

Diseño e implementación del control de temperatura para un sistema de soldado de integrados de montaje superficial.

Juan David Cely Caro, Cesar Andrés Chaparro Plazas y Jhoan Steven Castro Rojas

Trabajo de grado para optar por el título de Ingenieros Electrónicos

Director:

Jaime Guillermo Barrero Pérez

Magister en Potencia Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Ingeniería Electrónica

Bucaramanga - Santander

2024

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo de grado primeramente a Dios y María Santísima por permitirme el don del Conocimiento y la Ciencia, a mis Señores Padres Luis Carlos Cely Currea y Gladys Yaneth Caro Ortiz por la entrega y la formación en valores que me dieron durante mi estadía en la universidad, a mis abuelos Luis Gabriel, Miriam, Gladys y José Vicente por formarme en la Fe cristiana, a mis hermanitos Mónica Andrea y Luis Carlos por apoyarme y animarme durante los estudios, a mi Esposa Nicolle Blancce Espitia León por ser la persona que decidió amarme y apoyarme durante este proyecto de grado, a mi hijo Nihan Joseph, son el regalo perfecto de Dios para mí, , a mis compañeros de este proyecto por enseñarme y ayudarme a comprender los conceptos y fundamentos del proyecto y a Lazos de Amor Mariano por enseñarme a amar con el corazón del verdadero amor, Jesús y María.

### **JUAN DAVID CELY CARO**

Dedico este trabajo de grado primeramente a Dios por darnos la salud, a mis papás Héctor Hernán Castro García, Alba Lucia Rojas Campos por apoyarme durante toda mi carrera universitaria, gracias a mi tío paterno Sergio Darío Castro García por sus consejos y su paciencia cuando las cosas no se daban de la manera esperada y a toda mi familia en general por estar siempre conmigo. Gracias a mi pequeña hermanita Sarita por sacarme una sonrisa en los momentos más difíciles. Gracias a mi novia Juliana Castro por no dejarme rendir y mantenerme a flote. A mi profesor Jaime Barrero por la constante enseñanza y dedicación para que lograra culminar este proyecto y finalmente a mis dos compañeros de trabajo de grado por su esfuerzo y compromiso durante el mismo.

### **JHOAN STEVEN CASTRO ROJAS**

Dedicado a cada uno de los integrantes de mi familia, a cada uno de los compañeros de estudio que respondieron a alguna duda cuando les necesite, gracias a mi grupo universitario por siempre ayudarme y sacarme una sonrisa. Gracias a mi profesor Jaime Barrero por hacer esto posible.

### **CESAR ANDRES CHAPARRO PLAZAS**

### **Agradecimiento**

Le damos gracias a todos aquellos que nos colaboraron tanto material como ética y moralmente en nuestra formación, a los profesores y compañeros de carrera que durante el proceso de formación aportaron a nuestro aprendizaje especialmente al Magíster Jaime Guillermo Barrero Pérez y a la Universidad Industrial de Santander por todo lo brindado en este proceso universitario.

**Juan, Cesar y Jhoan**

## Tabla de contenido

<b>Introducción</b> .....	11
<b>1. Objetivos</b> .....	13
<b>1.1. Objetivo General:</b> .....	13
<b>1.2. Objetivos Específicos:</b> .....	13
<b>2. Estado del Arte</b> .....	13
<b>2.1. Tecnologías de montaje superficial para circuitos impresos.</b> .....	14
<b>2.1.1. Through Hole Technology - (Siglas en inglés THT)</b> .....	14
<b>2.1.2. SMD.</b> .....	15
<b>2.2. Internet de las cosas (IoT).</b> .....	16
<b>2.3. Sistemas de control.</b> .....	17
<b>2.3.1. Lazos de control.</b> .....	17
<b>2.3.2. Control Analógico</b> .....	19
<b>2.3.3. Control Digital</b> .....	19
<b>2.3.4. Controlador PID.</b> .....	19
<b>2.3.5. Control de temperatura.</b> .....	20
<b>2.4. Transferencia de calor.</b> .....	20
<b>2.5. Parámetros de soldadura de refusión.</b> .....	21
<b>3. Elementos Electrónicos del prototipo del horno</b> .....	23
<b>3.1. Sensor de temperatura</b> .....	23
<b>3.2. Relé de estado sólido</b> .....	23
<b>3.3. Microprocesador</b> .....	24
<b>3.4. Placa calefactora (Planta del sistema de control)</b> .....	26
<b>4. Diseño e implementación del prototipo del horno soldador de PCB's de montaje superficial con conectividad IoT</b> .....	28
<b>4.1. Metodología</b> .....	28
<b>4.2. Hardware</b> .....	28
<b>4.2.1. Esquemático PCB</b> .....	28
<b>4.2.2. PCB – Layout</b> .....	29

4.2.3.	<i>Diseño 3D</i> .....	29
4.2.4.	<i>Caracterización de la placa calefactora (Resistencia Térmica)</i> .....	30
4.2.5.	<i>Control PID digital de temperatura</i> .....	33
4.2.6.	<i>Termistor NTC 100K.</i> .....	35
4.2.7.	<i>Pantalla Oled – Interfaz de usuario.</i> .....	37
4.2.8.	<i>Estructura de soporte.</i> .....	37
4.3.	<b>Software</b> .....	38
4.3.1.	<i>Servidor web y aplicativo.</i> .....	38
4.3.2.	<i>Comunicación por medio de IoT.</i> .....	41
5.	<b>Análisis de resultados y ajustes de los subsistemas</b> .....	43
5.1.	<b>Curva Característica de la planta del sistema a controlar.</b> .....	43
5.2.	<b>Imágenes de la soldadura del circuito impreso con elementos de montaje superficial (SMD) (PCB SMD de prueba)</b> .....	43
5.3.	<b>Sistema de control digital PID – Estados del controlador</b> .....	45
5.4.	<b>Software y Hardware del proyecto</b> .....	46
6.	<b>Recursos</b> .....	47
6.1.	<b>Recursos físicos y electrónicos.</b> .....	47
7.	<b>Conclusiones</b> .....	48
	<b>Referencias Bibliográficas</b> .....	49

**Lista de Figuras**

Figura. 1. Diagrama de bloques del prototipo del horno soldador..... 12

Figura. 2:Tecnología de montaje en agujero pasante (THT). Tomado de: (Llamas, 2020). ..... 14

Figura. 3:Conexión de la SMD a las pistas. Tomado de: (Electrónica, 2020)..... 15

Figura. 4:Diferentes tipos de encapsulados en tecnología SMD. Tomado de (Electrónica, 2020)  
..... 16

Figura. 5:Sistema de control en lazo abierto. Tomado de (Dorf & Bishop, 2005) ..... 18

Figura. 6:Sistema de control en lazo cerrado. Tomado de (Dorf & Bishop, 2005). ..... 18

Figura. 7:Prfil de DSP 863 (Sn42/Bi58) Soldadura libre de plomo y halógenos, soldadura no  
limpia. Tomado de (Qualitek)..... 22

Figura. 8: Relé de estado sólido G3MB-202P (OMRON, s.f.)..... 24

Figura. 9:Sistema interno del microcontrolador ESP32 (Espressif,2023). ..... 25

Figura. 10:ESP-WROOM32 (Espressif, 2023)..... 26

Figura. 11: Tarjeta de Desarrollo ESP32 Módulo WIFI Bluetooth ESP-WROOM32 (Espressif,  
2023) ..... 26

Figura. 12:Resistencia eléctrica - placa calefactora PTC - carcasa de aluminio. .... 26

Figura. 13: Esquema General de conexiones del prototipo del horno soldador. .... 28

Figura. 14:Diseño de la PCB-Layout..... 29

Figura. 15:Vista 3D de la PCB diseñada en Proteus versión 8. .... 30

Figura. 16:Caracterización resistencia eléctrica [°C] vs [s]..... 31

Figura. 17:Comportamiento de la resistencia interna del sensor NTC 3950 100K-[Ω] vs [°C]... 31

Figura. 18:Caracterización de la Planta Dinámica del Sistema. .... 32

Figura. 19:Análisis del sistema - Resistencia eléctrica - Comparación Real Vs Teórico. [°C] Vs  
[s]. ..... 33

Figura. 20:Conexión del termistor y señal de sensor (medida en voltios)..... 36

Figura. 21:Estructura 3D prototipo del RHP. .... 37

Figura. 22: Modelo OSI para el prototipo del horno soldador en temas de comunicación. .... 38

Figura. 23: Diagrama de bloques - Interacción Usuario- Máquina y Máquina-Máquina..... 39

Figura. 24Entorno y conexión del ESP32-MATLAB..... 40

Figura. 25: Protocolo de comunicación TCP/IP (IBM, 2021) ..... 41

Figura. 26:U2, UM y M2 (Interfases de interacción)-aplicativo Blynk App (Inc. Blynk, 2024). 41

Figura. 27: U2, UM y M2 (Interfases de interacción) (ElectroSoft, 2021). .... 42

Figura. 28:Prueba #1 del prototipo - controlador - circuito SMD de prueba..... 43

Figura. 29: Prueba #2 Posición-Control-Transferencia de calor. .... 44

Figura. 30:Prueba #3 Temperatura. .... 44

Figura. 31: PCB-SMD Prueba exitosa..... 45

**Lista de Tablas**

Tabla 1: Características del Relé de estado sólido. Tomado de (OMRON, s.f.) Datasheet G3MB-202P	23
Tabla 2: Especificaciones ESP-WROOM32	25
Tabla 3: Recursos e Infraestructura	50

**Lista de Apéndices**

**Apéndice A: Ficha técnica del prototipo y manual de operación. .... 52**  
**Apéndice B: Modo de Uso (Manual). .... 52**  
**Apéndice C: Trabajo a futuro y recomendaciones. .... 53**  
**Apéndice D: Algoritmo JnJcC\_WEBBlink\_IoTTCP/IP. .... 54**

## Resumen

**Título:** Diseño e implementación del control de temperatura para un sistema de soldado de integrados de montaje superficial. \*

**Autores:** Juan David Cely Caro, Cesar Andrés Chaparro Plazas, Jhoan Steven Rojas. \*\*

**Palabras Clave:** Control de temperatura, Internet de las Cosas, Microprocesador, Prototipo, Aplicativo Web.

**Descripción:** A lo largo de la historia, los prototipos electrónicos han desempeñado un papel fundamental en los avances tecnológicos modernos. En esta investigación, se dirige la atención hacia la implementación de la técnica de control PID digital utilizando el microprocesador ESP32. Este dispositivo adquiere datos del sensor (Termistor NTC) como entrada, un actuador (Relé de estado sólido) como salida y una planta (Resistencia a 110[V]). Los resultados de este control se muestran tanto en una pantalla OLED como en una aplicación web, lo que facilita una comunicación efectiva a través de Internet de las Cosas (IoT).

En el panorama actual, los estudios relacionados con prototipos de hornos destinados a soldadores de circuitos impresos (PCB) suelen quedar bajo la confidencialidad de las fábricas de integración electrónica. En contraste, este proyecto se enfoca en el desarrollo de un prototipo de bajo costo, tanto en términos de hardware como de software. El propósito fundamental es proporcionar a la comunidad estudiantil de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T) la capacidad de diseñar y fabricar circuitos impresos modernos de dimensiones reducidas.

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Magister en Potencia Eléctrica Jaime Guillermo Barrero Pérez

## **Abstract**

**Title:** Design and implementation of the temperature control for a surface mounted integrated soldering system. \*

**Authors:** Juan David Cely Caro, Cesar Andres Chaparro Plazas, Jhoan Steven Rojas. \*\*

**Key words:** Temperature Control, Internet of Things, Microprocessor, Prototype, Web Application.

**Description:** Electronic prototypes throughout history have contributed to the great advances of modern technology. The main branches that are available in the creation of any electronic prototype are based on the line of control, instrumentation and automation of dynamic processes that have been applied in the industry. The combination between hardware and software presents the ability to interact between machine-machine and user-machine or user interface. In this research work, the digital PID control technique is applied in the ESP32 microprocessor that receives signals from the sensor (NTC thermistor), actuator (Solid State Relay) and plant (220[V] resistance) to be later displayed on the screen. Oled screen and web application having a communication through the Internet (IoT).

At present, the studies related to prototypes of ovens that welders of printed circuits (PCB) are related under confidentiality of the electronic integration factories, this project focuses on making a low-cost prototype (Hardware and software) that allows the community student of the School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering (E3T) to make modern and small printed circuits.

\* Bachelor Thesis

\*\* Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Director: Magister en Potencia Eléctrica Jaime Guillermo Barrero Pérez

## Introducción

La educación integral de los ingenieros electrónicos de la UIS se enfoca en prepararlos de manera que se orienten al diseño, la implementación e integración de sistemas electrónicos modernos, en la actualidad la escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones ha encontrado limitaciones en los diseños e implementaciones de circuitos impresos (PCB) debido a la escalabilidad de los sistemas. Surge la necesidad investigativa del desarrollo de un prototipo de horno soldador para circuitos impresos de montaje superficial con internet de las cosas (IoT).

En la escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones (E3T) busca la formación de personas integralmente, enfocándose hacia la investigación, la extensión y el desarrollo sostenible del país con una visión según el MinTIC, queremos como estudiantes dejar un legado en la fabricación de prototipos de bajo coste, diseño, implementación e integración asequible (Hardware y Software).

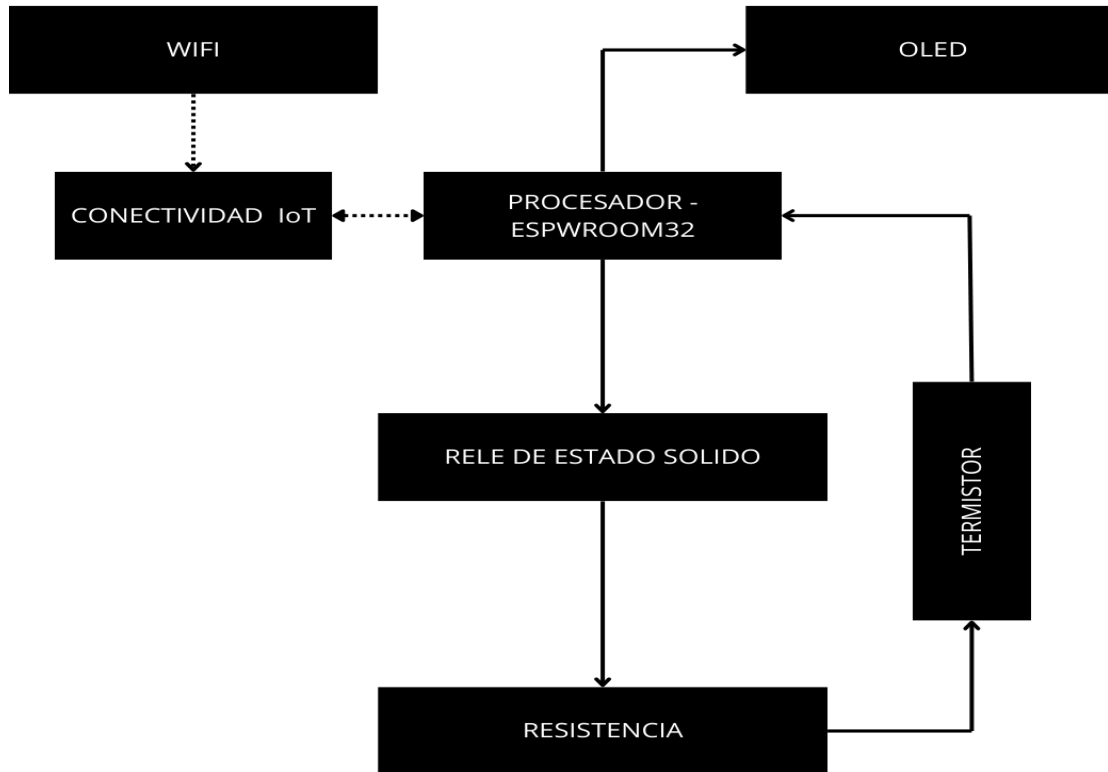
El diseño e implementación del control de temperatura para un sistema de soldado de integrados de montaje superficial, se enfoca en los conocimientos adquiridos durante el ciclo de aprendizaje, como lo son la Electrónica de potencia, los sistemas de control, la instrumentación electrónica y la conectividad IoT (Comunicaciones de manera remota entre dispositivos electrónicos) con el objetivo de desarrollar un prototipo del horno soldador de dispositivos electrónicos de montaje superficial a control remoto por medio de IoT (Internet of Things) y aplicativo web (Servidor Web).

La Fig. 1. Muestra el esquema general de diseño del prototipo del horno soldador, este diseño e implementación presenta un entorno de diagramas de bloques, que permite dar a conocer la conexión entre las diferentes partes del horno. Esta interacción del procesador y la conexión IoT, es bidireccional (tipo cliente – servidor), utilizando el lazo cerrado del sistema se presenta dos elementos, el actuador y planta, acción - reacción (Ante una acción se genera una respuesta).

El sistema general del horno soldador tiene subsistemas, estos permiten la transmisión de los datos por medio del control de lazo cerrado (Feedback).

**Figura 1.**

*Diagrama de bloques del prototipo del horno soldador.*



*Nota: Esta figura muestra el diagrama general de control por bloques del prototipo del horno soldado de PCB SMD.*

La integración de los dispositivos electrónicos ha permitido en la última década una serie de avances a nivel tecnológico, como lo son la conectividad por medio de una o varias redes y el control de procesos remotamente. Se presenta la red principal de este proyecto que está basada en internet de las cosas (IoT) y permitiendo a los usuarios poder controlar de manera remota los dispositivos teniendo el conocimiento en línea del comportamiento de las operaciones. Para la integración esta investigación ha subdividido las categorías principales (sistemas embebidos y electrónicos) en los subsistemas de control, electrónicos y de software (conectividad entre ellos por medio de Internet, (IoT)).

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo General:**

Diseñar e implementar un sistema de calentamiento con conectividad IOT para soldar circuitos integrados de montaje superficial.

### **1.2. Objetivos Específicos:**

1. Seleccionar el elemento calefactor, los actuadores y sensores que permitan cumplir el perfil de temperatura que suministran los fabricantes de soldadura de estaño utilizando un control de la potencia que se suministra en el elemento calefactor.
2. Diseñar un control de temperatura PID digital que permita por medio de los sensores y transductores de temperatura cumplir con los requerimientos de los fabricantes para soldar integrados de montaje superficial.
3. Implementar un aplicativo de conectividad IOT que permita al usuario realizar la soldadura de circuitos integrados de montaje superficial.
4. Validar mediante pruebas de laboratorio el correcto funcionamiento del sistema de soldado.

## **2. Estado del Arte**

Los prototipos electrónicos enfocados a la manufactura de dispositivos electrónicos en el mundo actual requieren más capacidad por proceso. (John E. Ettl, 1987). Es decir, que el alto consumo hace que la producción sea a mayor escala (M. Ali, 2016), en este proyecto de investigación se enfoca a realizar un prototipo de horno soldador de bajo coste para soldar circuitos impresos en la tecnología de componentes de montaje superficial (SMD) para dar respuesta a los avances en materia de los circuitos modernos. El estado del arte se presenta con el objetivo de tener fundamentación teórica al proceso de implementación del prototipo.

## 2.1. Tecnologías de montaje superficial para circuitos impresos.

Los dispositivos electrónicos como los transistores, sensores y circuitos integrados son tecnologías de implementación en los circuitos impresos (PCB), esto solventa los factores relacionados con el área, velocidad de procesamiento y ruido eléctrico que afecten la comunicación, e interacción de los dispositivos. A lo largo de la historia de la electrónica los circuitos impresos han avanzado en su forma de fabricarse, las tecnologías utilizadas en el ensamble de los elementos electrónicos no se quedaron atrás.

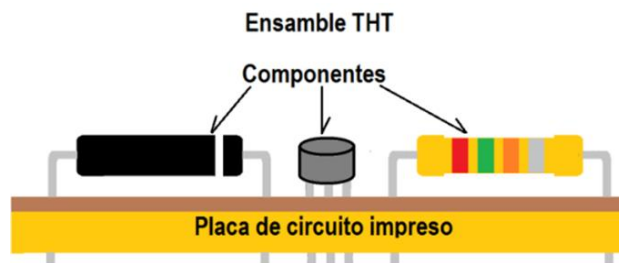
### 2.1.1. Through Hole Technology - (Siglas en inglés THT)

La tecnología de agujero pasante (Siglas en inglés THT) traspasa el circuito impreso permitiendo soldarse del otro lado de la placa perforada, este método de implementación del montaje de los circuitos impresos ha sido poco eficiente. Este método tiene como características (Llamas, 2020):

- Son mucho más fáciles de soldar manualmente.
- Pueden usarse en PCB's.
- Generalmente son más fuertes y resistentes que los SMD.
- Aumento del área de montaje.
- Velocidad de procesamiento deficiente.
- Aumento del ruido eléctrico.

#### Figura 2:

*Tecnología de montaje en agujero pasante (THT). Tomado de: (Llamas, 2020).*



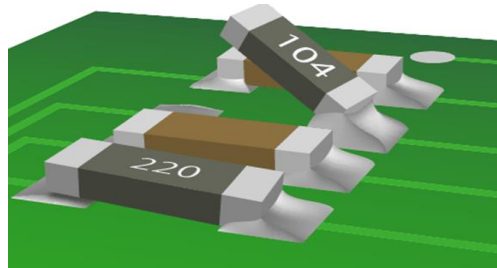
*Nota: Especificación del funcionamiento de la tecnología de agujero pasante THT.*

### 2.1.2. SMD.

Los componentes electrónicos en SMD (Surface Mounting Device) se suelda de forma directa a la superficie de la PCB a través de los pads, dicha tecnología es denominada SMT, frente a los componentes de tecnología de agujeros pasantes o throughole (THT) que se fabrican con terminales que se sueldan en la parte contraria donde se inserta el componente ver Figura 3. (Electrónica, 2020).

#### **Figura. 3:**

*Conexión de la SMD a las pistas. Tomado de: (Electrónica, 2020)*



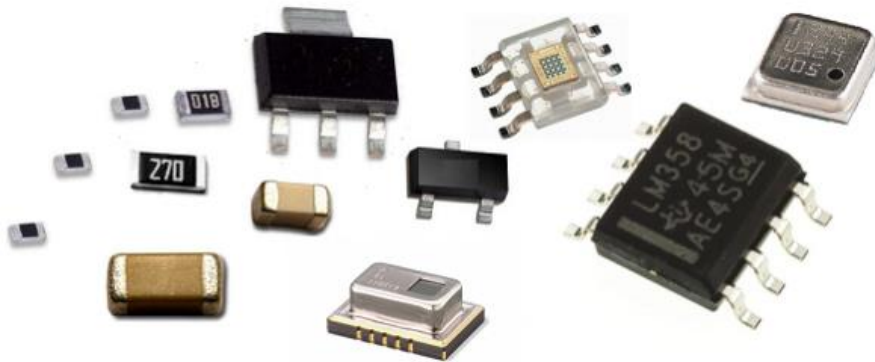
*Nota: Especificaciones del funcionamiento de la tecnología de montaje superficial SMD.*

Los componentes electrónicos tradicionales se están abandonando cada vez más haciendo uso extensivo de los componentes SMD que proporcionan ciertas características a favor de la reducción en área, velocidad de procesamiento, costo en producción a gran escala de circuitos impresos y ruido eléctrico.

Dentro de estos componentes se encuentran diferentes tipos de encapsulados en tecnología SMD como se presenta en la Figura 4, los cuales son los encargados de aumentar las ventajas en su implementación. +

**Figura. 4:**

*Diferentes tipos de encapsulados en tecnología SMD. Tomado de (Electrónica, 2020)*



*Nota: SMD = Surface Mount Device*

## **2.2. Internet de las cosas (IoT).**

El término Internet de las cosas fue acuñado por Kevin Ashton en el año 2009, donde definía que toda la información de las computadoras incluyendo internet eran limitadas por los seres humanos en tiempo real, exactitud y en capturar los datos del mundo real (Mohn, 2018).

El RFID (Radio Frequency Identification) group define la IoT como: “La red mundial de objetos interconectados direccionables basado exclusivamente en estándares de protocolos de comunicación” (Vargas, 2019) y para el Cluster of European Research Projects: define que “Estas Cosas” se comuniquen entre realizando acciones máquina-máquina y máquina-usuario y utilizando la autonomía con la que es programado (bases de datos que almacenan la información para su posterior procesamiento). Las aplicaciones del internet de las cosas (IoT) desde su primera definición hasta la actualidad han abarcado los siguientes temas y aspectos de la humanidad:

- Ambiente: Avances orientados a la conectividad e intercambio de información en el mundo real/físico para la supervisión de recursos naturales, gestión energética, prevención de plagas, cuidado y cría de animales.

- Industria: Avances orientados a la conectividad e intercambio de información en el mundo real/físico de la economía, comercio, comunicación de personas y empresas (Logística, servicios públicos, la banca, autoridades gubernamentales).
- Sociedad: Avances orientados a la conectividad e intercambio de información en el mundo real/físico entre zonas geográficas distantes (Comunicación entre ciudades), personas entre otros.

El internet de las cosas (IoT) presenta grandes desafíos en cuanto a la estructura de implementación y paradigmas que genera la Cloud (Big data y Cloud Computing) (Huin, 2019). Estas conexiones y el manejo de la gran cantidad de datos se deben relacionar con las tecnologías de la comunicación y la información con el aumento del uso del WIFI y el acceso a internet 4G-LTE (Long Term Evolution) y 5G (Symanovich, 2019).

La complejidad de cada sistema implementado internet de las cosas (IoT) dependerá de las cosas u objetos de los cuales queremos tener información o controlar, los procesos en línea permiten a las máquinas o usuarios trabajar de forma paralela trayendo los elementos físicos como los sensores, actuadores y procesos dinámicos (planta del sistema) permitiendo en algunos casos controla de manera autónoma y dependiendo si se implementan con inteligencia artificial (IA).

### **2.3. Sistemas de control.**

Los sistemas de control moderno son el desarrollo de estudio de la ingeniería de control para tener a las variables físicas limitadas y beneficiando los procesos industriales de manufactura y procesos electrónicos. Estos sistemas de control son un conjunto de elementos acondicionados de manera que las variables de salida sigan un determinado comportamiento dinámico (Dorf & Bishop, 2005).

#### **2.3.1. Lazos de control.**

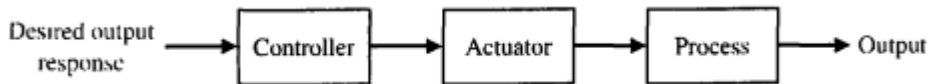
Los sistemas de control se basan en la forma de interacción con el sistema controlado, existen dos modelos o tipos de control, el control en lazo abierto o únicamente temporal y el control en lazo cerrado o controlado por su salida, estas dos segundas definiciones del concepto de los lazos de control se enfocan a estandarizar métodos que describen el sistema de los sistemas.

## PROTOTIPO HORNO SOLDADOR DE PCBS - SMD CON CONECTIVIDAD IoT.

Los sistemas de lazo abierto o únicamente temporal – no censan la salida (es decir: no poseen un dispositivo – sensor- que permita controlar la salida de manera automática), permitiendo que la única variable que interactúa directamente con el proceso a controlar sea el tiempo en el que la referencia alcanza su valor. En la Fig. 5. Observamos la representación en diagramas de bloque del sistema de lazo abierto.

**Figura. 5:**

*Sistema de control en lazo abierto. Tomado de (Dorf & Bishop, 2005)*

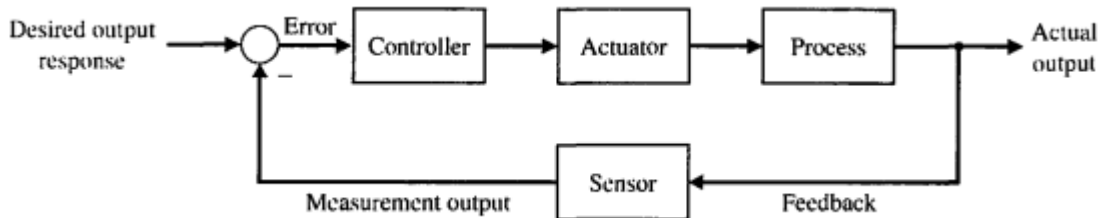


*Nota: Descripción en diagrama de bloque de un sistema de control de lazo abierto.*

Los sistemas de lazo cerrado o controlados por su salida – permiten una respuesta automática ante un cambio abrupto o perturbación que se presente en el proceso que proporciona un error en el sistema (que para este proyecto le daremos el nombre de la variable normal de error) que permite el funcionamiento correcto del proceso. En la Fig. 6. Observamos la representación en diagramas de bloque del sistema de lazo cerrado.

**Figura. 6:**

*Sistema de control en lazo cerrado. Tomado de (Dorf & Bishop, 2005)*



*Nota: Descripción en diagrama de bloques de un sistema de control de lazo cerrado*

Los sistemas de control pueden ser de una entrada una salida - SISO o varias entradas varias salidas –MIMO, en este proyecto de investigación se utiliza el sistema SISO.

### **2.3.2. Control Analógico**

Este procedimiento se basa en variables que dependen del tiempo y su continuidad, permitiendo ser controladas de manera automática por medio de circuitos electrónicos y sus configuraciones, actualmente es utilizado en diversas aplicaciones, las variables más comunes a controlar son la temperatura, presión, humedad y viscosidad (Ogata, 1998).

Los sistemas de control analógicos se enfocan en el funcionamiento dinámico de los sistemas y su optimización, inicialmente el control era de tipo mecánico y sus principales exponentes en el desarrollo teórico fueron: James Watt, Minorsky, Hazen y Nyquist, quienes dieron pie a los métodos clásicos de control (Respuesta en frecuencia y lugar geométrico de las raíces) y dando así las definiciones de los subsistemas del sistema a controlar:

De la Fig. 5 y 6. La variable para controlar se encuentra en el bloque Process o planta caracterizada en la Fig. 16. El controlador y actuador del proceso de control permite que la planta reciba una señal que modifica su estado actual hasta llegar al punto de referencia o consigna (Ogata, 1998).

### **2.3.3. Control Digital**

El avance tecnológico experimental digital ha permitido que los sistemas de control sean basados en microprocesadores y microcontroladores, permitiendo que la capacidad de procesamiento sea mayor comparada con los sistemas analógicos que están limitados por el hardware. Los sistemas de control digital se basan en la combinación del hardware y software, la optimización del proceso en temas electrónicos y la capacidad de transmisión-recepción de mencionados sistemas.

### **2.3.4. Controlador PID.**

El control PID hace referencia a la combinación de los controladores proporcional, integrativo y derivativo, esta combinación permite que la salida del proceso a controlar obtenga una respuesta o curva muy semejante a la referencia o consigna, el controlador PID presentan minimización en las

características de oscilación, reducción en la variable normal de error y aumento en la estabilidad del proceso. (Ogata, 1998)

### 2.3.5. *Control de temperatura.*

El controlador PID diseñado, toma del termistor NTC el valor de la temperatura para así obtener un sistema de control de lazo cerrado. La función de transferencia  $P(s)$  está descrita en la Ec. 1.

$$P(S) = \frac{KDC}{\tau S + 1} [^{\circ}C] Ec. 1.$$

Esta función de transferencia es la característica de la resistencia calefactora que a una diferencia de potencia de 110 [VAC] permite que la energía eléctrica se transforme en energía calorífica. El termistor NTC 3950 100K mide la temperatura por medio de la variación de la resistencia interna (Ver Fig. 16.) convirtiéndose en una señal digital por medio del ADC incorporado en el microcontrolador ESP32 para así procesar la temperatura y controlar el paso de la potencia que se entrega a la resistencia calefactora por medio de un relé de estado sólido.

La Ec. 1 permite obtener el comportamiento dinámico de la temperatura en la resistencia calefactora cuando se permite un paso de tensión de 110 [VAC] en un tiempo, estos cambios se dan por medio de la amplitud KDC, siendo esta la temperatura máxima que puede alcanzar la resistencia y  $\tau$  Es el tiempo en el cual el sistema está en el 63.2% y próximo a estabilizarse. Los sistemas dinámicos en particular tienen un ruido propio introducido por la imperfección del material de la resistencia y por la corriente eléctrica (Se supondrá que el ruido va a ser muy bajo para realizar el análisis matemático).

### 2.4. **Transferencia de calor.**

La transferencia de calor es un fenómeno físico del cual dos o más cuerpos transfieren energía calorífica (Incopera, 1999), el calor es energía en tránsito que hace cambiar al cuerpo en tres formas:

- **Conducción:** Se llama conducción a la transferencia de calor mediante el contacto directo de las partículas de un material con las de otro, sin transferir materia entre los cuerpos. Ocurre en todos los estados de agregación: sólido, líquido o gaseoso, aunque en estos dos

últimos suele preferirse la convección. La cantidad de calor que se transfiere mediante la conducción está determinada por la Ley de Fourier, según la cual la velocidad de transferencia del calor a través de un cuerpo es proporcional al gradiente de temperatura que existe en él.

- Convección: La convección es semejante a la conducción, excepto que ocurre en los casos en que un fluido recibe calor y se mueve para transmitirlo dentro de un espacio donde está contenido. La convección es el transporte de calor por medio del movimiento de un fluido, sea gaseoso o líquido.

Dicha transferencia se da en los términos planteados por la Ley de enfriamiento de Newton, que establece que un cuerpo pierde su calor a un ritmo proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y sus alrededores (Kreith, Manglik, & Bohn, 2012).

- Radiación: El último tipo de transferencia de calor es también el único que puede darse en ausencia de contacto y, por ende, también de un medio físico, o sea, en el vacío. Esto se debe a que su origen está en el movimiento térmico de las partículas cargadas de la materia, que desencadena la emisión de partículas electromagnéticas, es decir, de radiación térmica, siendo su intensidad dependiente de su temperatura y la longitud de onda de la radiación considerada

## **2.5. Parámetros de soldadura de refusión.**

La característica y etapas principales para un adecuado perfil de temperatura se describen según el comportamiento observado en la respuesta al escalón del prototipo y la resistencia.

- A. Precalentamiento: La temperatura comienza a ascender buscando la estabilidad del sistema, por medio de la señal PWM que controla el relé de estado sólido.
- B. Calentamiento o activación: La temperatura alcanzada es la programada por medio de las variables de entrada, teniendo como temperatura máxima de programación 200[°C] y esta depende únicamente del fabricante de pasta para soldar, el tiempo empleado para esta operación oscila entre los 2 a 3 minutos para así entrar en la etapa C.

## PROTOTIPO HORNO SOLDADOR DE PCBS - SMD CON CONECTIVIDAD IoT.

- La temperatura alcanzada permite que la placa de circuito impreso alcance la temperatura adecuada y sus componentes se calienten de forma uniforme reduciendo la tensión superficial que se genera entre la placa y el componente electrónico.
- Se activa la función Temperatura Vs Tiempo de flux, esto ocasiona que los compuestos volátiles sean evaporados.

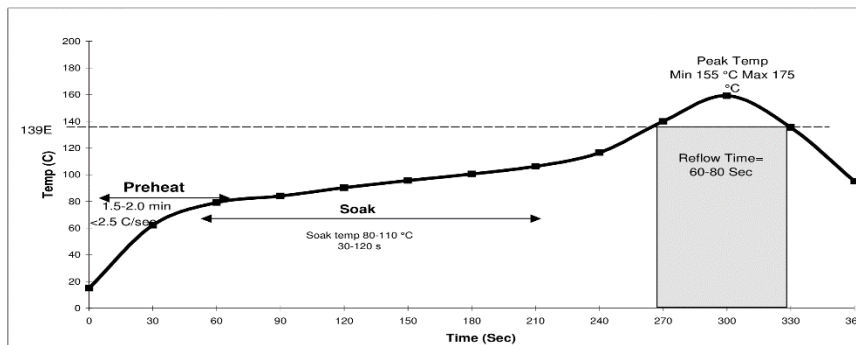
C. Punto de fusión o Reflujo: es el punto en el cual la pasta para soldar está adherida al path y al dispositivo electrónico

D. Enfriamiento: la temperatura oscila entre la temperatura programada hasta descender a temperatura ambiente, es importante controlar el enfriamiento ya que si el proceso se realiza rápidamente puede afectar las características relevantes de la soldadura tales como su dureza o la consistencia de la soldadura que afecta la calidad de la conexión en el circuito, entre otros. (Armando, 2020). Un perfil característico de soldadura se muestra a continuación.

**Figura. 7:**

*Perfil de DSP 863 (Sn42/Bi58) Soldadura libre de plomo y halógenos, soldadura no limpia.*

*Tomado de (Qualitek).*



*Nota: Curva característica de los fabricantes de pasta para soldar.*

### **3. Elementos Electrónicos del prototipo del horno**

Este capítulo muestra los elementos del sistema de control para este proyecto. La función principal es efectuar un sincronismo en las operaciones en forma de cadena, estas etapas se dan en tres pasos:

- A. Sensado: función del sensor de temperatura en llevar la información del mundo real/físico que es la variable a controlar.
- B. Error: Función del microcontrolador que toma la variable sensada y efectúa operaciones matemáticas codificadas por medio de algoritmos computacionales básicos.
- C. Respuesta: función del relé de estado sólido de modular la potencia entregada a la resistencia calefactora, genera el cambio en el sistema de control. (E., Diseño y construcción de horno para soldar SMD) además es el elemento de potencia. (De Almeida G., 2015)

#### **3.1. Sensor de temperatura**

Un sensor es el instrumento electrónico o mecánico que permite medir el mundo real/físico convirtiendo la unidad medida en voltaje o corriente analógica, hay varias clases de sensores y estos dependen de la aplicación para la cual se requiera. (Sensores y acondicionadores de señal, 2003) En este proyecto de investigación el termistor es el encargado de medir la temperatura por medio de la variación de su resistencia eléctrica y es óptimo para el proceso.

#### **3.2. Relé de estado sólido**

El relé de estado sólido opera como el actuador que permite aplicar el cambio de potencia a la planta, este cambio se realiza por medio de la señal PWM programada en el microcontrolador, generalmente se introduce ruido eléctrico por la red al proceso de control.

**Tabla 1:**

*Características del Relé de estado sólido. Tomado de (OMRON, s.f.) Datasheet G3MB-202P*

MODELO	Voltaje DC de operación	Voltaje AC de Operación	Corriente Carga	de Sobre corriente
GM3MB-202	5 [V]	[110 – 220][VAC]	[0.1 – 2] [A]	30[A], 60[Hz], 1[Ciclo]

*Nota: Datasheet del Relé de estado sólido GM3MB-202*

**Figura. 8:**

*Relé de estado sólido G3MB-202P (OMRON, s.f.)*



*Nota: Esta figura muestra El componente electrónico Relé de estado sólido.*

### 3.3. Microprocesador

Los microcontroladores actualmente se utilizan a gran escala en aplicaciones electrónicas, teniendo como características principales el bajo consumo de potencia, alta velocidad de comunicación y área de implementación teniendo como utilidad la captación del procesamiento de datos en tiempo Real/Físico tomando las decisiones programadas por el usuario en la interfaz de usuario (Interacción entre máquina - usuario) (Ver sección Software).

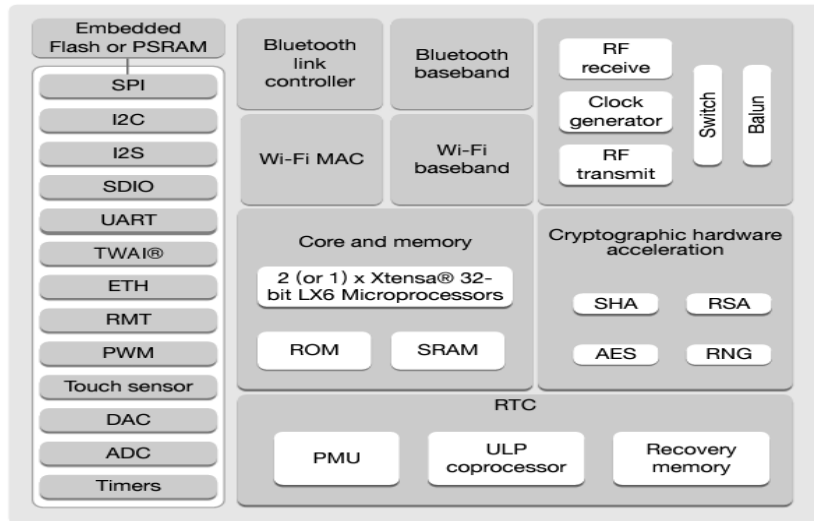
- Para este proyecto de investigación, el prototipo a realizar será controlado por un microcontrolador (Ver Fig. 10) que permite la conexión a internet por medio de la librería Wifi.h, es accesible en términos económicos. ¿Por qué se elige específicamente la ESP32 como microcontrolador para este proyecto? Uno de los objetivos de este proyecto es implementar a través del internet de las cosas una interfaz que permita a los usuarios ver en

PROTOTIPO HORNO SOLDADOR DE PCBS - SMD CON CONECTIVIDAD IoT.

tiempo real la temperatura que tiene la placa. Por esta razón escogimos el ESP-WROOM 32 como microcontrolador debido a las especificaciones (Ver Tabla. 2. Y Fig. 8).

**Figura. 9:**

*Sistema interno del microcontrolador ESP32 (Espressif,2023)*



*Nota: Diagrama interno del ESP WROOM-32*

**Tabla 2:**

*Especificaciones ESP-WROOM32*

<b>ESP - WROOM32</b>	
PROCESADOR	Doble núcleo de 240 [MHz]
DIMENSIONES	166 [mm] x 24 [mm] x 3[mm]
GPIO	32 GPIO Programables
ADC	12 bits – ADC SAR 18 canales
WI-FI	802.11/B/G/N - 2.4[GHz] - 150 [Mbps]
PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN	SPI, UART E I2C
PROGRAMACIÓN	C++, PYTHON, ARDUINO IDE

*Nota: Características del microcontrolador módulo ESP WROOM-32*

**Figura. 10:**

*ESP-WROOM32 (Espressif, 2023)*



*Nota: Microprocesador ESP32 con modulo WIFI*

El chip de ESP32 es incorporado en la tarjeta de desarrollo para mayor facilidad en el manejo y programación en la Tabla 2 se observa las características principales de este microprocesador.

**Figura. 11:**

*Tarjeta de Desarrollo ESP32 Módulo WIFI Bluetooth ESP-WROOM32 (Espressif, 2023)*



*Nota: Modulo ESP WROOM32 – WIFI – I2C - SPI*

### **3.4. Placa calefactora (Planta del sistema de control)**

**Figura. 12:**

*Resistencia eléctrica - placa calefactora PTC - carcasa de aluminio.*



## PROTOTIPO HORNO SOLDADOR DE PCBS - SMD CON CONECTIVIDAD IoT.

*Nota: Esta figura muestra al elemento calefacto del prototipo Horno Soldador*

En la actualidad la resistencia eléctrica es el elemento más utilizado en la industria para controlar procesos de temperatura, ya que es un elemento pasivo, de respuesta en el tiempo eficiente y además económico. Se utiliza la resistencia placa calefactora a 110 [VAC] y consumo de 300[W], con respuesta de 200[°C] en 30[S] (Ver Fig. 11 y Fig. 16) (Medidas 121mm x 70mm).

#### 4. Diseño e implementación del prototipo del horno soldador de PCB's de montaje superficial con conectividad IoT

##### 4.1. Metodología

El enfoque metodológico propuesto se divide en dos fases para cumplir con los objetivos de este proyecto de investigación: Fase I, dedicada al desarrollo de HARDWARE Y SOFTWARE, y Fase II, centrada en el ANÁLISIS. Estas fases establecen una línea cronológica para la investigación (Ver Tabla 3), delineando los recursos y la infraestructura necesarios para la ejecución del proyecto.

##### 4.2. Hardware

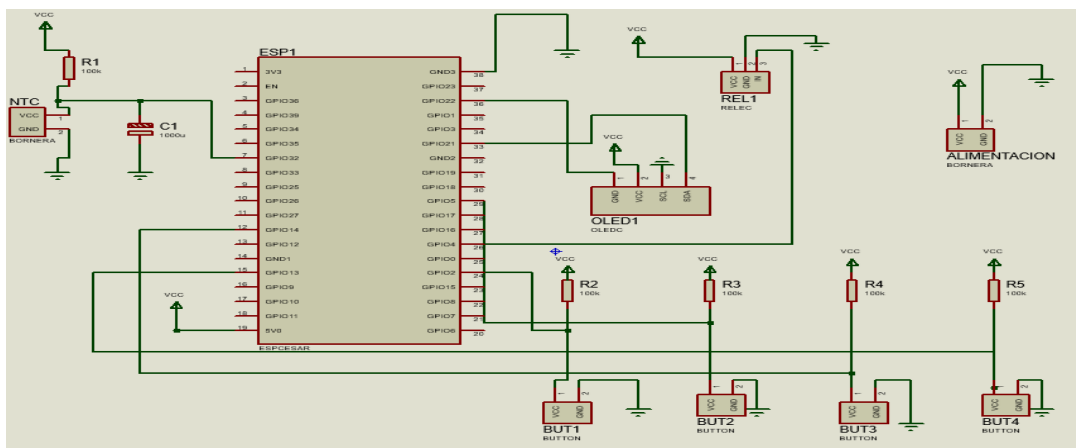
Los componentes físicos del prototipo del horno soldador inducen cambios en variables reales/físicas, lo que facilita la interacción entre el modelo matemático teórico y el modelo analítico real. En este apartado se detallan las características y la caracterización de los componentes electrónicos, así como el modelo real/físico del sistema de control (Figura 21). El desarrollo de la PCB consistió en los siguientes pasos.

##### 4.2.1. Esquemático PCB

En el diseño de sistemas electrónicos es importante representar la parte física/Real de los circuitos con símbolos que permitan interpretar el flujo de corrientes. En la Fig. 13 se representan las conexiones generales del prototipo del horno soldador (Esquemático en símbolos de los componentes utilizados en el proyecto – Ver Fig. 12).

**Figura. 13:**

*Esquema General de conexiones del prototipo del horno soldador*



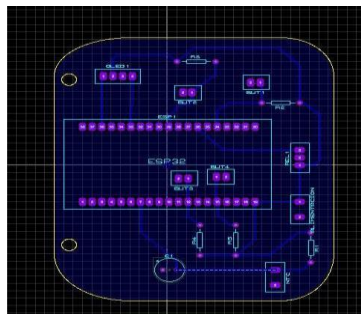
*Nota: Diseño del prototipo PCB Esquemático.*

#### 4.2.2. PCB – Layout

Para lograr una implementación más profesional del circuito electrónico, es imprescindible llevar a cabo un diseño meticuloso de las pistas de la PCB. Esto permitirá el ruido eléctrico en aplicaciones no convencionales. La fig.13 muestra el área designada para la elaboración de la PCB.

#### Figura. 14:

*Diseño de la PCB-Layout.*



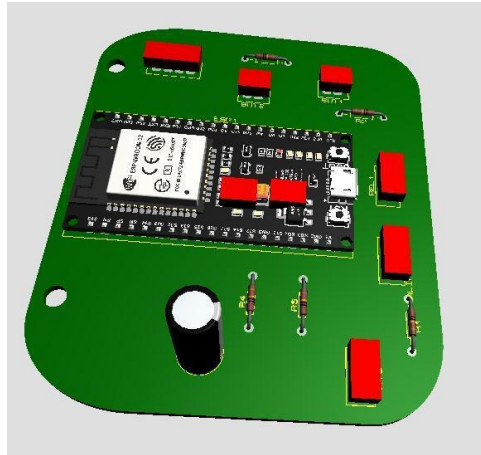
*Nota: Esta figura denota el diseño de la PCB en el entorno Layout.*

#### 4.2.3. Diseño 3D

La herramienta de diseño en 3D posibilita una representación más precisa de la implementación de la PCB. Esto proporciona una visión realista de cómo se verá el prototipo del horno, permitiendo visualizar el espacio necesario para la carcasa del prototipo y la disposición de los componentes electrónicos (ver Figura 15). La herramienta de diseño en 3D posibilita una representación más precisa de la implementación de la PCB. Esto proporciona una visión realista de cómo se verá el prototipo del horno, permitiendo visualizar el espacio necesario para la carcasa del prototipo y la disposición de los componentes electrónicos (ver Figura 15).

**Figura. 15:**

*Vista 3D de la PCB diseñada en Proteus versión 8.*



*Nota: Esta figura representa el diseño 3D de la PCB de la simulación implementada.*

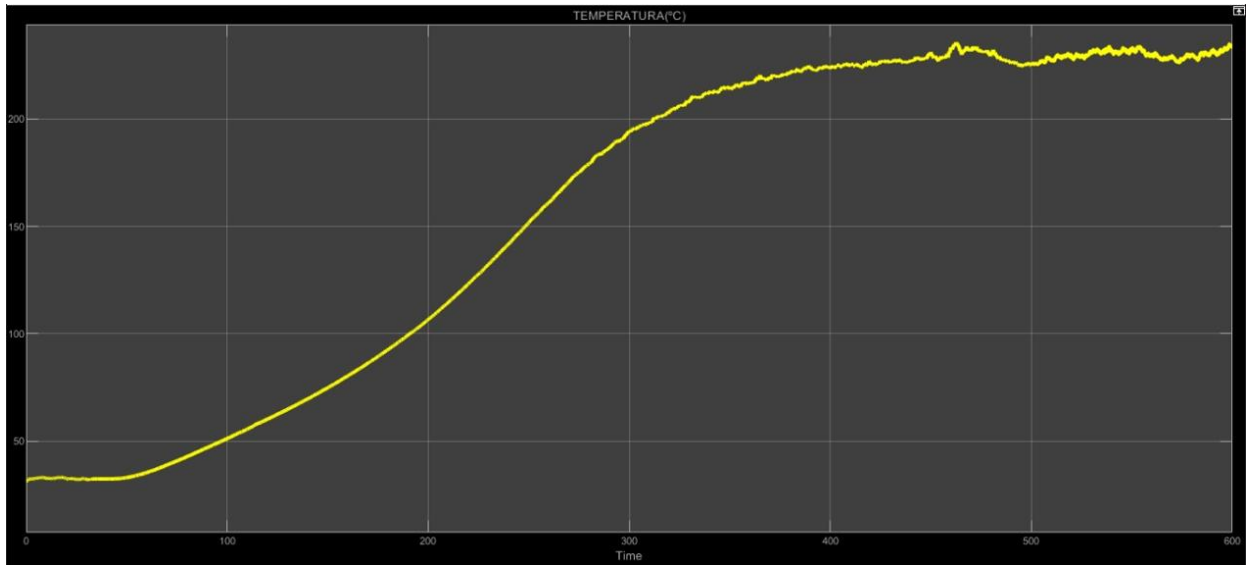
#### **4.2.4. Caracterización de la placa calefactora (Resistencia Térmica)**

Es crucial llevar los principios teóricos a la práctica y concretar los conceptos en la elaboración del prototipo del horno soldador. Para lograrlo, durante la fase de investigación se examina cómo responde la resistencia ante una entrada de señal escalonada, convirtiendo la energía eléctrica en calor a través de una placa. La curva característica real o física, obtenida mediante el uso del termistor NTC 100K 3950, permite analizar el comportamiento de la resistencia. En las Figuras 15 y 17, página 28, se muestra la evolución de la temperatura en la placa calefactora (se emplea el método de Ziegler-Nichols para calcular las constantes de forma analítica). Las aproximaciones analíticas de la función de transferencia indican que la resistencia sigue un comportamiento de primer orden.

**Figura. 16:**

*Caracterización resistencia eléctrica [°C] vs [s]*

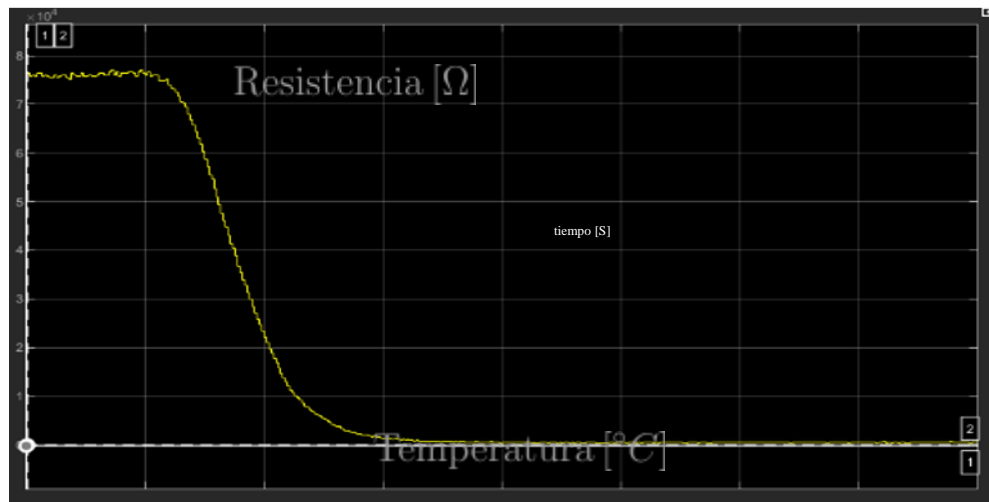
# PROTOTIPO HORNO SOLDADOR DE PCBS - SMD CON CONECTIVIDAD IoT.



*Nota: Esta figura describe la curva característica de la resistencia con un voltaje de 110 VAC.*

**Figura. 17:**

*Comportamiento de la resistencia interna del sensor NTC 3950 100K-[ $\Omega$ ] vs [ $^{\circ}$ C].*



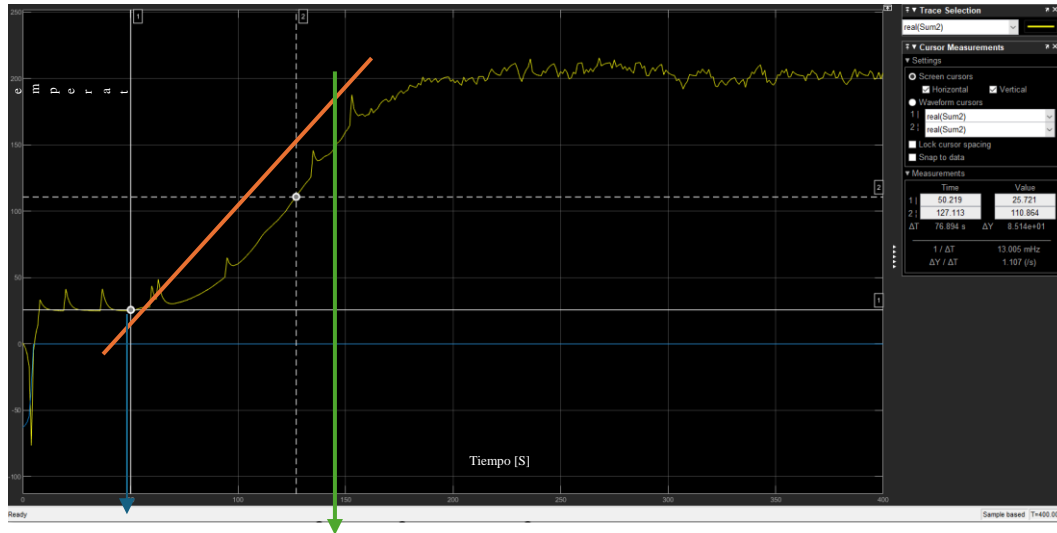
*Nota: Esta figura describe la curva característica de la resistencia en relación de resistencia Vs Temperatura*

## PROTOTIPO HORNO SOLDADOR DE PCBS - SMD CON CONECTIVIDAD IoT.

La función de transferencia de la Fig. 15 y 17. Se interpreta por medio de la Ec.2, donde la Fig. 15 establece la relación entre Temperatura [°C] y Resistencia eléctrica [Ω] del termistor NTC 3950 100K, la cual indica que a mayor temperatura menor es la resistencia.

### Figura. 18:

*Caracterización de la Planta Dinámica del Sistema.*

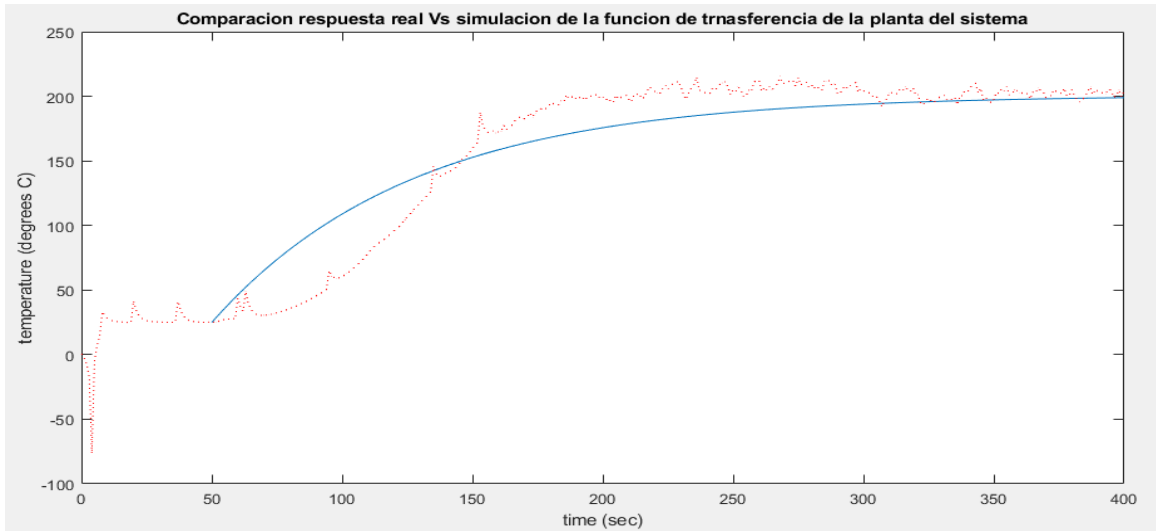


*Nota: Curva Característica de la planta del sistema a controlar, utilizando el método de Zieger y Nichols*

$$P(S) = \frac{175.876}{77.113*S + 1} \text{ [}^\circ\text{C]} \text{ Ec. 2.}$$

**Figura. 19:**

*Análisis del sistema - Resistencia eléctrica - Comparación Real Vs Teórico. [°C] Vs [s]*



*Nota: con esta figura podemos analizar el comportamiento de la planta real Vs Teórico.*

Se utiliza el método analítico de Zieger y Nichols para caracterizar la curva de transferencia (Fig. 17) y así obtener la EC. 2, que es la curva característica del sistema dinámico.

El proceso implica utilizar Matlab para implementar el modelo matemático del sistema, lo que permite obtener una función de transferencia aproximada a partir de datos de simulación y compararla con la función de transferencia real, para así realizar su respectivo análisis.

#### **4.2.5. Control PID digital de temperatura**

El microcontrolador ESP -WROOM – 32 permite realizar el procesamiento de las operaciones matemáticas por medio de algoritmos computacionales. Es importante tener la caracterización de la planta del sistema dinámico del prototipo del horno soldador, esta función de transferencia se debe traducir a un lenguaje que el microcontrolador entienda y para ello se utilizarán herramientas

de discretización del sistema y ecuación en diferencias. El control PID digital tiene tres tipos de controladores:

- Controlador Proporcional, controlador integrativo y controlador derivativo que permiten obtener un control más acertado minimizando los errores del proceso a controlar.
- De la ecuación (función de transferencia en tiempo continuo Ec. 2.) utilizando el método de aproximación trapezoidal se obtiene:

*ecuación del controlador PID*

$$u(t) = Kp \cdot e(t) + \frac{Kp}{Ti} \int_0^t e(t)dt + KpTd \frac{de(t)}{dt} \text{ Ec. 3}$$

$$u(t) \quad t \quad \rightarrow \quad k \quad u(k) \quad [^{\circ}C]$$

*aproximación de la integral del control integrativo*

$$\int_0^t e(t)dt \quad t \quad \rightarrow \quad k \sum_{h=0}^k e(h) - e(h-1) \text{ Ec. 4}$$

$$\frac{de(t)}{dt} \quad t \quad \rightarrow \quad ke(k) - e(k-1) \quad [^{\circ}C]$$

$$u(k) - u(k-1) = Kp \left[ e(k) - e(k-1) + \frac{Ts}{2Ti} \sum_{h=0}^k e(h) - e(h-2) + (e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)) \frac{Td}{Ts} \right]$$

$$u(k) - u(k-1) = Kp \left[ \left(1 + \frac{Ts}{2Ti} + \frac{Td}{Ts}\right) e(k) - \left(1 - \frac{Ts}{2Ti} + \frac{2Td}{Ts}\right) e(k-1) + \frac{Td}{Ts} e(k-2) \right]$$

*Aplicando la transformada Z*

$$u(k) \quad k \quad \rightarrow \quad ZU(Z) \quad [^{\circ}C]$$

$$q_0 = \left(1 + \frac{Ts}{2Ti} + \frac{Td}{Ts}\right) Kp \text{ Ec. 5}$$

$$q_1 = - \left(1 - \frac{Ts}{2Ti} + \frac{2Td}{Ts}\right) \text{ Ec.6}$$

$$q_2 = \frac{KpTd}{Ts} \text{ Ec. 7}$$

$$G_{C_{PID}} = \frac{q_0 + q_1 Z^{-1} + q_2 Z^{-2}}{1 - Z^{-1}} \text{ Ec. 8}$$

*Ecuación de planta con retenedor de orden cero (Zero – order – hold)*

Utilizando la transformada Z podemos discretizar la función de transferencia de la planta P(S)

$$P(S) = \frac{175.876}{77.113 * S + 1} \text{ Ec. 2}$$

$$G_0(S) = \frac{1 - e^{-Ts.S}}{s} \text{ Ec. 9x}$$

$$Z\{P(S).G_0(S)\} = G_p(Z) \text{ Ec. 10}$$

$$G_p(Z) = \frac{1.1355(Z+1.996)}{Z(Z-0.9871)} \text{ Ec. 11}$$

La función de transferencia en el plano Z (Ecu. 11) permite obtener la ecuación en diferencias, esta ecuación es la que se codifica en el algoritmo implementado en el microprocesador ESPWROOM32.

#### 4.2.6. *Termistor NTC 100K.*

El sensor de temperatura permitió el desarrollo de pruebas enfocadas hacia el prototipo de horno soldador, donde el termistor NTC 100K 395 y rango de operación de [20 – 200] [°C], adaptándose al prototipo como lo muestra la (Ver Fig. 17).

El circuito eléctrico que se muestra en la Fig. 17 representa el esquemático implementado para obtener la variación de tensión en el nodo, la cual utilizando la ecuación de steinhart and hart convertiremos en un valor de temperatura.

$$Vm = \frac{Vcc \cdot RNTC}{R1 + RNTC} \text{ Ec. 12.}$$

despejando la ecuación 12 podemos obtener el valor de la resistencia en Thermistor NTC 100K. Habiendo obtenido este valor podemos implementar un modelo matemático que relaciona la resistencia entre sus terminales y la temperatura a la que se encuentra el Termistor NTC 100K (ecuación 14).

$$RNTC = \frac{R1}{\frac{VCC}{Vm} + RNTC} \text{ Ec. 13.}$$

$$Tk = \left( \frac{\ln \left( \frac{RNTC}{Ro} \right)}{\beta} + \frac{1}{To} \right)^{-1} \text{ Ec. 14.}$$

Donde las variables y constantes representan:

$Vcc \rightarrow$  Voltaje máximo de alimentación.

$R1 \rightarrow$  Resistencia de acople de 100 [KΩ].

$Ro \rightarrow$  Resistencia intrínseca del termistor es de 100 [KΩ].

$RNTC \rightarrow$  Resistencia del termistor NTC a diferentes Temperaturas.

$To \rightarrow$  Temperatura ambiente en Kelvin.

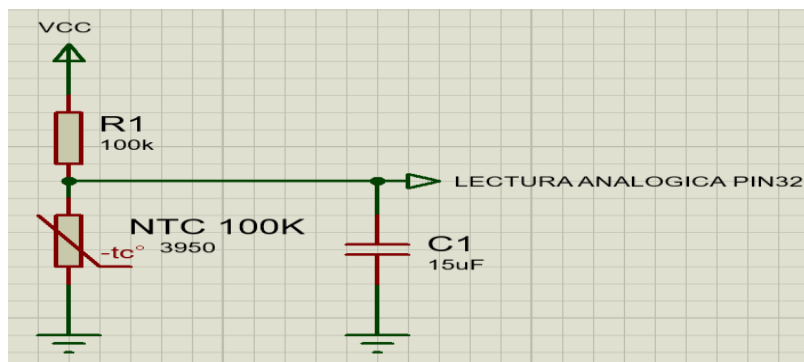
$Tk \rightarrow$  Temperatura del termistor NTC en Kelvin.

$\beta \rightarrow$  Constante del termistor NTC (3950)

El divisor de tensión de la Figura 17. Permite captar la señal sensada que se conecta al pin de lectura analógica GPIO#32 del microcontrolador ESP -WROOM 32. El termistor NTC en un dispositivo electrónico no lineal, para linealizarlo se debe recurrir a las Ecuaciones 12, 13 y 14 que representan el comportamiento del termistor NTC y el voltaje sensado del circuito.

**Figura. 20:**

*Conexión del termistor y señal de sensor (medida en voltios).*



## PROTOTIPO HORNO SOLDADOR DE PCBs - SMD CON CONECTIVIDAD IoT.

*Nota: La figura 20. Representa el circuito implementado para obtener la señal de temperatura procesada en el ESO WROOM-32*

### **4.2.7. Pantalla Oled – Interfaz de usuario.**

La pantalla oled permite la interacción Usuario-Máquina o interfaz de usuario del prototipo del horno soldador permitiendo ver las salidas o entradas de las acciones de conexión entre el ESP 32 y la página web, mediante la comunicación serial I2C y el protocolo de comunicación TCP/IP.

### **4.2.8. Estructura de soporte.**

En los prototipos electrónicos es importante proteger y salvaguardar las conexiones y PCB, se presenta un diseño implementado para el diseño 3D de la carcasa del proyecto que soporta temperaturas de hasta 210°C] (El material utilizado es el Ácido Polilactico (PLA)).

### **Figura. 21:**

*Estructura 3D prototipo del RHP.*



*Nota: Carcasa del Prototipo de horno soldador de PCB - SMD*

### **4.3. Software**

#### ***4.3.1. Servidor web y aplicativo.***

El servidor web del proyecto de investigación permite la conexión entre Internet y el ESP32 mediante el módulo WIFI incorporado, por medio del protocolo de comunicación TCP/IP el cual transmite los datos captados por el sensor de temperatura a la página web, está los visualiza en forma de gráfica con la interacción Usuario-Maquina, Maquina-Maquina por medio del aplicativo en la plataforma BLINK (Inc. Blynk, 2024).

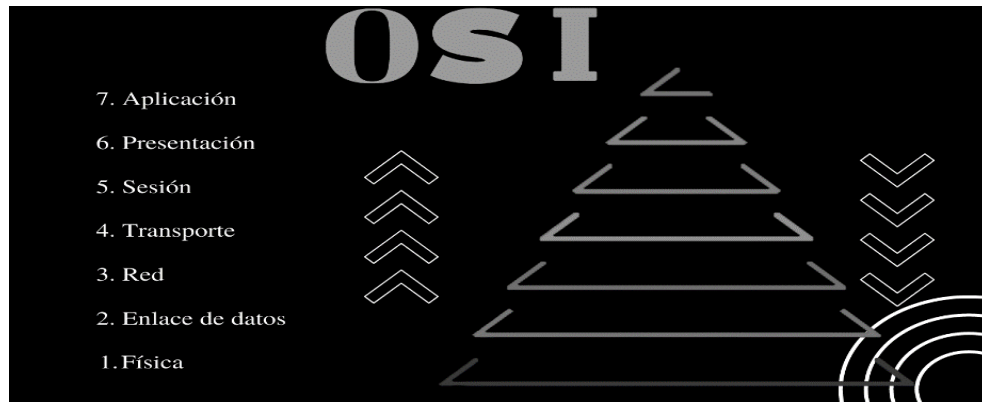
El servidor se genera en el ESP32, mediante la programación de la página web y las memorias RAM y ROM que permiten generar una petición con la página web (Aplicativo), enlazando la ruta de ejecución (Modelo de comunicación OSI) por medio del protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP) o protocolo de transferencia de hipertexto seguro (HTTPS), teniendo una interacción acción/reacción (Se debe a que se realizan peticiones y respuestas bidireccionales).

La comunicación generada tiene una arquitectura de Cliente-Servidor, en la cual el cliente genera peticiones al servidor configurando y administre todas o la mayoría de las operaciones (El servidor es el que contiene también la memoria ROM del proyecto).

El ESP32 contiene el programa informático o software embebido, que permite hacer las operaciones y distribución del envío de datos que se basa en el modelo estándar de comunicación OSI y el protocolo de internet TCP/IP. (GitHub, 2024).

#### **Figura. 22:**

*Modelo OSI para el prototipo del horno soldador en temas de comunicación.*

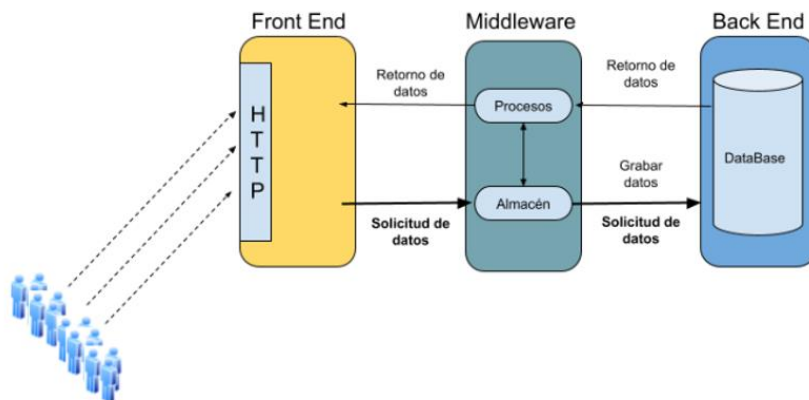


*Nota: Representación del funcionamiento del modelo OSI para la comunicación.*

El servidor web de este proyecto se diseñó con base al aplicativo de la página web BLINK, para interactuar entre el ESP32 y el aplicativo WEB con el software embebido de control. (Ver Fig. 26). la Fig. 23. denota el proceso de interacción entre la comunicación Máquina - Máquina y Máquina - Usuario.

**Figura. 23:**

*Diagrama de bloques - Interacción Usuario- Máquina y Máquina-Maquina.*



*Nota: A la derecha, el BackEnd que maneja la lógica y la base de datos. En el centro, el middleware que conecta el BackEnd con el frontend, gestionando sesiones y datos. A la izquierda, el frontend ofrece la interfaz para la interacción del usuario.*

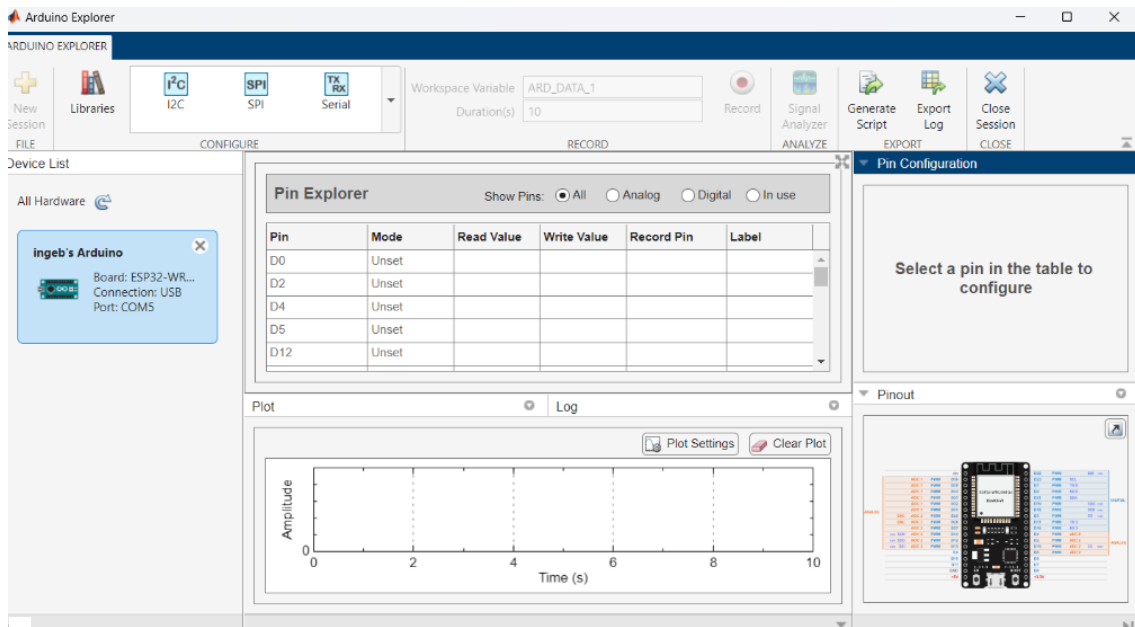
La conexión del ESP32 con la página web se realiza a través de la librería Wifi.h, la cual posibilita la conectividad en diversas formas. El Internet de las Cosas (IoT por siglas en inglés) permite a los usuarios acceder directamente a la información que desean, como gráficas y datos de temperatura, presión, humedad y sonoridad. En este proyecto, la gráfica que se mostrará en la aplicación web es la curva de referencia para soldadura de pasta de estaño en componentes de montaje superficial (Ver Figuras 16 y 18). La conexión entre el servidor y la página web se realizará en modo estación, permitiendo la conexión a Wi-Fi y, por ende, a Internet (Ver Figura 24).

Los entornos mostrados en la Fig. 23, FrontEnd, Middleware y BackEnd son los responsables de la dinámica del software y los procesos de interacción bidireccional entre las fases Usuario-Usuario (U2), Usuario-Maquina (UM) y Maquina-Maquina (M2)

Por medio del software Matlab se observan las características del ESPWROOM 32 como lo son la velocidad de acción, transmisión de datos y error del sistema (Ver Fig. 27).

**Figura. 24:**

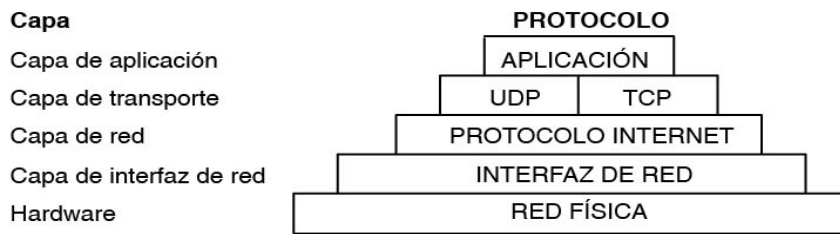
*Entorno y conexión del ESP32-MATLAB.*



*Nota: Utilizando Matlab se observan las características del Módulo ESP-WROOM-32*

**Figura. 25:**

*Protocolo de comunicación TCP/IP (IBM, 2021)*



*Nota: Descripción del modelo de comunicación TCP/IP*

#### **4.3.2. Comunicación por medio de IoT.**

La implementación del sistema de conectividad IoT se realiza por medio de diferentes protocolos que dependen del tipo de capa mencionada en el modelo OSI (Ver Fig. 22 y 24).

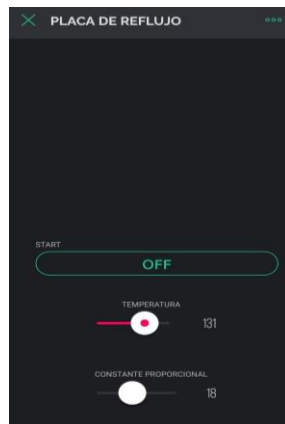
Los niveles o capas tienen un tipo de implementación o protocolo como se muestra en la FIG. 25. Para el transporte utilizamos el protocolo TCP/IP, en la capa de red los protocolos ARM, ICMP e IP, la capa de interfaz de red (Ethernet Versión 2 estándar, IEEE 802.3, Red en anillo, SLIP (Serial Line Internet Protocol), Bucle de retorno, FDDI, Óptica serie, PPP (Point-to-Point Protocol - Protocolo de punto a punto), Dirección IP virtual) estos son compatibles con TCP/IP

La red del protocolo TCP/IP funciona por medio de permisos y codificación de las tiras, esta red permite que la conexión sea más estable. En este proyecto de investigación se utiliza el aplicativo

IoT Blynk, este permite la conexión entre ESPWROOM32 y la plataforma web (El Esp32 es el punto de acceso). En la Fig. 26 se observa el diseño de la APPBlyk – interfaz usuario máquina.

**Figura. 26:**

*U2, UM y M2 (Interfases de interacción)-aplicativo Blynk App (Inc. Blynk, 2024)*



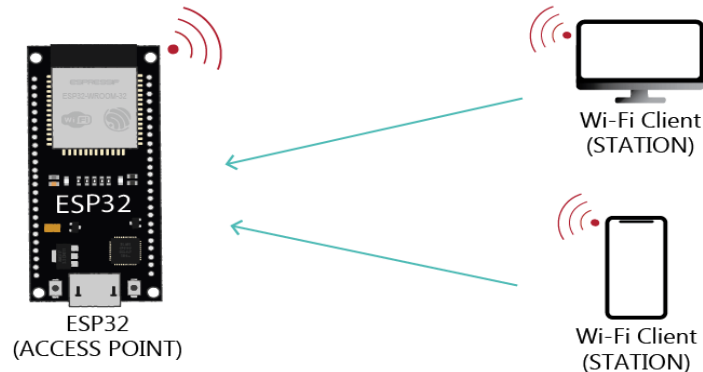
## PROTOTIPO HORNO SOLDADOR DE PCBS - SMD CON CONECTIVIDAD IoT.

*Nota: Diseño implementado de la interfaz grafica del aplicativo web y APP.*

La Fig. 26. Representa la interfaz del aplicativo: aplicación móvil Blynk (Inc. Blynk, 2024), el aplicativo web tiene un botón de STAR ON/OFF y ajustes de la temperatura de la pasta para soldar.

**Figura. 27:**

*U2, UM y M2 (Interfases de interacción) (ElectroSoft, 2021)*



*Nota: Interacción entre el servidor (Modulo ESP – WROOM - 32) por medio de Wifi con el aplicativo WEB y la plataforma Blynk.*

La Fig. 27. Describe las interfaces del prototipo a nivel de software, el cliente envía una solicitud al punto de red o servidor y este la avala o la deniega dependiendo del algoritmo programado en la Interfaz de usuario del aplicativo (Plataforma) BLYNK programada para el prototipo del horno soldador.

## 5. Análisis de resultados y ajustes de los subsistemas

### 5.1. Curva Característica de la planta del sistema a controlar.

De la Fig. 18 y 19 señala el comportamiento de la resistencia por medio de la Ecu. 12, al circuito que capta la señal de temperatura se le adapta un filtro eléctrico PASABAJAS para mejorar la curva de la función de transferencia para hacer el análisis. Esta mejora las condiciones del controlador PID obteniendo como resultado un control donde su variación de temperatura es muy mínima.

### 5.2. Imágenes de la soldadura del circuito impreso con elementos de montaje superficial (SMD) (PCB SMD de prueba)

*Figura. 28:*

*Prueba #1 del prototipo - controlador - circuito SMD de prueba.*

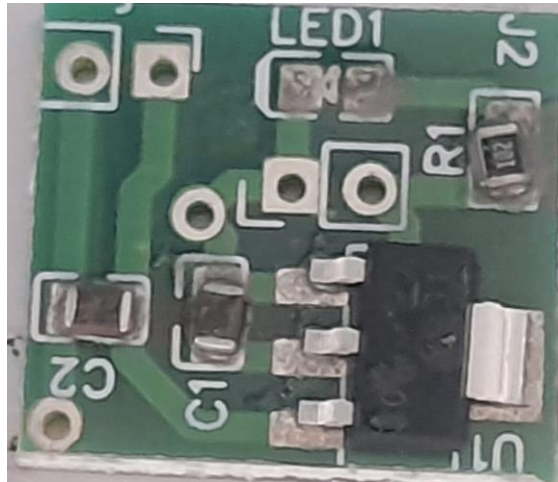


*Nota: Pruebas del prototipo de horno soldador RHP, con circuito de prueba impreso PCB – SMD.*

La Fig. 28. muestra la primera prueba realizada del prototipo del horno soldador con tecnología IoT, se evidencian las fuentes de error en el soldado debido a la transferencia de calor.

**Figura. 29:**

*Prueba #2 Posición-Control-Transferencia de calor.*

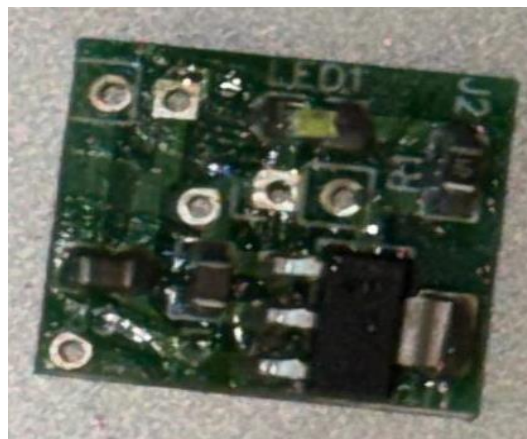


*Nota: Pruebas del prototipo de horno soldador RHP, con circuito de prueba impreso PCB – SMD, Se observa que hay una transferencia de calor excelente.*

La Fig. 29. muestra la prueba realizada al prototipo, los métodos para soldar la PCB-SMD deben adecuarse a las normas técnicas para obtener un mejor resultado.

**Figura. 30:**

*Prueba #3 Temperatura.*



*Nota: Pruebas del SMD, Revisión y ajustes.*

*prototipo de horno soldador RHP, Con circuito impreso PCB –*

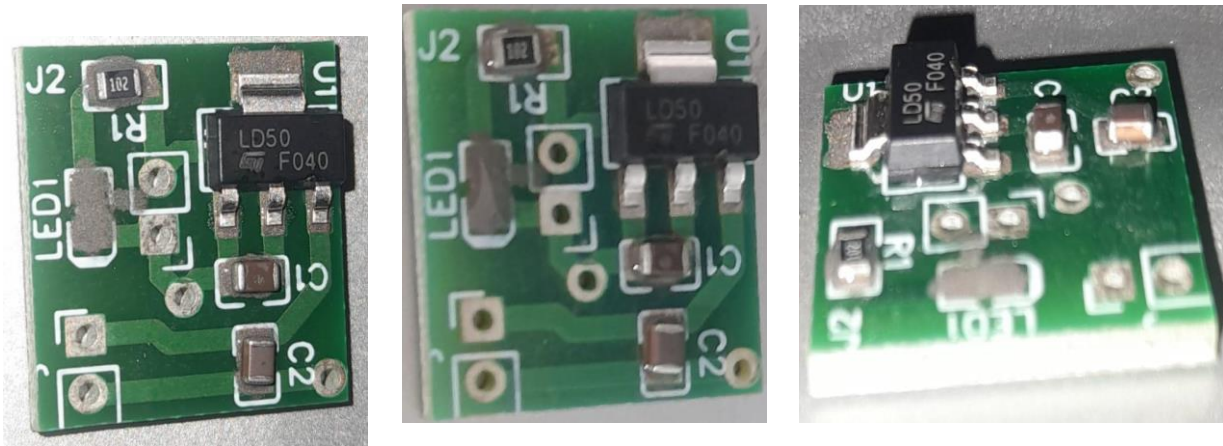
## PROTOTIPO HORNO SOLDADOR DE PCBS - SMD CON CONECTIVIDAD IoT.

La Fig. 30. Evidencia la prueba realizada en el prototipo con una PCB – SMD cuya función es hacer parpadear un led, se observa la fase de calentamiento.

En la Fig. 31. podemos observar que paulatinamente la soldadura llega a su punto de refusión tomando aproximadamente 4 minutos, dando una visión detallada del avance del proceso. Además, cabe destacar que este prototipo no solo es capaz de realizar la soldadura, sino que también cuenta con la funcionalidad adicional de desoldar, lo que amplía aún más su versatilidad y utilidad en aplicaciones diversas.

### **Figura. 31:**

*PCB-SMD Prueba exitosa*



*Nota: En esta figura se observa, como los elementos electrónicos(Transistores, resistencias y capacitores SMD) Tienen un buen agarre a la PCB.*

### **5.3.Sistema de control digital PID – Estados del controlador**

Los estados del controlador se dan por los controladores por separado (Proporcional, derivativo e integrativo), que interactúan entre sí permitiendo obtener un sistema de control ajustable. Al prototipo en general se le puede modificar la temperatura de punto de fusión y el controlador proporcional. En general el controlador del prototipo experimental, obteniendo como resultado un control semejante al teórico.

#### **5.4. Software y Hardware del proyecto**

Se ajustan y optimizan los subsistemas permitiendo reducir costos de fabricación, pérdidas de señal en la transmisión de datos, separación de VDC y VAC, relación de controladores con el sistema en general y actuador efectivo modulado por señal PWM.

Los softwares (Programas informáticos) utilizados en este proyecto son:

- MATLAB - Simulink (The MathWorks, 2024)
- Proteus (Labcenter Electronics, 2024)
- Arduino IDE (ARDUINO IDE, 2024)

## 6. Recursos

### 6.1. Recursos físicos y electrónicos.

**Tabla 3**

*Recursos e Infraestructura*

<b>RECURSOS E INFRAESTRUCTURA</b>		
<b>RECURSOS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>
Recursos físicos y tecnológicos	Laboratorios de electrónica – (Alta tensión y Pesados)  Equipos de computo	Los lugares en donde se realiza el trabajo deben ser óptimos, para que la investigación y recopilación de datos contribuyan a la ejecución del proyecto.
Recursos Humanos	Investigadores del proyecto.  Director del proyecto.  Profesores de la escuela E3T.  Estudiantes de posgrados.  Personal encargado de administrar los laboratorios.	Son el personal encargado y vinculado al proyecto de investigación, que aportan los conocimientos teórico-prácticos en el proceso de tratamiento de los datos en la investigación
Propiedad intelectual, software y métodos	Proyectos de grados relacionados con el área a investigar.  Software de diseño de esquemáticos y PCB.  Seminarios, revistas, talleres, conferencias y artículos científicos relacionados con el área a investigar.	Se logra establecer: 1. Estado del arte. 2. Programación y estructuración del diseño del código. 3. Optimización del diseño tanto en hardware como software. 4. Contribuye a expandir los conocimientos en las áreas relacionadas a este proyecto.

## 7. Conclusiones

1. Se realizó el proceso de análisis de los modos de control teórica/práctico permitiendo obtener la función de transferencia del sistema y así poder realizar el control PID para seguir el perfil de temperatura.
2. Se realizó el diseño e implementación de los prototipos de PCB y estructura mecánica que permiten una mejor optimización en los sistemas. El proceso de caracterización del sistema dinámico (Resistencia) se debe realizar con mayor meticulosidad para disminuir los errores o afectaciones por el ruido eléctrico o ruido por antenas de cable.
3. El algoritmo implementado para el cálculo, transmisión/recepción y control del proyecto procesa los datos de forma ágil y segura, permitiendo la interacción entre máquinas y usuarios, así como la comunicación entre la APP y el servidor.
4. En este trabajo de grado se ha logrado el horno soldador de PCB's de montaje superficial con tecnología IoT JNcJ222-RhPIoT Vpo. 1, el prototipo implementado viene configurado en su diseño para variar la temperatura de la pasta a soldar y un cambio en su sistema de control (Controlador proporcional).
5. La transferencia de calor entre placa y PCB-SMD es importante debido a la pérdida de calor y por consiguiente efectúa modificaciones en el perfil de temperatura.

### Referencias Bibliográficas

ARDUINO IDE. (22 de 01 de 2024). *ARDUINO*. Obtenido de ARDUINO:

<https://www.arduino.cc/en/software>

Armando, V. A. (2020). *Diseño e implementación de una máquina de soldadura por refusión para Dispositivos Electrónicos con Tecnología BGA*. Perú: Universidad Tecnológica del Perú.

De Almeida G., F. D. (2015). *PROJETO DE UM CONTROLADOR DE*. Parná: UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ.

Dorf, R., & Bishop, R. (2005). *Sistemas de control moderno*. Madrid: Pearson.

E., D. B. (Diseño y construcción de horno para soldar SMD). *DO PARNÁ*. Madrid - España: Universidad Politécnica de Madrid.

Electrónica, O. (24 de 12 de 2020). *Componentes electrónicos en SMD*. Obtenido de

<https://www.onubaelectronica.es/2020/12/24/componentes-smd/>

ElectroSoft, C. (25 de 04 de 2021). *WLAN en ESP32: Primeros pasos con el Wifi*. Obtenido de

<https://www.electrosoftcloud.com/wlan-en-esp32-primeros-pasos-con-el-wifi/>

Espressif, S. (2023). *ESP32 SERIES*.

Gaset, S. (s.f.). *Kolinda*.

Huin, S. (2019). *Internet of Things: Counting the cost of Cyber Attacks*. Obtenido de Internacional Business Times: <https://www.ibtimes.com/internet-things-counting-cost-cyberattacks-2804695>

IBM. (12 de 4 de 2021). *Protocolos TCP/IP*. Obtenido de

<https://www.ibm.com/docs/es/aix/7.2?topic=protocol-tcpip-protocols>

Inc. Blynk. (18 de 01 de 2024). *Blynk*. Obtenido de <https://blynk.io/>

Incopera, F. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. México: Prentice Hall.

## PROTOTIPO HORNO SOLDADOR DE PCBS - SMD CON CONECTIVIDAD IoT.

- John E. Ettl, S. A. (1987). Integrating Design and Manufacturing to Deploy Advanced Manufacturing Technology. *Informs Pubs Online*, 1-97. Obtenido de Integrating Design and Manufacturing to Deploy Advanced Manufacturing Technology.
- Kreith, F., Manglik, R., & Bohn, M. (2012). *Principios de transferencia de calor*. México: Cengage.
- Labcenter Electronics. (22 de 01 de 2024). *Labcenter*. Obtenido de Proteus:  
<https://www.labcenter.com/>
- Llamas, L. (21 de marzo de 2020). *Ingeniería, Informática y Diseño*. Recuperado el diciembre de 2023, de <https://www.luisllamas.es/ventajas-y-desventajas-de-componentes-ptf-frente-a-smd/>
- M. Ali, M. M. (2016). Performance Evaluation of Flexible Manufacturing. *Glob. J. Flex. Syst. Manag.*, 287 - 305. Obtenido de Performance Evaluation of Flexible Manufacturing:  
<https://doi.org/10.1007/s40171-016-0127-3>
- Microensambles. (18 de febrero de 2016). *¿Qué es un perfil de temperatura para ensamble de circuitos impresos?* Obtenido de <https://microensamble.com/perfil-de-temperatura-circuitos-impresos/>
- Mohn, E. (2018). *Internet of Things*. Salem Press Encyclopedia of Science.
- Ogata, K. (1998). *Ingeniería de control moderna*. México: Pearson.
- OMRON. (s.f.). *G3MB-202P DATASHEET*. Obtenido de List of unclassified Manufactures:  
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/107185/ETC/G3MB-202P.html>
- Qualitek, DSP 863 (Sn42/Bi58) LEAD FREE HALOGEN FREE NO CLEAN SOLDER PASTE  
[https://qualitek.com/863\\_bi58\\_tds.pdf](https://qualitek.com/863_bi58_tds.pdf)
- Sensores y acondicionadores de señal. (2003). En R. P. Areny, *Sensores y acondicionadores de señal* (págs. 6-10). Barcelona (España): Marcombo ediciones técnicas.

## PROTOTIPO HORNO SOLDADOR DE PCBS - SMD CON CONECTIVIDAD IoT.

Symanovich, S. (2019). *The future of IoT: 10 predictions about the Internet of Things*. Obtenido de Norton: <https://us.norton.com/internetsecurity-iot-5-predictions-for-the-future-of-iot.html>

The MathWorks. (22 de 01 de 2024). *MATLAB Online*. Obtenido de MATLAB Online: <https://la.mathworks.com/products/matlab-online.html>

Things, E. R. (2011). *Internet of Things - Global Technological and Societal Trends*. En F. P. Vermesan O. Dr, *Internet of Things - Global Technological and Societal Trends* (págs. 1-6). New York: River Publishers.

Vargas, D. c. (septiembre de 2019). *Arquitectura de interoperabilidad de dispositivos físicos para el Internet de las cosas (IOT)*. Valencia, España.

## Apéndices

### Apéndice A: Ficha técnica del prototipo y manual de operación.

PROTOTIPO	JNcJ222-RhPIoT Vpo. 1
Fecha de fabricación	30 de septiembre 2023
Tecnología	TCP/IP - IoT - v4 – Blink_WEB
Algoritmo	JnJcC_WEBBlink_IoTTCP/IP
Creadores	Ing. Juan Cely      Ing. Cesar Chaparro      Ing. Johan Castro
Compañía	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Cocreador	MGs en Ingeniería Electrónica. Jaime Guillermo Barrero Pérez

### Apéndice B: Modo de Uso (Manual).

Precaución: El prototipo JNcJ222-RhPIoT Vpo. 1 internamente maneja voltajes DC y AC

Requerimientos: Fuente 120VAC – WiFi – Software Algoritmo JnJcC\_WEBBlink\_IoTTCP/IP

Puesta en marcha:

1. Conectar el prototipo a la fuente de voltaje AC 120 VAC
2. Verificar que el prototipo se encuentre en una superficie plana.
3. Para la conexión con la APP se debe descargar el aplicativo móvil BLYNK.

## PROTOTIPO HORNO SOLDADOR DE PCBS - SMD CON CONECTIVIDAD IoT.

4. Activar la red WiFi interna del celular.
5. Para compartir internet su dispositivo móvil se debe llamar **cesar** con clave **00000002**
6. La pantalla OLED del prototipo se pone en modo ON – Mensaje – Menú principal cuando está conectada al Wifi.
7. Oprima el botón SELECT -arroja en pantalla variación de temperatura
8. Oprima los botones UP o DOWN dependiendo que tan alto o bajo se requiera la temperatura.
9. Oprima el botón SELECT -arroja en pantalla variación de constante del controlador proporcional Kp
10. Oprima los botones UP o DOWN dependiendo que tan alto o bajo se requiera la constante KP [0 Valor mínimo].
11. Oprima START.
12. Espere de 3 a 4 minutos y este pendiente con pinzas auxiliares para mejor soldado
13. Deje enfriar de 2 a 3 minutos antes de retirar la PCB de la placa calefactora.
14. Observe que su PCB esté bien soldada, si no, repita desde el paso 4.
15. Asegúrese de que la placa esté totalmente fría antes de guardar.

### Apéndice C: Trabajo a futuro y recomendaciones.

- El sistema mecánico (Carcasa) presenta fallas por temperaturas muy elevadas y está limitado hasta los 200[°C], esto genera con el paso del tiempo desgaste, se recomienda en una próxima implementación de prototipo utilizar un material de impresión 3D con mayor rango de temperatura.
- El prototipo no es impermeable, tiene partes electrónicas internas descubiertas. Se recomienda utilizar un esmalte para recubrir estas partes.
- En el análisis y procesamiento de datos recibidos de la interacción entre el cliente y el servidor, se recomienda hacer una red WiFi cerrada y con acceso a cambio de usuario.
- Implementar un diseño más reducido en área para mejorar el uso y hacerlo más portátil permitiendo optimizar los recursos económicos.

## Apéndice D: Algoritmo JnJcC\_WEBBlink\_IoTTCP/IP.

```

1  #include <Wire.h>
2  #include <SPI.h>
3  #include <Adafruit_GFX.h>
4  #include <Adafruit_SSD1306.h>
5
6  #define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
7  #define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
8
9  /*****
10
11   This is a simple demo of sending and receiving some data.
12   Be sure to check out other examples!
13   *****/
14
15  /* Fill-in information from Blynk Device Info here */
16  #define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL2ozjkqfD7"
17  #define BLYNK_TEMPLATE_NAME "nuevo"
18  #define BLYNK_AUTH_TOKEN "LbI7adJlBDYIj5TBDGZrqY0QcJZsdfop"
19
20  /* Comment this out to disable prints and save space */
21  #define BLYNK_PRINT Serial
22
23
24  #include <WiFi.h>
25  #include <WiFiClient.h>
26  #include <BlynkSimpleEsp32.h>
27
28  // Your WiFi credentials.
29  // Set password to "" for open networks.
30  char ssid[] = "cesar";
31  char pass[] = "00000002";
32
33  BlynkTimer timer;
34
35  // Define pins
36  #define startBtnPIN 2 // D2
37  #define selectBtnPIN 5 // D3
38  #define upBtnPIN 14 // D4
39  #define downBtnPIN 13 // D5
40
41
42  #define OLED_RESET -1 // Reset pin # (or -1 if sharing Arduino reset pin)
43  #define SCREEN_ADDRESS 0x3C ///< See datasheet for Address; 0x3D for 128x64, 0x3C for 128x32
44
45  Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);
46

```

## PROTOTIPO HORNO SOLDADOR DE PCBS - SMD CON CONECTIVIDAD IoT.

```
47  bool stateStartBtn = 0;
48  bool stateSelectBtn = 0;
49  bool stateUpBtn = 0;
50  bool stateDownBtn = 0;
51  bool startd = 0;
52  bool mode = 0;
53  bool parameter = 0;
54  int AperatureValues = 16;
55  int IsoValues = 11;
56  int start = 0;
57  const int pwm_pin = 4;
58  const int ntc = 32;
59
60  //variables señal pwm
61
62  int canal = 0;
63  int resolucion = 8;
64  float frecuencia = 1000;
65  //variables para la ntc 100k
66  const double resistorValue = 100000.0; // Valor nominal de la resistencia en ohmios a 25°C
67  const double betaValue = 3950.0; // Valor beta de la NTC
68  const double nominalTemperature = 25.0; // Temperatura nominal en grados Celsius
69  const int numReadings = 40; // Número de lecturas a promediar
70  //variables para el controlador pi
71
72  int set_temperature = 110;
73  float temperature_read = 0;
74  int Kp = 3;
75  float Ki = 0.01;
76  float Kd = 0.3;
77  float previous_error = 0;
78  float elapsedTime, Time, timePrev;
79
80  //controlador
81
82  float PID_p = 0;
83  float PID_i = 0;
84  float PID_d = 0;
85  float control_PID = 0;
86
87
```

```

88 void setup() {
89     // initialize serial port
90     Serial.begin(115200);
91     Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);
92     Wire.begin();
93     pinMode(pwm_pin, OUTPUT);
94     ledcAttachPin(pwm_pin, canal);
95     ledcSetup(canal, frecuencia, resolucion);
96     Time = millis();
97
98     // SSD1306_SWITCHCAPVCC = generate display voltage from 3.3V internally
99     if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, SCREEN_ADDRESS)) {
100         Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));
101         for (;;)
102             ; // Don't proceed, loop forever
103     }
104
105
106     display.clearDisplay();
107     display.setTextSize(1); // Draw 1X-scale text
108     display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
109     //inicio
110
111
112     // setup button
113     pinMode(startBtnPIN, INPUT_PULLUP);
114     pinMode(selectBtnPIN, INPUT_PULLUP);
115     pinMode(upBtnPIN, INPUT_PULLUP);
116     pinMode(downBtnPIN, INPUT_PULLUP);
117
118     display.setCursor(40, 8);
119     display.println("MENU");
120     display.setCursor(40, 24);
121     display.println("START");
122     display.setCursor(0, 40);
123     display.println("SELECT TO CONFIGURE");
124     display.display();
125     delay(1000);
126 }

```

```

127
128 void loop() {
129   if (start == 1) {
130     Blynk.run();
131     timer.run();
132   }
133
134   if (start == 0) {
135     Blynk.run();
136     timer.run();
137
138     PID_p = 0;
139     PID_i = 0;
140     PID_d = 0;
141     control_PID = 0;
142     readButtons();
143     Serial.println(start);
144     ledcWrite(0, control_PID); // Escribe la señal PWM en el canal 0
145   } else if (start == 1) {
146     temperatura();
147   }
148 }
149
150
151

```

```

152 void readButtons() {
153     //====start button=====
154     if (digitalRead(startBtnPIN) == LOW && stateStartBtn == 0) {
155         stateStartBtn = 1;
156         start = 1;
157         Serial.println("start button is pressed");
158
159         if (mode == 0) {
160
161             display.clearDisplay();
162             display.setCursor(32, 8);
163             display.println("THE PROCESS");
164             display.setCursor(32, 24);
165             display.println("HAS STARTED!");
166
167             display.display();
168         }
169
170     } else if (digitalRead(startBtnPIN) == HIGH && stateStartBtn == 1) {
171         stateStartBtn = 0;
172     }
173     //====select button=====
174     if (digitalRead(selectBtnPIN) == LOW && stateSelectBtn == 0) {
175         stateSelectBtn = 1;
176         start = 0;
177         if (mode == 0) {
178             mode = 1;
179             start = 0;
180
181             display.clearDisplay();
182             display.setCursor(10, 10);
183             display.print("TEMPERATURA= ");
184             display.println(set_temperature);
185             display.display();
186
187         } else if (mode == 1 && parameter == 0) {
188             parameter = 1;
189             start = 0;
190             display.clearDisplay();
191             display.setCursor(10, 10);
192             display.print("KP=");
193             display.println(Kp);
194             display.display();
195

```

```

196     } else if (parameter == 1) {
197         mode = 0;
198         parameter = 0;
199         screenReady();
200     }
201
202     Serial.println("select button is pressed");
203
204     // Serial.print("Mode="); Serial.println(mode);
205     // Serial.print("Parameter="); Serial.println(parameter);
206
207 } else if (digitalRead(selectBtnPIN) == HIGH && stateSelectBtn == 1) {
208     stateSelectBtn = 0;
209 }
210 //=====up button=====
211 if (digitalRead(upBtnPIN) == LOW && stateUpBtn == 0 && mode == 1) {
212     stateUpBtn = 1;
213     Serial.println("up button is pressed");
214
215     display.clearDisplay();
216     display.setCursor(10, 10);
217
218     if (parameter == 0) {
219         if (set_temperature < 200) set_temperature++;
220
221         display.clearDisplay();
222         display.setCursor(10, 10);
223         display.print("TEMPERATURA= ");
224         display.println(set_temperature);
225         display.display();
226     } else if (parameter == 1) {
227         if (Kp < 100) Kp++;
228
229         display.clearDisplay();
230         display.setCursor(10, 10);
231         display.print("KP= ");
232         display.println(Kp);
233         display.display();
234     }
235
236
237

```

## PROTOTIPO HORNO SOLDADOR DE PCBS - SMD CON CONECTIVIDAD IoT.

```
238     } else if (digitalRead(upBtnPIN) == HIGH && stateUpBtn == 1) {
239         stateUpBtn = 0;
240     }
241     //=====down button=====
242     if (digitalRead(downBtnPIN) == LOW && stateDownBtn == 0 && mode == 1) {
243         stateDownBtn = 1;
244         Serial.println("down button is pressed");
245
246         display.clearDisplay();
247         display.setCursor(10, 10);
248
249         if (parameter == 0) {
250             if (set_temperature > 0) set_temperature--;
251
252             display.clearDisplay();
253             display.setCursor(10, 10);
254             display.print("TEMPERATURA= ");
255             display.println(set_temperature);
256             display.display();
257         } else if (parameter == 1) {
258             if (Kp > 0) Kp--;
259
260             display.clearDisplay();
261             display.setCursor(10, 10);
262             display.print("KP= ");
263             display.println(Kp);
264             display.display();
265         }
266     }
267     } else if (digitalRead(downBtnPIN) == HIGH && stateDownBtn == 1) {
268         stateDownBtn = 0;
269     }
270 }
271
272 void screenReady() {
273     // Display start
274     display.clearDisplay();
275     display.setCursor(0, 0);
276     display.println("READY");
277     display.println(" ");
278     display.println("PRESS START BUTTON");
279     display.println(" ");
280     display.println("SELECT TO CONFIGURE");
281     display.display();
282     delay(1000);
283 }
```

## PROTOTIPO HORNO SOLDADOR DE PCBS - SMD CON CONECTIVIDAD IoT.

```
284 void temperatura() {
285     // put your main code here, to run repeatedly:
286     double totalTemperature = 0.0;
287     // Realiza un bucle for para leer y promediar las lecturas analógicas
288     for (int i = 0; i < numReadings; i++) {
289         // Lee el valor analógico del pin de la NTC
290         int rawValue = analogRead(ntc);
291         // Convierte el valor analógico a resistencia
292         double resistance = resistorValue / ((4095.0 / rawValue) - 1.0);
293
294         // Calcula la temperatura en grados KELVIN
295         double temperature = 1.0 / ((1.0 / (nominalTemperature + 273.15)) + ((1.0 / betaValue) * log(resistance / resistorValue)))
296
297         // Convierte la temperatura a grados Celsius restando 273.15
298         temperature -= 273.15;
299
300         // Acumula las temperaturas para el promedio
301         totalTemperature += temperature;
302         delay(15); // Pausa breve entre lecturas
303     }
304
305     // Calcula el promedio de las temperaturas
306     double averageTemperature = totalTemperature / numReadings;
307     // Calcula la diferencia entre la temperatura deseada y la temperatura real
308     temperature_read = averageTemperature;
309     Blynk.virtualWrite(V3, temperature_read);
310     float error = set_temperature - temperature_read;
```

```

316 // Calcula la señal de control proporcional (PWM)
317 PID_p = Kp * error;
318 PID_i = PID_i + (Ki * error);
319
320 timePrev = Time;
321 Time = millis();
322 elapsedTime = (Time - timePrev) / 1000;
323 PID_d = Kd * ((error - previous_error) / elapsedTime);
324
325 control_PID = PID_p + PID_i + PID_d;
326 // Limita el valor de la señal de control al rango [0, 255]
327
328 if (control_PID < 0) {
329 | control_PID = 0;
330 }
331 if (control_PID > 255) {
332 | control_PID = 255;
333 }
334
335 // Escribe la señal PWM para el rele de estado solido
336 ledcWrite(0, control_PID); // Escribe la señal PWM en el canal 0
337
338 // Imprime la temperatura y el error en el monitor serie
339 Serial.print("Temperatura: ");
340 Serial.print(averageTemperature);
341 Serial.println(" grados Celsius ");
342
343 previous_error = error;
344 display.clearDisplay();
345 display.setCursor(32, 8);
346 display.println("THE PROCESS");
347 display.setCursor(32, 24);
348 display.println("HAS STARTED!");
349 display.setCursor(16, 40);
350 display.println("TEMPERATURE:");
351 display.setCursor(88, 40);
352 display.println(averageTemperature);
353 display.display();
354 delay(100);
355 if (digitalRead(selectBtnPIN) == LOW && stateSelectBtn == 0) {
356 | start = 0;
357 }
358 }
359

```

## PROTOTIPO HORNO SOLDADOR DE PCBS - SMD CON CONECTIVIDAD IoT.

```
360 BLYNK_WRITE(V0) {
361   start = param.asInt();
362   Serial.println(start);
363 }
364
365 BLYNK_WRITE(V1) {
366   set_temperature = param.asInt();
367   Serial.print("temperatura :");
368   Serial.println(set_temperature);
369 }
370
371 BLYNK_WRITE(V2) {
372   Kp = param.asInt();
373   Serial.print("constante proporcional :");
374   Serial.println(Kp);
375 }
```

---