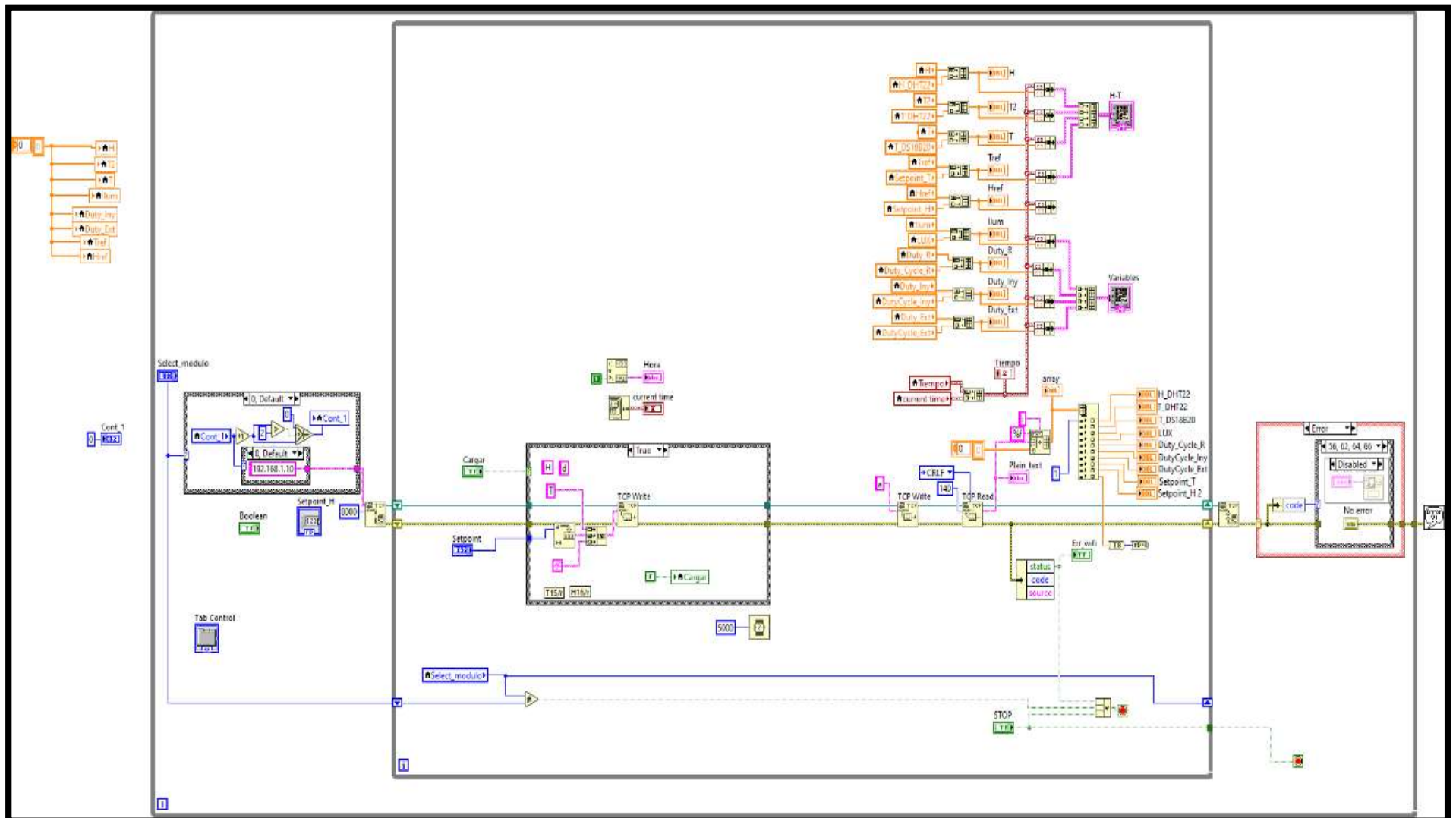


Figura 26. Diagrama de bloques del software LabVIEW con el código de programa general.

La figura 26, muestra el código del programa implementado en LabVIEW, este código se desarrolló en una laptop core i5, la cual presenta características que cumplen los requisitos para poder desarrollar el código grafico en LabVIEW:

- RAM de 5GB.
- Espacio en el disco de 231 GB.
- Resolución de pantalla 1366x768.
- Sistema operativo Windows 10.

En el código implementado, se puede observar que existen 2 bucles While; el bucle While interno, permite obtener información de nodo TCP/IP conectado, al salir de este bucle While se cierra dicha conexión, permitiendo conectarse al siguiente nodo de red con una dirección IP diferente; una vez establecida la conexión TCP/IP, el procedimiento es el mismo para ambos nodos de red ESP32; se envía el comando de lectura "a" al nodo de red ESP32, el mismo que devuelve un paquete de datos con toda la información solicitada (medida de todos los sensores y estado de los actuadores). Eso lo realiza en forma cíclica, de manera que adquiera en forma secuencial información de uno u otro nodo de red. El software finaliza una vez que se presione el botón STOP, el mismo que permite salir, tanto del bucle While interno, así como, del bucle While externo.

3.3.4.1. Selección de Direcciones TCP/IP

Como se mencionó en párrafos anteriores, es necesario configurar las direcciones IP como estáticas en cada nodo de red, de manera que en el software del cliente se pueda elegir una dirección IP conocida; en este caso este procedimiento se realiza mediante la estructura switch que se muestra en las siguientes figuras

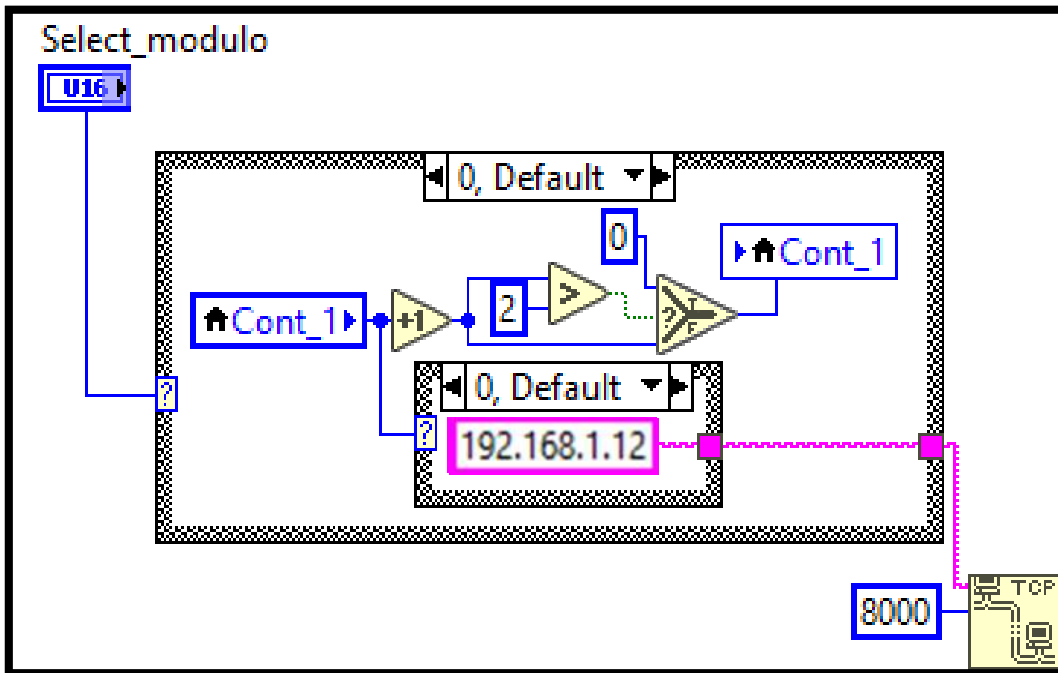


Figura 27. Estructura switch seleccionando la dirección IP: 192.168.1.12.

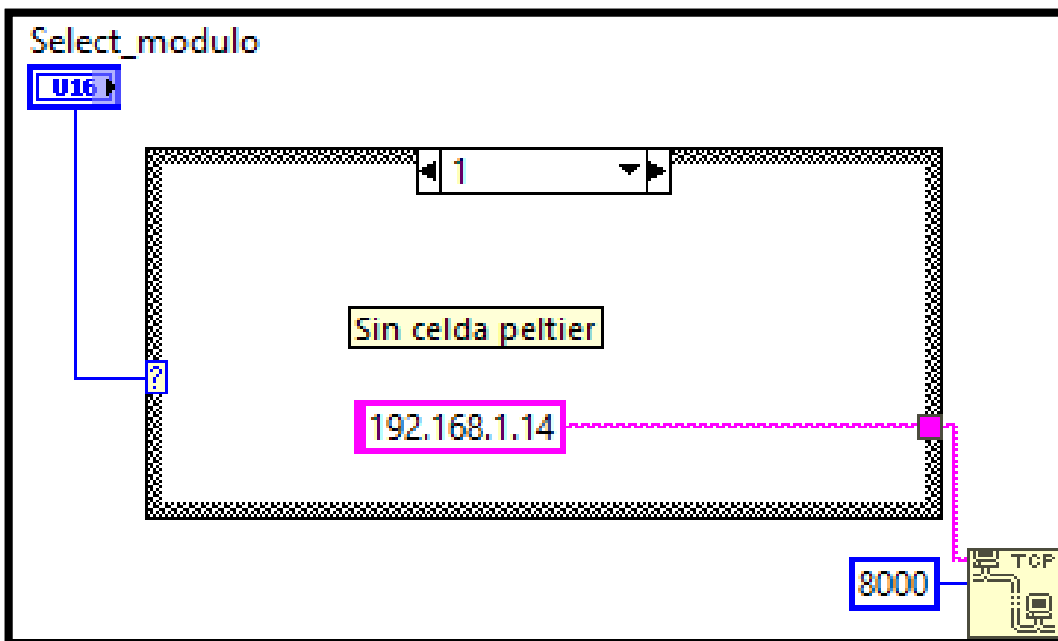


Figura 28. Estructura switch seleccionando la dirección IP: 192.168.1.14.

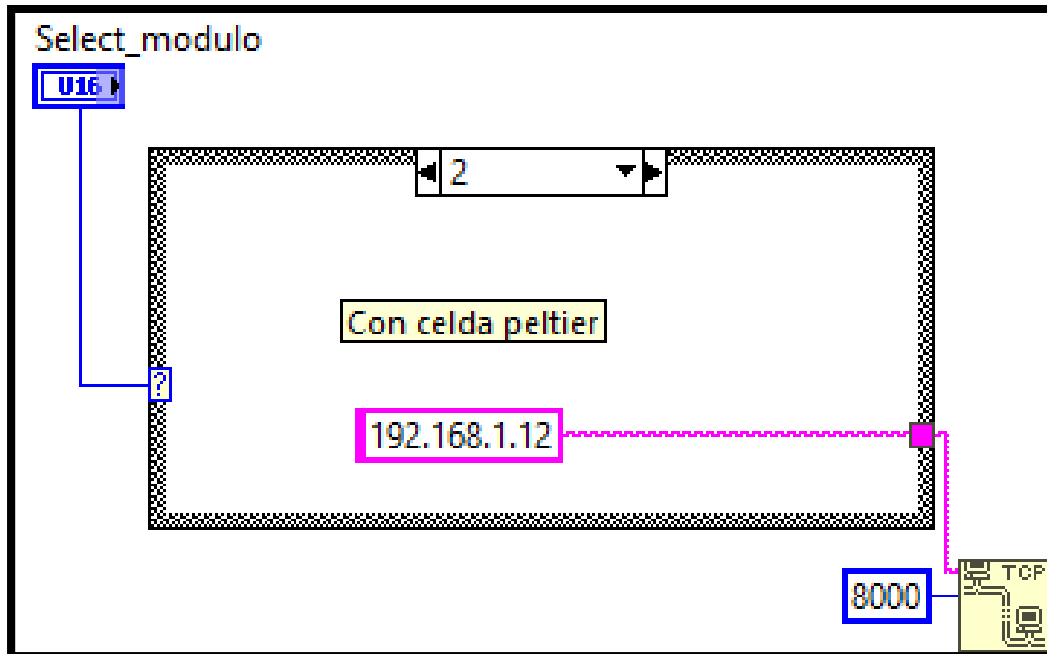


Figura 29. Envío de comando de cambio de referencia de temperatura.

Los módulos de preservación han sido programados y configurados con las direcciones 192.168.1.12 y 192.168.1.14, por lo que el software LabVIEW realiza una conexión física a esas direcciones mediante el control "Select_módulo".

3.3.4.2. Carga de la temperatura de referencia

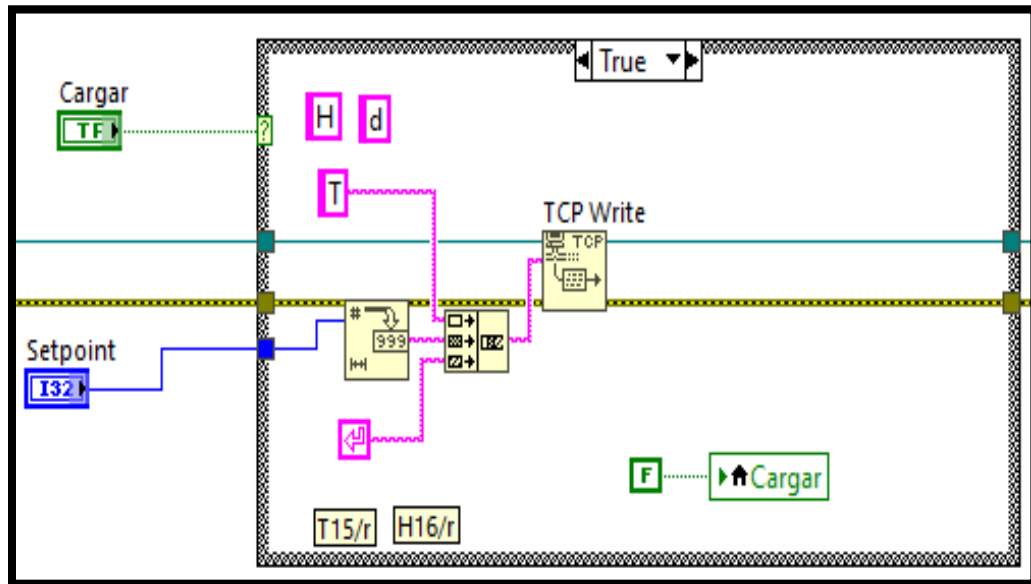


Figura 30. Envío de comando de cambio de referencia de temperatura.

Para realizar el cambio de la referencia de temperatura, se utiliza el comando “T”, de manera que se envía el valor T seguido del valor de temperatura deseado, el procesador ESP32, reconocerá el comando, y actualizará su control a dicha temperatura, una vez que se presiona el botón cargar. Un ejemplo de esta actualización, se muestra en la figura 34 (curva de color turquesa).

Cada 5 segundos se realiza un requerimiento de adquisición de datos a uno de los ESP32, esto mediante el comando “a”, Cuando el CPU0 del ESP32 recibe dicho comando, empaqueta todos los datos adquiridos y los envía a través del protocolo TCP/IP la información requerida según el orden establecido en la variable Array de tipo flotante de la figura 31. Seguidamente, se conforma arreglos de datos para almacenarlos junto al tiempo en que se ha adquirido esa última muestra y visualizarlos en un plano X-Y donde el plano X, está representado por la hora y fecha, asimismo en el plano Y, se representa el valor de la magnitud física adquirida.

3.3.4.3. Lectura de variables del módulo de preservación de objetos

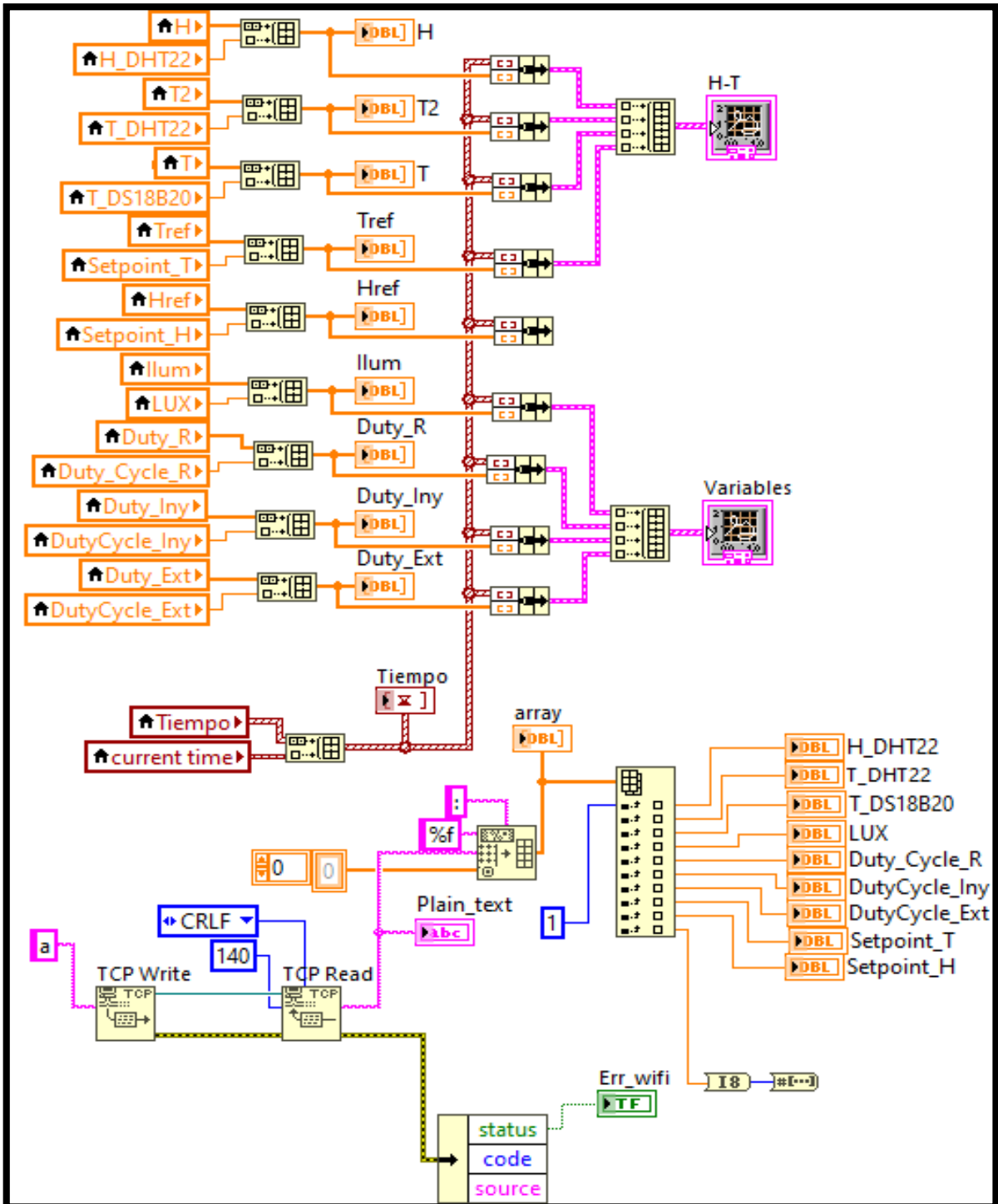


Figura 31. Decodificación de variables y visualización.

3.3.4.4. Finalización de comunicación TCP/IP

Es necesario cerrar la sesión TCP/IP abierta, por lo que los comandos descritos en la figura 32 permite cerrar el puerto 8000, a la vez que limpia todos los errores que se hayan podido generar durante la conexión TCP/IP.

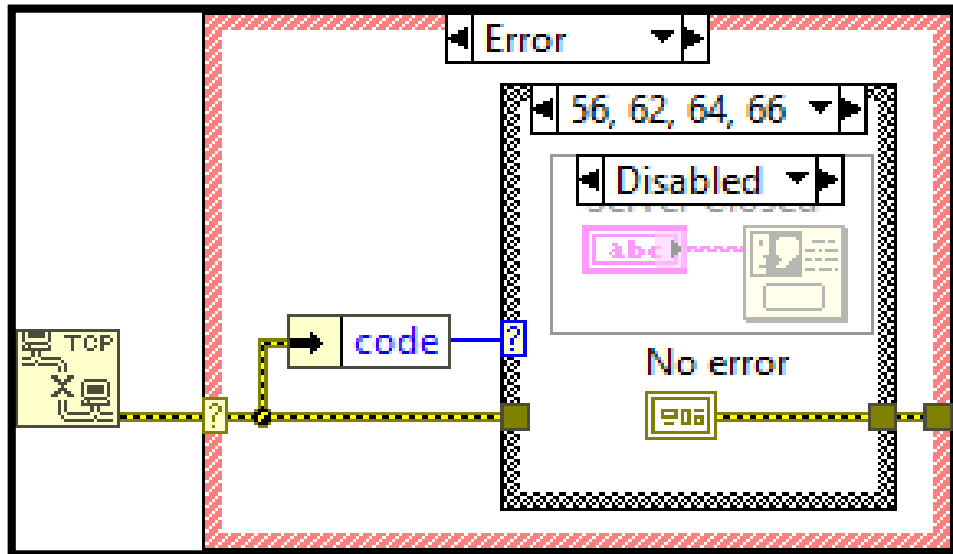


Figura 32. Finalización de comunicación y limpieza de errores TCP/I.

CAPITULO 4: PRUEBAS Y VALIDACION DEL PROTOTIPO

En esta sección, se presenta el funcionamiento del sistema implementado, que consiste en dos módulos de preservación de objetos ancestrales, con regulación automática de temperatura y conectados en red, junto a un cliente TCP/IP.

Para esta tesis se implementó los circuitos propuestos para poder realizar las pruebas que nos permitan verificar el funcionamiento del prototipo de monitoreo y supervisión, adquiriendo los sensores de humedad (DHT22), sensor de temperatura (DS18B20) y sensor de luz (BH1750) en la cual evaluaremos si el algoritmo de control, interfaz de usuario y el sistema de comunicación cumplen con los objetivos propuestos en la tesis en cuestión.

Los sensores utilizados funcionan mediante protocolo de comunicación ONE-WIRE e I2C, por lo que la calibración y las pruebas de test de los mismos son realizadas en laboratorios del mismo fabricante. Así, no es necesario el uso de otros instrumentos, para la calibración de las medidas adquiridas. Según la hoja de datos del fabricante poseen errores de +/- 1 °C y 2% de humedad relativa, para el sensor DS18B20 y el DHT22 respectivamente, los mismos que pueden verificarse al utilizar el termómetro.

4.1. FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO EN LABORATORIO

Se implementó en LabVIEW un interfaz de usuario para monitorear y supervisar los valores medidos por los sensores de las variables climáticas, dentro de los módulos de conservación los cuales albergaran restos culturales, estos valores serán enviados a la computadora de tal manera que se pueda apreciar en su pantalla el valor de la temperatura y humedad relativa en el tiempo.

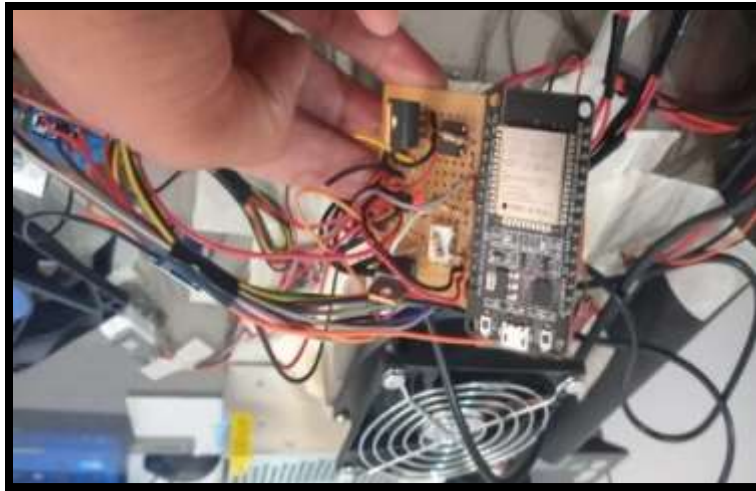


Figura 33. *Implementación del circuito.*

Pruebas para $T=18$ y $T= 13$ °C

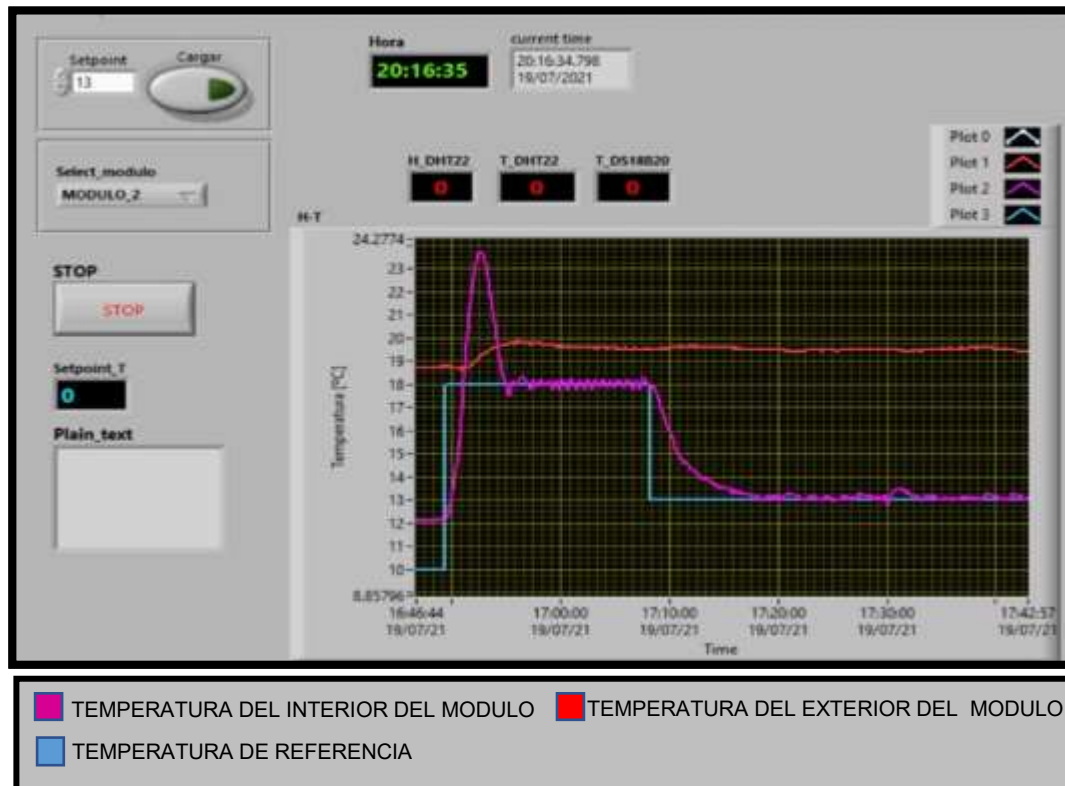


Figura 34. *Prueba de Control de temperatura y monitoreo de humedad relativa.*

Detalle de setpoint de temperatura, para 18 y 13 grados Celsius

En la figura 34, la curva fucsia representa la temperatura del interior del módulo, esta temperatura es medida con el sensor de temperatura DS18B20, que se encuentra ubicada al interior del módulo, si la temperatura es baja, la resistencias generaran calor, cuyas resistencias se encuentran en la base del interior de los módulos de conservación, la curva turquesa viene a ser la temperatura de referencia y la curva de color rojo representa la temperatura de los dispositivos que se encuentran en los módulos de vidrio respectivamente, que mediante una pequeña abertura circular puede medir tanto la temperatura de los dispositivos que se encuentran al interior y exterior del módulo, esta temperatura es medida por el sensor DHT22. Se puede apreciar que para un setpoint de 18 °C, luego de 6 minutos, alcanza a establecerse en la temperatura deseada o requerida, logrando mantener dicha temperatura de 18 grados Celsius con un error de +/- 0.2 grados Celsius.

Del mismo modo se realizó la solicitud para 13 grados Celsius como temperatura deseada, observando que después de 9 minutos se logró obtener la temperatura deseada, la misma que el controlador ESP32, logra mantener con un error de + 0.25 grados Celsius.

Tabla 6.

Pruebas realizadas en laboratorio

Características Pruebas	Primer prototipo (con modulo)	Segundo prototipo (con módulo e Interacción con GUI de LabVIEW)	Tercer prototipo (integrado en red wifi)
Pruebas realizadas en taller	10/100	50/100	90/100
Pruebas de comunicación sensor de temperatura- microcontroladores	10/100	40/100	80/100
Pruebas de comunicación microcontrolador – actuador de temperatura	20/100	55/100	90/100

Pruebas de comunicación microcontrolador- extracción e inyección de aire	30/100	75/100	75/100
Pruebas de control de temperatura	15/100	60/100	90/100
Prueba de interacción con GUIDE de LabVIEW	35/100	60/100	100/100

En la tabla N.º 6 podemos apreciar un resumen de las pruebas realizadas en laboratorio, se inició con un módulo, para indicar el desempeño en el transcurso de las pruebas que se realizaron, se observó como interactuaban los sensores, en la primera prueba no se obtuvo el funcionamiento óptimo de 100% si no se llegó al 10% debido a que al principio se estaba usando solo el sensor DHT22 para temperatura y humedad relativa, llegando a la conclusión de que se necesitaba otro sensor para la temperatura interna del módulo, debido a que donde está ubicado el sensor DHT22 está en contacto con los otros dispositivos como las resistencias de potencia que generan calor y afecta los valores obtenidos de temperatura y humedad relativa, en consecuencia se usa el sensor de temperatura DS18B20 para el interior del módulo, posteriormente se realiza la ubicación de los sensores y actuadores para realizar la evaluación con el microcontrolador, se pudo apreciar que los actuadores se activaban de acuerdo a lo establecido según los rangos de temperatura, y continuamos con la prueba para revisar la interacción con el GUI de LabVIEW, se pudo adquirir la información desde los módulos, llegando a un 35% de avance debido a que la información adquirida no era entendible gradualmente, se realizaron las mejoras en el diagrama de bloques, se observó que existen 2 bucles while; el bucle while interno, permite obtener información de nodo TCP/IP conectado, al salir de este bucle while no se estaba cerrando esta conexión por eso no se podía conectarse con el siguiente nodo de red, entonces para que se pueda cerrar se le dio una dirección IP diferente, logrando un avance de 75%, ajustado el panel frontal para que tenga un aspecto comprensible y amigable llegamos al 100% de la expectativa. entonces para la comunicación entre nodos y el software de visualización LabVIEW se configuró cada nodo o módulo como si fuera un nodo servidor que funcionan de manera independiente por lo que se implementó una red wifi debido al largo alcance que posee el ESP32, llegando a conseguir un avance paulatino,

esta red no era óptima porque hacía falta la configuración de las direcciones IP de la red como direcciones estáticas dentro del programa de control ESP32 así su módulo de wifi se mantiene con una IP fija llegando a un 100/100 tanto los sensores, los actuadores, la interacción con LabVIEW e integrar la red wifi.

4.2. FUNCIONAMIENTO DE PROTOTIPO EN MUSEO INKA

Se realizaron las pruebas de funcionamiento de los módulos de conservación en el museo Inka gracias al apoyo de los responsables, con su guía y los permisos correspondientes se pudo ingresar a los lugares donde la humedad afecta y deteriora en mayor magnitud a los retos culturales, uno de esos lugares es la biblioteca y la sala de huesos.

En las siguientes imágenes se podrá ver en que magnitud estos restos culturales están siendo afectados por no contar con un ambiente óptimo a pesar de mucho de los esfuerzos de los responsables del museo Inka.

Tanto en la biblioteca como en la sala de huesos se realizó las pruebas para validar el funcionamiento del prototipo electrónico de monitoreo y supervisión.



Figura 35. *Biblioteca del museo Inka.*



Figura 36. *Estado de algunos libros afectados por la humedad.*



Figura 37. *Estado de algunos libros afectados por la humedad.*

Según la tabla N.º 1, los estándares recomendados para niveles de temperatura y humedad relativa que tiene en cuenta los diferentes materiales del museo, se sabe que la temperatura para papel debe estar dentro del rango de 16 °C a 19 °C y de humedad relativa debe estar dentro del rango de 45% a 60%, entonces sabiendo esto se dio comienzo a realizar las pruebas en la biblioteca del museo Inka.

Se dio inicio con la prueba de control de temperatura y monitoreo de humedad relativa en la biblioteca del museo Inka con un setpoint de 17 °C, con un setpoint de 16 °C y con un setpoint de 19 °C como se puede apreciar a lado izquierdo de la imagen con letras de color verde y hacer un clic en la flecha donde dice cargar para poder poner los valores referenciales según corresponda según la referencia de la tabla N.º 1.

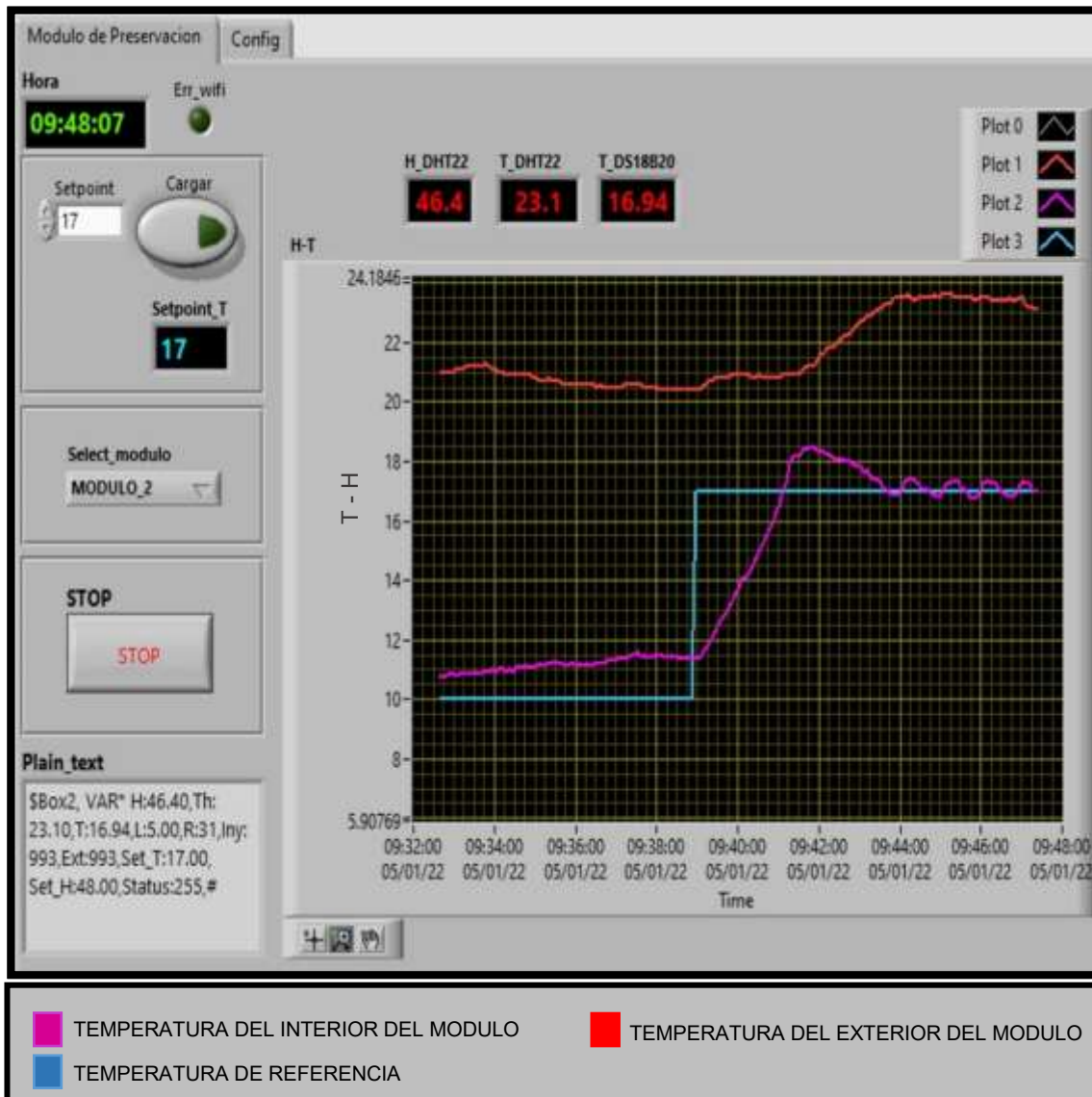


Figura 38. Prueba de control de temperatura y monitoreo, humedad relativa en la biblioteca del museo Inka con setpoint 17 °C.



Figura 39. Prueba de control de temperatura y monitoreo, de humedad relativa en la biblioteca del museo Inka con setpoint 16 °C.

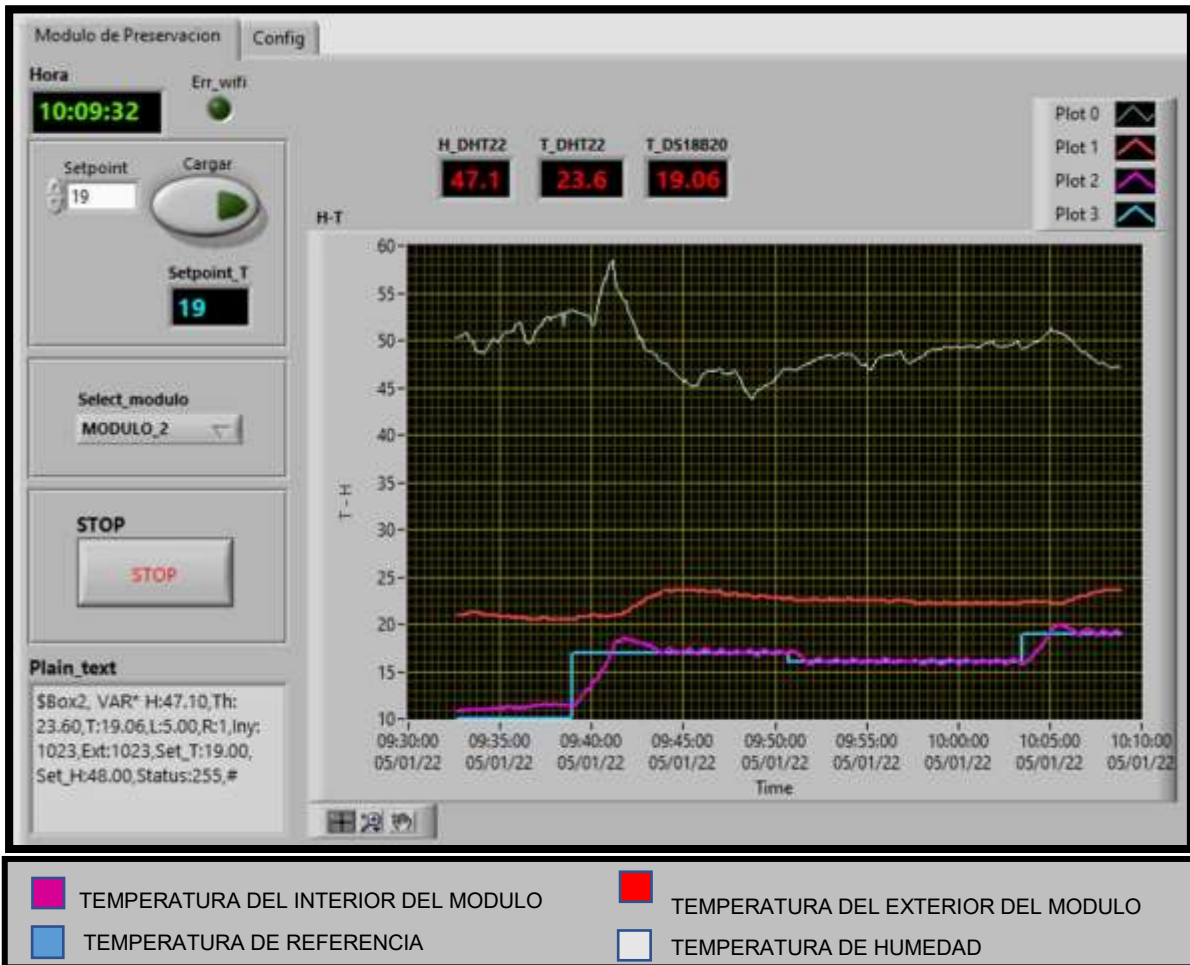


Figura 40. Prueba de control de temperatura y monitoreo, de humedad relativa en la biblioteca del museo Inka con setpoint 19 °C.

Detalle de setpoint de temperatura para 16, 17 y 19 grados Celsius

En las figuras 38, 39 y 40 se puede apreciar que se hizo las pruebas con el rango de valores estándares según la tabla N.º1 en este caso en un texto de papel del año 1812.

En la figura 38 se aprecia el setpoint en una temperatura de 17 °C, donde se observa que la temperatura aumenta y se establece después de 5 minutos, lo cual se puede apreciar en la curva de color fucsia, teniendo en cuenta la curva de color turquesa que muestra la temperatura de referencia y también la curva de color roja que simboliza la temperatura exterior, se nota que al igual que la curva de color fucsia aumenta sus valores también la curva

de color rojo aumenta sus valores, debido a que los dispositivos que componen el circuito se calientan.

En la figura 39 se puede apreciar, la curva de color fucsia que representa la temperatura, la curva de color turquesa simboliza la temperatura de referencia y la curva de color roja muestra la temperatura exterior y la curva de color blanco representa la humedad, primero el setpoint está en 17 °C y al cabo de 9 minutos se cambia el setpoint a 16 °C, luego de 1 minuto, alcanza a establecerse en la temperatura deseada o requerida, logrando mantener dicha temperatura con un error de +/- 0.2 grados Celsius, también podemos apreciar la curva blanca de humedad la cual muestra que cuando la temperatura baja la humedad aumenta.

Del mismo modo se realizó la solicitud para 19 °C como temperatura deseada, observando que después de 7 minutos se logró obtener la temperatura deseada, la misma que el controlador ESP32, logra mantener con un error de + 0.25 grados Celsius.

Al término de las pruebas realizadas en la biblioteca se pasó a desarrollar las pruebas en la sala de huesos, con las medidas prudentes debido a que es un lugar sumamente protegido y, por otra parte, que se requieren cumplir con protocolos para salvaguardar la salud física, mental y espiritual de las personas que ingresan a dicho lugar. En referencia a la tabla N.º 1 de la presente tesis, los valores recomendados de temperatura y humedad relativa para huesos, la temperatura debe ser 18 °C en la cual las fluctuaciones no deben superar 2 °C del nivel fijado y de humedad relativa está dentro del rango de 50% a 60% cuyas fluctuaciones no deben superar 2% del nivel fijado dentro del rango. Teniendo en cuenta esta referencia se realizó las pruebas, llegando a obtener las siguientes imágenes.



Figura 41. *Validación del funcionamiento del sistema para la conservación de huesos.*



Figura 42. *Prueba Validación del funcionamiento del sistema para la conservación de huesos en diferentes setpoint.*

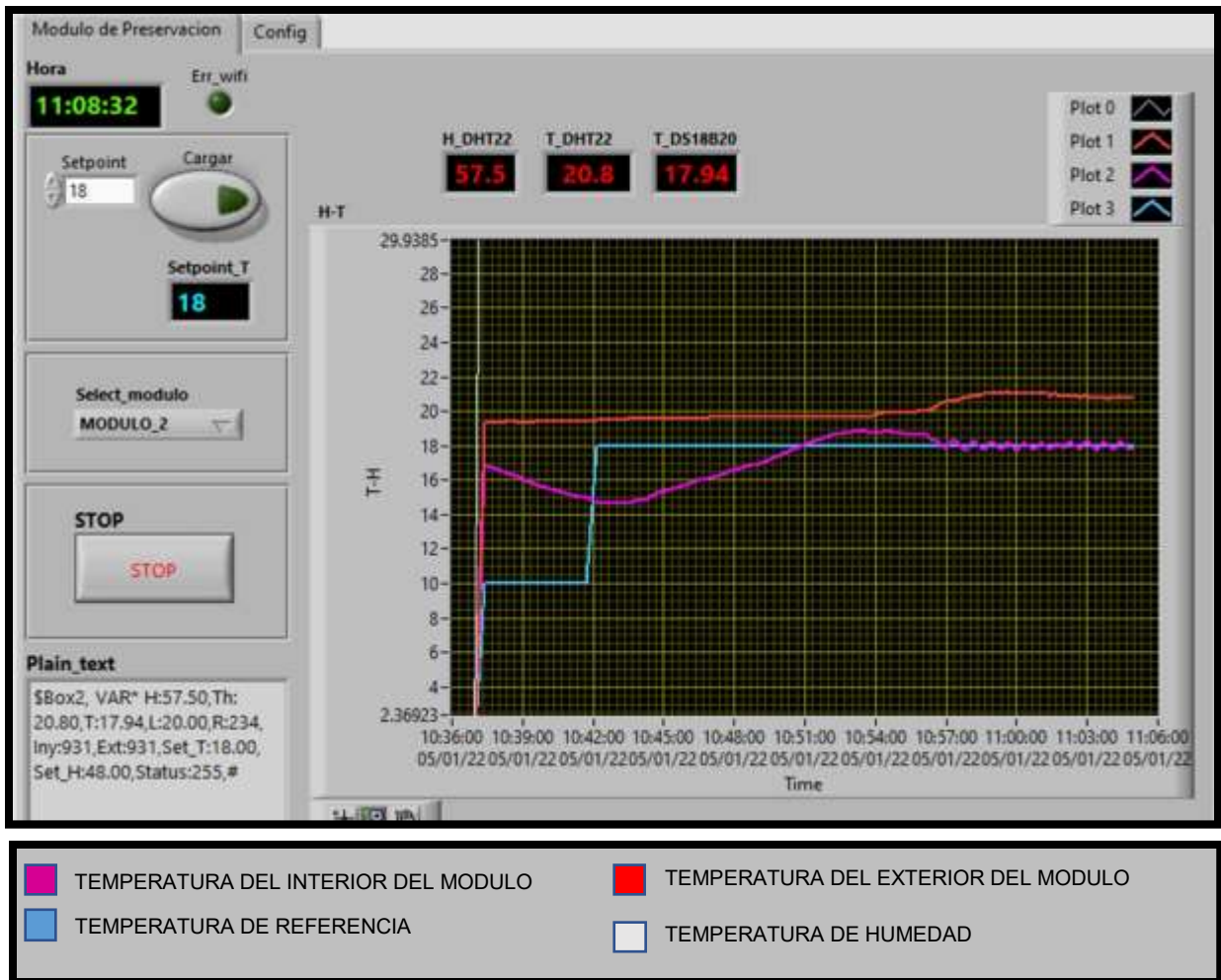


Figura 43. Prueba del control de temperatura y monitoreo de humedad relativa de la sala de huesos del museo Inka con setpoint de 18 °C.

Detalle de setpoint de temperatura para 18 grados Celsius

En la figura 43, se puede apreciar que se hizo las pruebas con el rango de valores estándares según la tabla N.º 1 en el caso de huesos, como ya se había mencionado, se cambió el valor del setpoint, se aumenta la temperatura a 18 °C, siendo representada por la curva de color fucsia en la cual también podemos apreciar que 15 minutos después se establece y llega a la temperatura deseada, debido a que la temperatura aumenta paulatinamente, teniendo en cuenta la curva de color turquesa que muestra la temperatura de referencia con un error de +/- 0.2 grados Celsius y también la curva de color rojo que muestra

la temperatura exterior y al evaluar la gráfica se puede apreciar que la curva de color fucsia muestra como los valores de temperatura aumentan al igual que los valores de la temperatura exterior mostrado en la curva de color rojo, debido a que los dispositivos que componen el circuito se calientan y la curva de color blanco simboliza la humedad la cual muestra que cuando la temperatura aumenta la humedad baja.

Tabla 7.

Pruebas realizadas en museo Inka

Pruebas	Características	Prototipo Final
Pruebas realizadas en el museo Inka		40/100
Pruebas de comunicación de sensores -microcontrolador		97/100
Pruebas de comunicación microcontrolador – actuador de temperatura		97/100
Pruebas de comunicación con el microcontrolador- extracción e inyección de aire		100/100
Pruebas de control de temperatura		100/100

En la tabla N° 7 se puede observar en síntesis las pruebas realizadas en el museo Inka, para realizar estas pruebas se tuvo que llevar los 02 módulos de conservación al museo Inka para poder ubicarlos dentro de las áreas donde las autoridades del museo Inka dieron consentimiento, fue por ello que, nuestra primera prueba se tuvo un indicador de desempeño de 40/100, como se pudo apreciar que ningún dispositivo se movió del lugar que está ocupando dentro y fuera de la caja de vidrio y cada dispositivo conservo su funcionamiento, entonces, es un sistema compacto el cual se puede transportar; al tener ya ubicados los módulos de conservación dentro del museo Inka pasamos a realizar las pruebas de comunicación del sensor de temperatura, sensor de humedad y el sensor de luz con el microcontrolador, llegando a un indicador de desempeño de 97/100, debido a que, se percibe

la temperatura y humedad relativa con el sensor DHT22, una de las características es de obtener valores cada 2 segundos, pero al realizar el requerimiento de adquisición de datos al microcontrolador ESP32 se hace cada 5 segundos, se dio este tiempo prudente, para que los valores de temperatura lleguen a establecerse, estos datos requeridos se reúnen y envía a través del protocolo TCP/IP, esta información requerida se visualiza en un plano X-Y.

Sabemos que el ESP32 encienda los leds de los optoacopladores, e indirectamente excite la base de los transistores de los 4N33, por lo cual un "1" lógico aparecerá en la base de los transistores TIP120, permitiendo actuar sobre las resistencias cuyos valores son de 12 Ohmios a 12W, debo recalcar que la activación de estas resistencias se realizan mediante señal PWM en rampa, para lograr una actuación suave, estas resistencias se colocan en paralelo, buscando disminuir el tiempo que demora en producir calor, lo cual se pudo apreciar en las pruebas, por ello el indicador de desempeño es de 97/100.

Se logro obtener un indicador de desempeño de 100/100 al comunicar el microcontrolador ESP32 con el inyector o extractor de aire del interior del módulo, porque se ha utilizado un driver de motor L298, de manera que mediante el control de sus entradas 1 al 4 permitan el encendido y apagado del inyector y extractor de aire y las entradas ENABLE A y B se logra regular en forma suave la velocidad de estos actuadores, esto último, mediante 2 señales PWM en dichas entradas, logrando así regular un encendido y apagado suave.

Las pruebas realizadas de control de temperatura tiene un indicador de desempeño de 100/100, debido a que a pesar de él margen de error del sensor DHT22 de 2°C que pueda llegar a tener, en las diferentes pruebas realizadas, el microcontrolador ESP32, activo los actuadores respectivamente según la necesidad, para los módulos de conservación de los bienes culturales, manteniendo así, la temperatura de referencia.

De la tabla 7, mediante las pruebas realizadas, se concluye que la confiabilidad del prototipo es del 97 %

CAPITULO 5: ANALISIS DE COSTO

5.1. RECURSOS HUMANOS

Los valores asumidos para el costo de horas hombre (H.H) considerados es de 20 soles debido a que se tiene en cuenta que es un recién egresado de la escuela universitaria.

Tabla 8.

Valores asumidos

Actividad	Costo H.H	Cantidad H.H	Total, s/
Pruebas realizadas en el Museo Inka	20 S/.	5	75 S/.
Programación para el microcontrolador	20 S/.	105	2100 S/.
Programación LabVIEW	20 S/.	76	1520 S/.
Diseño e ingeniería	20 S/.	87	1740 S/.
Desarrollo de interfaz de monitoreo	20 S/.	107	2140 S/.
Total			7575 S/.

5.2. RECURSOS MATERIALES

Los valores que se analizarán serán los costos de los materiales y los costos de la implementación para poder así obtener un costo total, a continuación, se muestra la lista de materiales necesarios para el desarrollo de este prototipo, para 2 unidades o 2 módulos de preservación de objetos ancestrales.

Tabla 9.

Relación de insumos y componentes electrónicos

MATERIALES					
Ítem	Código	Descripción	Cantidad	P.U	Total
1	ESP32	CPU de doble núcleo Tensilica Xtensa LX6+BLE +Wifi INTEGRADO	3	60 S/.	180 S/.
2	DHT22	Sensor de Humedad (SHT31)	2	25.9 S/.	51.8 S/.
3	DS18B20	Sensor de temperatura	2	14 S/.	28 S/.
4	BH1750	Sensor de Luz Ambiental	2	15 S/.	30 S/.
5		Resistencia de Potencia 10W, 1 ohm	8	1.5 S/.	12 S/.
6		Resistencias, condensadores, reguladores, componentes electrónicos, cables, termotractil y otros.	2	20 S/.	40 S/.
7		Prototipado y ensamble	2	65 S/.	130 S/.
8		Coolers 8x8	4	10 S/.	40 S/.
9		Driver Motor L298	2	15 S/.	30 S/.
10		Placa de aluminio, medidas: 60x40 cm2	1	12 S/.	12 S/.
11		Pegamento (silicón +pistola)	1	20 S/.	20 S/.
12		Caja de vidrio a medida con agujero +patas 60x40x25 cm	2	125.5 S/.	251 S/.
13		Fuente de alimentación 12V/5A	2	60 S/.	120 S/.
14		Baterías CR2032	1	3 S/.	3 S/.
15		Celda Peltier	1	120 S/.	120 S/.
16		Costo de envío delESP32	1	15 S/.	15 S/.
17		Switch / router TPLINK	1	140 S/.	140 S/.
TOTAL					1222.8 S/.

COSTOS DE IMPLEMENTACION

Tabla 10.

Costo de montaje para los 02 módulos de conservación.

Actividad	Costo unitario	Costo total
Montaje de los sensores	50 S/.	100 S/
Montaje de actuadores	60 S/.	120 S/
Total	110 S/.	220 S/

Nota: La tabla muestra el costo de la mano de obra para el armado del prototipo

5.3. ANÁLISIS DE BENEFICIOS

5.3.1. Beneficios tangibles

Este proyecto monitoriza y supervisa de manera continua la temperatura y humedad relativa para la conservación preventiva del Museo Inka, mejorando la protección de las colecciones que poseen historia, cultura, valor monetario y logrando resguardarlas para generaciones futuras.

Este monitoreo y supervisión electrónica para la temperatura y humedad relativa se puede tener de referencia para los museos que deseen tener la misma o mejor implementación en nuestra región. Por ello la utilidad se considera 20%.

Descripción	Costo en soles
Precio total	9017.8 S/.
Utilidad (20%)	1803.56 S/.
Total	10,821.36 S/.

Se considera el costo total de la tesis, considerando todos los puntos que se consideraron para su elaboración.

CONCLUSIONES

- Se ha logrado diseñar el sistema de monitoreo y supervisión electrónica de temperatura y humedad relativa cuyos valores se encuentran dentro de los rangos especificados para los bienes culturales del museo Inka. Este diseño se ha realizado considerando la lógica ON/OFF, el microcontrolador ESP32 debido a que tiene dos CPU y wifi, sensores digitales por ser menos susceptibles a presentar errores al obtener los valores de la temperatura medida los cuales serán monitorizados constantemente mediante la interfaz gráfica de usuario LabVIEW.
- El prototipo electrónico está diseñado para la conservación preventiva de los bienes culturales del museo Inka, con un sistema de control en lazo cerrado con la lógica de control ON/OFF, este control realiza la comparación de los valores obtenidos por el sensor de temperatura DS18B20 con los valores de temperatura de referencia según los rangos especificados para, los bienes culturales, de acuerdo a este valor, el controlador enviara una señal de control para el actuador que se esté necesitando activar.
- Se ha logrado implementar a nivel de prototipo electrónico de manera eficaz y compacta aplicada a la conservación preventiva dentro de los rangos especificados para los bienes culturales del museo Inka con una confiabilidad al 97%, porque al realizar las distintas pruebas se puede apreciar que de cada 100 pruebas 03 de ellas fallaban, ya sea con el sensado o la comunicación entre el microcontrolador y el servidor.
- Se ha logrado el acondicionamiento y adquisición satisfactoria de variación de temperatura y humedad relativa utilizando sensores digitales de temperatura, sensor DS18B20 y el DTH22 de humedad relativa, los cuales fueron elegidos entre otros que presentaban características técnicas similares teniendo presente su propósito de uso, pero los que se han mencionado se ajustan más a las necesidades de la implementación para que sea eficiente, así como se consiguió el manejo de los actuadores, para aumentar la temperatura se hizo uso de las resistencias de potencia de y para disminuir la temperatura se usó un inyector/ extractor de aire variando la velocidad de giro, para cada patrimonio cultural que se desea preservar dentro de los rangos de temperatura en consecuencia la humedad relativa se establecerá dentro de los rangos recomendados todo ello será a través de la modulación PWM.

- Para facilitar el monitoreo y la supervisión de temperatura y humedad relativa en los módulos de conservación se logró diseñar e implementar una interfaz gráfica de usuario mediante la LabVIEW. Esta interfaz permite adquirir la información desde los módulos de conservación y visualización de forma entendible e interactiva.
- Se ha logrado validar el sistema de monitoreo y supervisión electrónica a nivel de prototipo en el museo Inka utilizando libros antiguos y huesos humanos, se pudo observar el buen funcionamiento, manteniendo en niveles óptimos los valores de temperatura y humedad relativa destacando la buena comunicación entre el microcontrolador y el servidor lo cual permitió el correcto registro de los valores sensados en los módulos de preservación, cabe resaltar que se debe esperar un tiempo prudente para que la temperatura actual pueda estabilizarse y tomar los valores según la temperatura de referencia puede pasar entre 5 a 15 min dependiendo si la temperatura actual debe aumentar o disminuir, por la tanto se puede observar que se supervisa y monitorea la temperatura en consecuencia también la humedad relativa debido a que la temperatura es inversamente proporcional a la humedad de esa manera se logró manipular la humedad relativa dentro del rango de valores brindadas en la tabla N.º 1. Durante las pruebas realizadas, el monitoreo y supervisión tuvieron una confiabilidad del 97% y se aprecia que es un costo accesible.

RECOMENDACIONES

- Cada módulo de conservación de objetos, permite reconfigurar la temperatura y de acuerdo a lo planteado, la humedad varía en forma inversamente proporcional, por lo que podría utilizarse en un rango de temperaturas desde los 9 a 26 grados Celsius.
- Pueden ser conservados cualquier tipo de objeto, siempre y cuando se seleccione el módulo de preservación, de acuerdo al tipo de material a resguardar. Si son objetos que desean preservarse a temperaturas mayores a 15 grados, se puede optar por un módulo sin celda Peltier, y en caso se requiera preservar objetos que requieran temperaturas menores a 15 grados Celsius, se puede utilizar un módulo de preservación con Celda Peltier.
- Es posible mejorar el control de las temperaturas bajas (5°C - 9°C), mediante la implementación en cascada de una celda Peltier adicional.
- En caso se tenga el sistema de regulación de luz para cada módulo de preservación, dentro del museo, este elemento de regulación de luz podría agregar temperatura al interior del módulo de preservación en forma significativa. Por lo tanto, una mejora del mismo, podría ser agregar este sistema de iluminación de forma controlada, como una mejora futura.
- Se recomienda realizar más pruebas del funcionamiento con los diversos materiales resguardados por el museo Inka, cerámicas, fotografías, textiles metales etc.; cumpliendo los parámetros establecidos

BIBLIOGRAFÍA

- Garcia Fernandez, I. (2013). *La Conservacion Preventiva de Bienes Culturales* . Madrid: Alianza Editorial,.
- "PROMOTEC". (2021). *PROMOTEC*. Obtenido de <https://www.promotec.net/instalando-esp32/>
- Alarcón Mellado, L. H. (2009). *Diseño, Implementacion y Optimizacion de un Monitor Inalambrico en un Invernadero. Tesis de pre grado Universidad Austral de Chile, Valdivia.*
- Angulo Usategui , J. M., & Angulo Martinez, I. (2003). *Microcontroladores "PIC"*. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA,S.A.U.
- Cambroner Piqueras, Maria Emilia(2017) Modelado y Analisis Formal del Protocolo de Comunicación de Sensores One Wire [Conferencia] Conferencia de Postgrado 2017, Escuela Superior de Ingenieria Informatica de Albacete-Universidad de Castilla-La Mancha.Obtenido de: <https://informatica.ucm.es/conferencias-de-posgrado>
- Carrasco, D. (2021). *ELECTRONICA, ARDUINO, SOFTWARE Y CLOUD*. Obtenido de <https://www.electrosoftcloud.com/esp32-configuracion-y-primeros-pasos/>
- Consejo Internacional de Museos ICOM. (2019). *"Consejo Internacional de Museos ICOM"*. Obtenido de <https://icom.museum/es/news/el-icom-anuncia-la-definicion-alternativa-del-museo-que-se-sometera-a-votacion/>
- Espressif Systems. (2021). *Espressif Systems*. Obtenido de https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- Garcia Morales , M. (2017). Estado de Conservacion de las Colecciones Museisticas. En M. Garcia Morales, *La Conservacion Preventiva en los Museos* (pág. 7). Organismo Autonomo de Museos yCentros.
- Gomar, J. (2018). *PROFESIONAL review*. Obtenido de <https://www.profesionalreview.com/2018/10/16/que-celula-peltier/>

Instituto Nacional de Educacion Tecnologica (inet) . (2016). *Instituto Nacional de Educacion Tecnologica (inet)* . Obtenido de http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/10/289-16_01.pdf

Maxim Integrated. (2019). DS18B20 - Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. *maxim integrated*.

MENDUNI, G. (2013).

NAYLAMP MECHATRONICS. (2021). *NAYLAMP MECHATRONICS*. Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/>

Núñez Lozano, D. A., & Paez Castros, J. A. (2018). *IEEE Transactions on Magnetics*. Obtenido de <http://ingenierovizcaino.com/ecci/aut1/corte1/articulos/Actuadores.pdf>

Pestana Leao de Brito, L. M., Rodriguez Peralta, L. M., Sousa Santos, F. E., & Ramos Fernandez, R. (2008). *IEEEExplore*. Obtenido de IEEEExplore: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4591316/authors>

Robótica, Automatización, control industrial, microcontroladores, electrónica digital. (2019). *Arduino, Diseños, Electrónica, Hardware, Robots* . Obtenido de Robots Didácticos: <https://robots-argentina.com.ar/didactica/descripcion-y-funcionamiento-del-bus-i2c/>

ROHM CO., L. (2011). BH1750FVI : Sensor ICs. *Technical Note*. Obtenido de <https://www.mouser.com/datasheet/2/348/bh1750fvi-e-186247.pdf>

Unit Electronics. (2021). *Unit Electronics*. Obtenido de <https://uelectronics.com/producto/eesp32-wroom-32-smd-dual-core-32bits-4-mb/>

Ward, P. (2010). La conservacion del patrimonio:carrera contra reloj. En P. Ward, *La conservacion del patrimonio:carrera contra reloj* (pág. 20). Buenos Aires: The Getty Conservation.

ANEXOS.

ANEXO 1: CODIGO DE PROGRAMA DEL ESP32

```
// VERSION OK CON una CELDA PELTIER Y UN EXTRACTOR
// Server TCP/IP ESP32
// Maydelim Ortiz de Orue
// Tesis:
//Comandos TCP/IP cliente:
//a: Informacion del Servidor - tipo Texto
//b: Sensor DHT22: Humedad + Temperatura del recinto(caja) - onewire(input)
//c: Sensor de Temperatura DS1820 - onewire (input)
//d: Sensor de Luz BH1750: Lux - I2C (input)
//e: Resitencia (output)
//f: Extractor de aire (output)
//g: Voltaje (input) ADC

#include <Arduino.h>
#include "DHT.h"
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Wire.h> //libreria para control del periferico I2C
#include <BH1750.h> //Libreria para control del Sensor de luz
#include <Wifi.h>

TaskHandle_t Task2; //Variable global para asignar "Task2" al otro procesador(cero)
del ESP32

//---- Declaracion para el sensor DHT22 -----
#define DHTPIN 32 // Pin_D32 donde está conectado el sensor DHT22
#define DHTTYPE DHT22 // Se declar el Sensor DHT22
```



```
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

```
//----- Declaracion para el Puerto de red ESP32 -----#  
#define SERVER_PORT 8000 //Port 8000 NodeMCU LabVIEW  
const char* ssid = "MAYDELIM_2021"; //Wifi NodeMCU Login  
const char* password = "MAYDELIM2021"; //Password Wifi NodeMCU Login  
//const char* password = "chess1234"; //Password Wifi NodeMCU Login  
WifiServer server(SERVER_PORT); //objectserver port 8000.
```

```
//const char* host = "example.com";  
//const char* url = "/index.html";
```

```
IPAddress local_IP(192, 168, 1, 12); //-----#*****
```

cambiar

```
IPAddress gateway(192, 168, 1, 1);  
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0);  
IPAddress primaryDNS(8, 8, 8, 8); //optional  
IPAddress secondaryDNS(8, 8, 4, 4); //optional  
//-----#
```

```
//Asignacion de PINES de Entrada/Salida:
```

```
//const int ADC2_CH0 = 4; //GPIO D4 Input  
//const int ADC2_CH2 = 2; //GPIO D2 Input
```

```
//const int H = 32; //GPIO D32 "Humedad"  
//const int T = 33; //GPIO D33 "Temperatura"  
//I2C: LUZ
```

```
//const int R_Ctrol = 12; //GPIO D12 "Resistencia de Potencia"  
//const int Ext_Ctrol = 13; //GPIO D13 "Extractor de aire"
```

```

//Declaracion de Variables:
int i;          //for voltage A0 0-1023
float v;        //voltage 0V-3.3V
float Humedad;  //DHT22 en %
float T_DHT22;  //DHT22 en grados Celcius
float T_dhtKelvin; //DHT22 en grados Kelvin
float Temperatura; //DS18B20
float lux;      //BH1750
//float Resistencia; //Resistencia que calienta 1ohm/10W,12V
//int PWM_R=0;
int Estado=0xFF;
char flag_T=0;

char k=0;
char Buff_data[40];

//-----Declaracion para el Sensor Ds18B20 -----
const int pinDatosDQ = 33; //Pin: D33, donde se conecta el bus 1-Wire DS18B20
// Instancia a las clases OneWire y DallasTemperature
OneWire oneWireObjeto(pinDatosDQ);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);

//-----Declaracion para el Sensor de luz BH1750 -----
BH1750 lightMeter(0x23);

//*****
unsigned int cont=0;
unsigned int cont2=0;
unsigned int cont3=0;
unsigned int cont4=0;
//----- Declaracion para el DRIVER L298 -----
// Motor A

```

```

const int IN1 = 18;
const int IN2 = 5; //CONTROL ON/OFF DEL INYECTOR
const int ENA = 19; // GPIO19 PWM DEL INYECTOR DE AIRE

// Motor B
const int IN3 = 4;
const int IN4 = 23; //CONTROL ON/OFF DEL EXTRATOR
const int ENB = 15; // GPIO15 PWM DEL EXTRACTOR DE AIRE

//RESISTENCIA DER
const int R = 13; //GPIO D13 "GPIO DE LA Resistencia de Potencia DERECHA"
//---
//RESISTENCIA IZQ
const int R2 = 12; //GPIO D12 "GPIO DE LA Resistencia de Potencia IZQUIERDA"

//Celda Peltier
const int PELTIER = 26; //GPIO D26 "GPIO DE LA CELDA PELTIER"
//-----

// Setting PWM properties
const int freq = 40000; //25000Hz para el otro Cooler de Walter
const int pwmChannel = 0;
const int pwmChannel_2 = 1;
const int pwmChannel_3 = 2;
const int pwmChannel_4 = 3;
const int resolution = 10;
const int freq3 = 100; //Frecuencia para la Resistencia

//int dutyCycle = 160; //test a 175
int dutyCycle_Iny = 940; //Inyector de aire
int dutyCycle_Ext = 945; //extractor de aire
int dutyCycle_R = 250; //Resistencia que calienta 12ohm/10W,12V

```

```

int dutyCycle_R2 = 250;      //Resistencia que calienta 12ohm/10W,12V

float Setpoint_T = 10;
float Setpoint_H = 48;

//*****

void setup(){
  xTaskCreatePinnedToCore(
    loop2,      // label declarado con el nombre del bucle2 para que ejecute el "Core
0"
    "Sensor_Ctrol", //Label para humanos
    2048,      // This stack size can be checked & adjusted by reading the Stack
Highwater
    NULL,
    1,      //Priority, with 3 (configMAX_PRIORITIES - 1) being the highest, and 0 being
the lowest.
    &Task2, //Asigna a la Tarea declarada lineas arriba
    0);     //Core 0 (cero)

// sets the pins as outputs:
pinMode(PELTIER, OUTPUT);
pinMode(R, OUTPUT);
pinMode(R2, OUTPUT);

pinMode(IN1, OUTPUT);
pinMode(IN2, OUTPUT);
pinMode(ENA, OUTPUT);

pinMode(IN3, OUTPUT);
pinMode(IN4, OUTPUT);
pinMode(ENB, OUTPUT);
// configure LED PWM functionalites

```

```

ledcSetup(pwmChannel, freq, resolution); //Motor A inyector
ledcSetup(pwmChannel_2, freq, resolution); //Motor B Extractor
ledcSetup(pwmChannel_3, freq3, resolution); //Resistencia der
ledcSetup(pwmChannel_4, freq3, resolution); //Resistencia izq

// attach the channel to the GPIO to be controlled
ledcAttachPin(ENA, pwmChannel);
ledcAttachPin(ENB, pwmChannel_2);
ledcAttachPin(R, pwmChannel_3);
ledcAttachPin(R2, pwmChannel_4);

pinMode(2, OUTPUT);      //LED de Estado del ESP32 (PIN D2)
Serial.begin(115200);    //Baud Rate. Serial Communication
Serial.println("");
Serial.println("");

dht.begin();           //Inicializa DHT22
Serial.println("DHT22 inicializado...");

sensorDS18B20.begin(); //Inicializa DS18B20
Serial.println("DS18B20 inicializado...");

// Initialize the I2C bus (BH1750 library doesn't do this automatically)
Wire.begin();          // On esp8266 you can select SCL and SDA pins using
Wire.begin(D4, D3);

lightMeter.begin();    // begin returns a boolean that can be used to detect setup
problems.
if (lightMeter.begin()){
  Serial.println(F("BH1750 Advanced begin"));
}
else{
  Serial.println(F("Error initialising BH1750"));
}

```

```

}

//INICIALIZACION DEL WIFI DEL ESP32 -----
if (!Wifi.config(local_IP, gateway, subnet, primaryDNS, secondaryDNS)) {
  Serial.println("STA Failed to configure");
}
Serial.print("Connecting to ");
Serial.println(ssid);

Wifi.begin(ssid, password); //Login Wifi password
while (Wifi.status() != WL_CONNECTED) { //Login Serial Monitor -> Login
  delay(500);
  Serial.print(".");
}

Serial.println("");
Serial.println("Wifi Successfully Connected"); //Login Wifi
Serial.print("NodeMCU IP address: ");
Serial.println(Wifi.localIP()); //IP NodeMCU Wifi Router
Serial.print("ESP Mac Address: ");
Serial.println(Wifi.macAddress());
Serial.print("Subnet Mask: ");
Serial.println(Wifi.subnetMask());
Serial.print("Gateway IP: ");
Serial.println(Wifi.gatewayIP());
Serial.print("DNS: ");
Serial.println(Wifi.dnsIP());

server.begin(); //TCP NodeMCU Server LabVIEWClient
Serial.println("NodeMCU as a Server Role Started");//
for(i=0;i<25;i++){ //NodeMCU Computer
  digitalWrite(2,HIGH);
}

```

```

    delay(40);
    digitalWrite(2,LOW);
    delay(40);
  }
}

void loop(){ //NUCLEO 1 (UNO)
  WifiClient client = server.available(); //LabVIEWClient NodeMCU
  if(client){ //LabVIEWClient if
    Serial.println("Hi...New Client"); //Client Serial Communication
    for(i=0;i<2;i++){ //LED NodeMCU 3 NodeMCU Computer
      digitalWrite(2,HIGH);
      delay(50);
      digitalWrite(2,LOW);
      delay(50);
    }
    while(1){
      delay(10);
      if(client.available()){ //LabVIEWLoop
        Serial.println("En núcleo -> " + String(xPortGetCoreID()));
        digitalWrite(2,HIGH); //LED azul ON NodeMCU

        char dato =client.read(); //lee data recibida
        Buff_data[k]=dato;
        k++;
        if(dato==0x0D){
          if(Buff_data[k-4]=='T'){ //----- Comando: T17/n, H25/n
            Setpoint_T = (10*(0x0F&Buff_data[k-3])) + (0x0F&Buff_data[k-2]);
            Serial.print(",Set_T:");
            Serial.println(Setpoint_T);
            // client.println(Setpoint_T); //Setpoint_T
          }
        }
      }
    }
  }
}

```

```

if(Buff_data[k-4]=='H'){ // ----- Comando: T17/n, H25/n
    Setpoint_H = (10*(0x0F&Buff_data[k-3])) + (0x0F&Buff_data[k-2]);
    Serial.print(",Set_H:");
    Serial.println(Setpoint_H);
// client.println(Setpoint_H); //Setpoint_H
}
k=0;
}

if(k>20){
    k=0;
}

if((dato=='a')||(dato=='b')||(dato=='c')||(dato=='d')){
//    Serial.write(dato); //Serial Communication
switch (dato){ //data
    case 'a': // data='a' LabVIEWcase
        Serial.println("Box de Preservacion 1");
        client.print("$Box2, VAR* ");
        client.print("H:");
        client.print(Humedad);
        client.print(",Th:");
        client.print(T_DHT22);
        client.print(",T:");
        client.print(Temperatura);
        client.print(",L:");
        client.print(lux);
        client.print(",R:");
        client.print(dutyCycle_R); //Resistencia
        client.print(",Iny:");
        client.print(dutyCycle_Iny); //Inyector PWM
        client.print(",Ext:");

```



```

        client.print(dutyCycle_Ext);    //Extractor PWM
        client.print(",Set_T:");
        client.print(Setpoint_T);    //Setpoint_T
        client.print(",Set_H:");
        client.print(Setpoint_H);    //Setpoint_H
        client.print(",Status:");
        client.print(Estado);
        client.println("#");
    break;
case 'b':    // data='b' NodeMCU Humedad LabVIEW
    //Humedad = 45;
    Serial.println(Humedad);
    client.println(Humedad);
    break;
case 'c':    // data='c' NodeMCU Temperatura DS18B20 LabVIEW
    Serial.println(Temperatura);
    client.println(Temperatura);
    break;
case 'd':    // data='d' NodeMCU Luz LabVIEW
//Actualizar data PWM/setpoint
    dutyCycle_R = 0;
    Serial.print("% PWM de la Resistencia: ");
    Serial.println(dutyCycle_R);
    client.println(dutyCycle_R);
    break;
case 'e':    // data='c' NodeMCU Voltage A0 LabVIEW
//
    i=analogRead(ADC2_CH0);
    v=(i*3.3)/1023;
    Serial.println(v);
    client.println(v);
    break;
default:

```

```

        client.print("$Box2, VAR* nothing ");
        break;
    }
    digitalWrite(2,LOW); //LED azul OFF NodeMCU
    k=0;           //Index del Buff_data[]. Puntero en la posicion Zero.
    }
    }
    if(server.hasClient()){ //LabVIEWClient
        return;           //Client
    }
    }
    }
}

```

```

void loop2(void *parameter){           //NUCLEO 0 (CERO)
    while(1){
        //----- Lectura del DHT22 ----- Ts= cada 2 seg.
        if(cont > 200){ //10ms * 200 = 2000ms
            // Serial.println("En núcleo -> " + String(xPortGetCoreID()));
            float h_temp = Humedad; //Salvamos la lectura anterior del Sensor
            float t_temp = T_DHT22; //Salvamos Temperatura anterior del sensor

            Humedad = dht.readHumidity(); //Leemos la Humedad
            T_DHT22 = dht.readTemperature(); //Leemos la temperatura en grados Celsius

            // delay(20);
            // T_dhtKelvin = dht.readTemperature(true); //Leemos la temperatura en grados
            Fahrenheit

            if(isnan(Humedad)){
                Serial.println("Failed to read from DHT H_sensor!");
                Humedad = h_temp; //Recuperamos la lectura anterior del Sensor
            }
        }
    }
}

```

```

}
if(isnan(T_DHT22)){
  Serial.println("Failed to read from DHT T_sensor!");
  T_DHT22 = t_temp; //Recuperamos la Temperatura anterior del sensor
}
Serial.println(Humedad);
Serial.println(T_DHT22);
//----- Enviamos las lecturas por el puerto serial -----
/*  Serial.print("Humedad: ");
    Serial.print(Humedad);
    Serial.print(" %");
    Serial.print("Temperatura: ");
    Serial.print(T_DHT22);
    Serial.println(" °C ");
*/
cont=0; //Reiniciamos contador

}

//----- Lectura del DS18B20 ----- Ts=10 S/s
if(cont2 > 20){ //10ms * 10 = 100ms
  sensorDS18B20.requestTemperatures(); //Solicita temperatura del sensor
  Temperatura = sensorDS18B20.getTempCByIndex(0);
/*
  Serial.print("Temperatura DS18B20: ");
  Serial.print(sensorDS18B20.getTempCByIndex(0));
  Serial.println(" *C");
*/
cont2=0; //Reiniciamos contador

//----- Ctrol de Temperatura -----
//imaginemos Setpoint = 20 °C

```

```

if(Temperatura < Setpoint_T){
    digitalWrite(PELTIER,LOW); //BAJAR HUMEDAD Peltier OFF
    dutyCycle_R++;
    if(dutyCycle_R>1023){
        dutyCycle_R=1023;
    }
    dutyCycle_Iny--;
    dutyCycle_Ext--;
    if(dutyCycle_Iny < 930){
        dutyCycle_Iny=931;
        digitalWrite(IN1, LOW);
        digitalWrite(IN2, LOW); //mOTOR A "OFF" INYECTOR DE AIRE
    }
    if(dutyCycle_Ext < 930){
        dutyCycle_Ext=931;
        digitalWrite(IN3, LOW);
        digitalWrite(IN4, LOW); //mOTOR B "OFF" EXTRACTOR DE AIRE
    }
}

```

ledcWrite(pwmChannel_3, dutyCycle_R); //Actualiza el Ciclo de servicio de la Resistencia DER

ledcWrite(pwmChannel_4, dutyCycle_R); //Actualiza el Ciclo de servicio de la Resistencia IZQ

```

ledcWrite(pwmChannel,dutyCycle_Iny);
ledcWrite(pwmChannel_2,dutyCycle_Ext);
}

```

```

if(Temperatura > Setpoint_T){
    digitalWrite(PELTIER,HIGH); //SUBIR HUMEDAD, Peltier ON
    dutyCycle_R--;
    digitalWrite(IN1, HIGH);
    digitalWrite(IN2, LOW); //mOTOR A "ON" INYECTOR DE AIRE
}

```

```

digitalWrite(IN3, HIGH);
digitalWrite(IN4, LOW); //mOTOR B "ON" EXTRACTOR DE AIRE
dutyCycle_Iny++;
dutyCycle_Ext++;

if(dutyCycle_R<1){
  dutyCycle_R=1;
}
if(dutyCycle_Iny > 1023){
  dutyCycle_Iny=1023;
}
if(dutyCycle_Ext > 1023){
  dutyCycle_Ext=1023;
}

ledcWrite(pwmChannel_3,dutyCycle_R); //Actualiza el Ciclo de servicio de la
Resistencia DER
ledcWrite(pwmChannel_4,dutyCycle_R); //Actualiza el Ciclo de servicio de la
Resistencia IZQ
ledcWrite(pwmChannel,dutyCycle_Iny);
ledcWrite(pwmChannel_2,dutyCycle_Ext);
}

/*
if(Temperatura>Setpoint_T-0.25){ //Setpoint - 1;
  flag_T=1;
}
if(Temperatura<Setpoint_T-0.25){ //Setpoint - 1;
  flag_T=0;
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, LOW); //mOTOR A "OFF" INYECTOR DE AIRE
digitalWrite(IN3, LOW);

```

```

        digitalWrite(IN4, LOW); //mOTOR B "OFF" EXTRACTOR DE AIRE
    }
*/

}
//----- Lectura del Luxometro ----- Ts=cada 1.5 seg.
if(cont3 > 150){ //10ms * 150 = 1500ms
    lux = lightMeter.readLightLevel();
/*
    Serial.print("Light: ");
    Serial.print(lux);
    Serial.println(" lx");
*/
    cont3=0; //Reiniciamos contador
}

//----- Control de Humedad -----
//Setpoint 50% de Humedad
/*
    if(cont4 >210){
        if(Humedad > Setpoint_H){
            digitalWrite(PELTIER,LOW); //MANTENER TEMPERATURA DE LA CAJA,
DEPENDERA DE ENCENDER LAS RESITENCIAS PARA INCREMENTAR LA
TEMPERATURA - BAJAR HUMEDAD
            dutyCycle_R++;
            if(dutyCycle_R > 1023){
                dutyCycle_R=1023;
            }
            ledcWrite(pwmChannel_3,dutyCycle_R);
            ledcWrite(pwmChannel_4,dutyCycle_R);

```

```

    }

    if(Humedad < Setpoint_H){ //Subir T, encender 2do Banco de Resistencias
        digitalWrite(PELTIER,HIGH); //BAJAR TEMPERATURA, INCREMENTAR
HUMEDAD
        dutyCycle_R--;
        if(dutyCycle_R < 1){
            dutyCycle_R=1;
        }
        ledcWrite(pwmChannel_3,dutyCycle_R);
        ledcWrite(pwmChannel_4,dutyCycle_R);
    }
    cont4=0;
}
*/

//-----
//delay(20); // one tick delay (15ms) in between reads for stability
cont++;
cont2++;
cont3++;
cont4++;
}
vTaskDelay(10);
}

```

SOFTWARE DE VISUALIZACION DE VARIABLES EN LABVIEW

Panel frontal

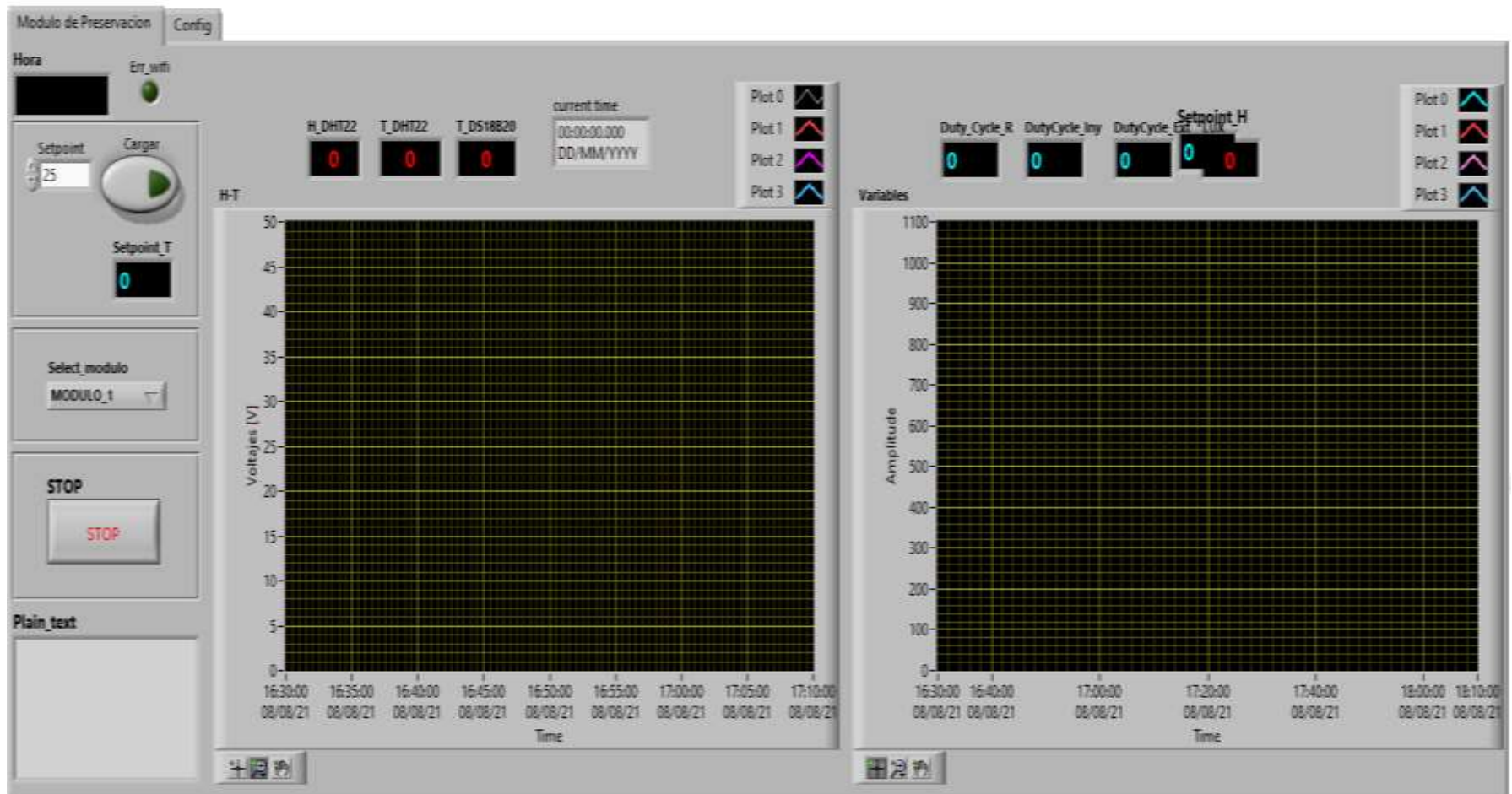
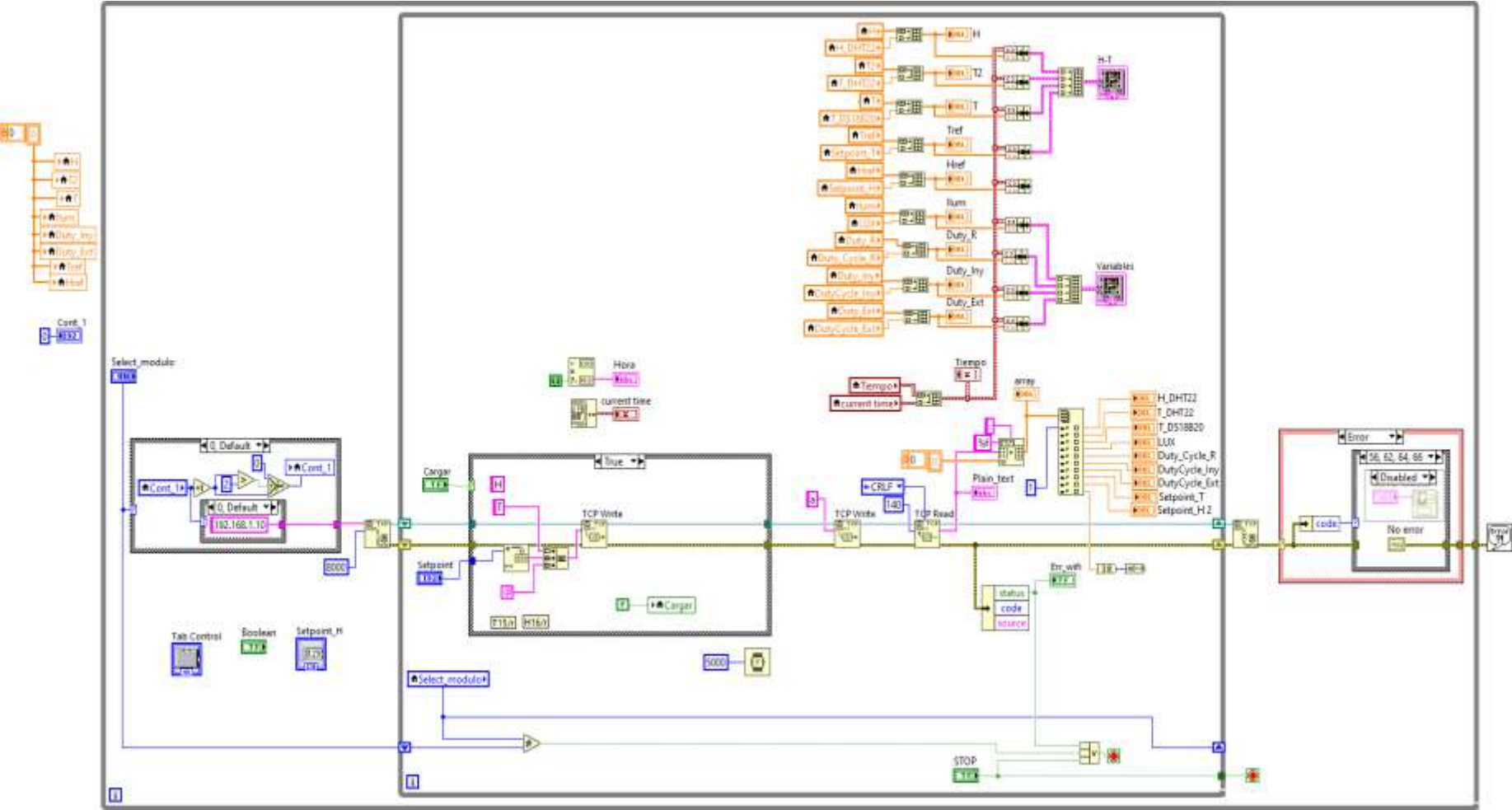


Diagrama de bloque



ANEXO 2: HOJAS DE DATOS DEL SISTEMA

Se muestra un extracto de las hojas de datos con las principales características de los componentes del prototipo de monitoreo y supervisión electrónica de temperatura y humedad relativa para la conservación preventiva de los bienes culturales del museo inka-cusco.

Tabla 11.

Especificaciones del ESP32

CARACTERÍSTICA	ESP32
Procesador	Tensilica Xtensa X36
Nº bits	
Nº núcleos	Dual core
Velocidad	160 MHz (hasta 240 MHz)
SRAM	512 kB
SPI FLASH	
Alimentación	2.2 a 3.6V
Rango temperaturas	
Consumo de corriente	
Consumo en deep sleep	2.5 uA (10 uA RTC + memoria RTC)
Consumo en de bajo consumo	Inferior a 150 uA
Wifi	
Soft-AP	
Encriptación por hardware	Si
Bluetooth	v4.2 BR/EDR + BLE
Ethernet MAC Interface	10/100 Mbps
GPIO (utilizables)	36
Hardware /Software PWM	1 / 16
ADC	18 (12 bits)

ADC con preamplificador	Sí (bajo ruido 60 dB)
DAC	2 (8 bits)
UART	4
I2C	2
SPI	4
I2S	2
1-Wire	
CAN BUS	1 x 2.0
Sensor Touch	10
Sensor temperatura	Sí
Sensor HALL	Sí
IR	
Timers	4 (64 bits)
Gen. Núm.Aleatorios	Sí
Encriptación del flash	Sí
Arranque seguro	Sí

Tabla 12.

Especificaciones técnicas del sensor de temperatura DS18B20

DATOS TECNICOS DEL DS18B20

Voltaje de alimentación	3v - 5v
Rango de Temperatura	55°C - 125°C
Error (-10°C - 85°C)	±0.5°C
Error (-55°C - 125°C)	±2°C
Resolución programable	9-bit, 10-bit, 11- bit, 12-bit
Resistencia Pull-up	4.7 kΩ, 3.3 kΩ, 2.2 kΩ y 1.2 kΩ

Tabla 13.

Especificaciones técnicas del sensor de temperatura y humedad DHT22

DATOS TECNICOS DEL DHT22

Power supply	3.3-6v DC
Output signal	Digital signal via single bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	Humidity 0-100%RH/year; temperatura -40-80 Celsius
Accuracy	Humidity +-2%RH/(Max *-5%RH); temperatura< +-+0.5 Celsius
Resolution or sensitivity	Humidity 0.1%RH/year; temperatura +-0.1 Celsius
Repeatability	Humidity +-1%RH/year; temperatura +-0.2 Celsius
Humidity hysteresis	+0.3%RH/year
Long term stability	+0.5%RH/year
Sensing period	Avarage
Interchangeability	Fully interchangeable
Dimensions	Small size 14*18*5.5mm big size 22*28*5 mm

ANEXO 3: COSTO DE LA IMPLEMENTACION

A continuación, se muestra la lista de materiales necesarios para el desarrollo de este prototipo, para 2 unidades o 2 módulos de preservación de objetos ancestrales.

Tabla 14.

Relación de insumos y componentes electrónicos

"MONITOREO Y SUPERVISION ELECTRÓNICA DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA PARA LA CONSERVACION PREVENTIVA..."					
MATERIALES para 2 unidades					
ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	P.U	TOTAL S/.
1	ESP32	CPU de doble núcleo Tensilica Xtensa LX6 + BLE + WIFI INTEGRADO	3	60	180
2	DHT22	Sensor de Humedad (SHT31)	2	25.9	51.8
3	DS18B20	Sensor de temperatura	2	14	28
4	BH1750	Sensor de Luz Ambiental	2	15	30
5		Resistencia de Potencia 10W, 1ohm	8	1.5	12
6		Resistencias, condensadores, reguladores, otros componentes electronicos, cables, termotractil, otros	2	20	40
7		Prototipado y Ensamble	2	5	10
8		Coolers 8x8	4	10	40
9		Driver Motor L298	2	15	30
10		Placa de aluminio, medidas: 60x40 cm?	1	12	12
11		Pegamento (Silicona + pistola)	1	20	20
12		Caja de vidrio a medida con agujero + patas, 60x40x25 cm	2	125.5	251
13		Fuente de alimentacion 12V/5A	2	60	120
14		Baterias CR2032	1	3	3
15		Celda Peltier	1	120	120
16		Costo de envio del ESP32 15 Soles	1	15	15
17		Switch/Router TPLINK	1	140	140
				Costo : S/.	1102.8